

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

51

Jürgen Huss

**Vergleichende ökologische Untersuchungen über die
Reaktionen junger Fichten auf Lichtentzug und Düngung
im Freigelände und in Beschattungskästen**

1977

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

Institut für Bodenkunde, Göttingen, von Siebold-Str. 4

Institut für Bodenkunde und Waldernährung
Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Rabatt)

Selbstkostenpreis

DM

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

51

Jürgen Huss

**Vergleichende ökologische Untersuchungen über die
Reaktionen junger Fichten auf Lichtentzug und Düngung
im Freigelände und in Beschattungskästen**

1977

Jürgen Huss

**Vergleichende ökologische Untersuchungen über die
Reaktionen junger Fichten auf Lichtentzug und Düngung
im Freigelände und in Beschattungskästen**

(Comparison of ecological studies on the responses of
young spruces to shading and fertilization under natural
conditions and in shading boxes)

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 51, 1-215
(1977)**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	III
1. <u>Einleitung</u>	1
.1 Literatur über Düngungsmaßnahmen zur Förderung der Naturverjüngung von Nadelbaumarten	3
.2 Literatur über das Lichtbedürfnis der Fichte	6
2. <u>Versuchsbeschreibung</u>	14
.1 Das Versuchsareal und das gesamte Versuchsprojekt	14
.2 Der Freiflächenversuch	16
.21 Beschreibung der überschirmten Fläche	16
.22 Beschreibung der Saumfläche	18
.23 Der Überschirmungs-Düngungs-Freifl.-versuch 1965	19
.24 Der Überschirmungs-Düngungs-Freifl.-versuch 1969	22
.3 Die Beschattungskästenanlage	23
.31 Der Beschattungsversuch 1967	25
.32 Der Beschattungsversuch 1969	30
.4 Das in den Versuchseinheiten verwendete Pflanzen- material	31
3. <u>Ökologische Messungen im Fichtenaltbestand und unter den Beschattungsvorrichtungen und Vergleich der Ergebnisse</u>	32
.1 Die Witterung während des Beobachtungszeitraums	33
.2 Die Strahlungsverhältnisse in den Versuchsanlagen	33
.21 Messungen mit Photoelementen	34
.22 Messungen der Zirkumglobalstrahlung	43
.23 Vergleich der Strahlungsverhältnisse in den Ver- suchseinheiten und Diskussion der Meßergebnisse	49
.3 Die Feuchtigkeitsverhältnisse in den Versuchsan- lagen	52
.31 Messungen der Niederschläge	53
.32 Verdunstungsmessungen	56
.33 Messungen der Luftfeuchtigkeit	59
.34 Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit	61
.35 Diskussion der Feuchtigkeitsmeßergebnisse	64
.4 Die Luft- und Bodentemperaturen in den Versuchs- anlagen	66
.5 Die Kohlendioxydgehalte der Luft in den Versuchs- anlagen	70
.6 Zusammenfassende Diskussion über die ökologischen Bedingungen in den Versuchsanlagen	74

	Seite
4. <u>Ernte, Auswertung und statistische Analyse</u>	75
.1 <u>Aufbereitung des Pflanzenmaterials und Methodik der Untersuchungen</u>	75
.11 <u>Bestimmung der Trockengewichte</u>	76
.12 <u>Morphologische Messungen</u>	77
.13 <u>Methodik der Nährstoffanalysen</u>	78
.2 <u>Statistische Auswertungsverfahren und die Form der Darstellung</u>	80
.21 <u>Berechnung der Ergebnisse aus der Freiflächenversuchsanlage</u>	80
.22 <u>Berechnung der Ergebnisse aus der Beschattungsversuchsanlage</u>	80
5. <u>Ergebnisse: Die Reaktion der jungen Fichten auf Beschattung und Düngung</u>	85
.1 <u>Die Trockensubstanzerzeugung</u>	85
.11 <u>Ergebnisse der Trockengewichtsbestimmungen im Freiflächenversuch</u>	85
.12 <u>Ergebnisse der Trockengewichtsbestimmungen in den Beschattungsversuchen</u>	90
.13 <u>Vergleich der Trockensubstanzerzeugung in den Freiflächen- und Beschattungsversuchen</u>	107
.14 <u>Das Verhältnis der Trockensubstanzerzeugung zur Lichtintensität</u>	113
.15 <u>Die Abhängigkeit des Aufbaus der jungen Fichten von Beschattung und Düngung</u>	116
.16 <u>Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Streuung der Trockengewichte innerhalb der einzelnen Stichproben</u>	124
.2 <u>Morphologische Meßwerte</u>	129
.21 <u>Ergebnisse im Freiflächenversuch</u>	130
.22 <u>Ergebnisse im Beschattungsversuch</u>	135
.3 <u>Nährstoffgehalte</u>	142
.31 <u>Beschattungsversuch 1967</u>	143
.32 <u>Beschattungsversuch 1969</u>	164
.33 <u>Freiflächenversuch 1969</u>	169
6. <u>Diskussion und Literaturvergleich</u>	172
7. <u>Zusammenfassung</u>	188
<u>Summary</u>	198
8. <u>Literaturverzeichnis</u>	208

Vorwort

Diese Arbeit entstand im Institut für Waldbau der Universität Göttingen als Teil eines langfristigen Forschungsprogramms über die natürliche Verjüngung unserer Forstbaumarten. Aus diesem wurden einige Teilprobleme im Zusammenhang mit der Förderung des Wachstums der Naturverjüngungspflanzen, hier von Fichten, herausgegriffen und unter dem Gesichtspunkt der Klärung einiger methodischer Fragestellungen bearbeitet. Herrn Prof. Dr. BONNEMANN danke ich sehr herzlich für seine nachhaltige und hilfreiche Unterstützung dieses Arbeitsvorhabens und für sein Interesse an den Details des Arbeitsfortschritts.

Den Start erleichterten mir Herr Prof. Dr. BURSCHEL und Herr Dr. SCHMALTZ durch kritische Diskussion bei der Anlage der Versuche und gemeinsame Erörterung einiger methodischer Probleme.

Die aufwendigen Außen-, Ernte- und Auswertungsarbeiten wären ohne umfangreiche Hilfen mehrerer Institutsangehöriger sowie von Studenten und Schülern nicht möglich gewesen. So hat besonders Frau GROSSCURTH mit bewundernswerter Sorgfalt die Aufbereitung des Pflanzenmaterials und die Durchführung der Nährstoffanalysen überwacht sowie einen Teil der Rechenarbeiten übernommen; Herr Dipl.-Forstwirt WARTH betreute unermüdlich die Meßgeräte. Ihren Einsatz muß ich besonders anerkennen, aber auch die vielen, meist kurzzeitigeren Hilfen von Assistentinnen, Studenten und Schülern bei Anlage und Ernte der Versuche sowie der Aufbereitung des Pflanzenmaterials nennen.

Durch das gemeinsame Interesse an den Auswirkungen der in das Versuchsprogramm einbezogenen Düngungsmaßnahmen entwickelte sich eine verschiedentlich rege Zusammenarbeit mit dem Institut für Bodenkunde, und manchen nützlichen Hinweis verdanke ich seinem Direktor Herrn Prof. Dr. ULRICH, sowie den Herren Prof. Dr. FÜLSTER und Dr. BENECKE.

Statistische Detailfragen, die die einschlägige Literatur gelegentlich nicht ausreichend abzuhandeln schien, beantworteten mir freundlicherweise die Herren Professoren Dr. STERN und Dr. HATTEMER.

Das Forschungsvorhaben wurde im wesentlichen durch Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, in geringerem Umfang auch durch Zuschüsse der Landesforstverwaltungen Niedersachsens und Nordrhein-Westfalens sowie des Niedersächsischen Zahlenlottos ermöglicht.

Ein erster Bericht wurde zunächst als Habilitationsschrift der Universität Göttingen vorgelegt.

Eine Veröffentlichung in gekürzter Form ermöglichte jetzt dankenswerterweise die Deutsche Forschungsgemeinschaft durch einen Druckkostenzuschuß.

1. Einleitung

=====

Neben der Wahl der Baumart bietet die Düngung der Forstwirtschaft heute am ehesten eine Möglichkeit, Einfluß auf den Ertrag durch Steigerung der Holzproduktion oder Erreichen anderer günstiger und kostensparender Nebenwirkungen zu nehmen. Eine umfangreiche Forschungstätigkeit seit etwa Anfang dieses Jahrhunderts bringt das inzwischen allgemeine Interesse an ihren Anwendungsmöglichkeiten zum Ausdruck. Das Schwergewicht ihres Einsatzes wird heute - und zwar überwiegend begründet mit Rentabilitätsabwägungen - auf die Anwendung bei älteren Nadelbaumbeständen gelegt. Jedoch existieren inzwischen auch umfangreiche Erfahrungen über die Düngungseffekte in meist etwas älteren Kulturen.

Der Bedarf von Nährstoffen bei der Pflanzenanzucht, einem mehr der landwirtschaftlichen Kulturtechnik vergleichbaren Aufgabengebiet, ist ebenfalls weitgehend geklärt (vergl. SCHMIDT-VOGT, 1961 bzw. 1966; BAULE und FRICKER, 1967). Desgleichen wurde der Nährstoffaufnahme durch die einzelnen Baumarten mit Hilfe von Gefäßversuchen nachgegangen (z.B. HOFFMANN, 1964; JUNG und RIEHLE, 1966).

Demgegenüber ist die Düngewirkung auf junge Forstpflanzen unter Freilandbedingungen, insbesondere die Förderung natürlicher Verjüngung durch verbesserte Nährstoffversorgung bisher nur wenig erforscht. Das erstaunt deshalb, weil z.B. unsere wirtschaftlich wichtigste Baumart, die Fichte, auch heute noch gegendweise in größerem Umfang auf natürlichem Wege verjüngt wird, wenn auch die Pflanzung in den letzten drei Jahrzehnten - überregional gesehen - die entscheidende Bedeutung erlangt hat. Trotzdem wird die natürliche Verjüngung der Fichte stets dort wichtig bleiben, wo es darum geht, in steilem Gelände einen Bodenschutz zu belassen und gleichzeitig autochthone Fichtenrassen zu erhalten, die den extremen Standortbedingungen angepaßt sind. Das gilt besonders für die Alpen, für die Hochlagen des Bayerischen Waldes, des Schwarzwaldes und des Harzes z.B. und einige der nieder-

schlagsreichen Mittelgebirge. Zunehmend stärker wird in der Öffentlichkeit auch gefordert, die Möglichkeit wahrzunehmen, auf dem Wege über die Naturverjüngung ungleichaltrig und kleinflächig abwechslungsreichere Bestände zur Auflockerung des Landschaftsbildes aufzubauen.

Eine sicherere Handhabung der Naturverjüngung als Voraussetzung für ihre wieder verstärkte Anwendung setzt aber eine bessere Kenntnis der Verjüngungsabläufe und der Wirkung waldbaulicher Einflußnahmen durch Lichtregulierung, Bodenvorbereitung, Düngung, Herbizideinsatz und Wildschutz voraus. Einer der Gründe dafür, daß solche Problemstellungen bisher erst in geringerem Umfang experimentell bearbeitet wurden, ist die Vielfalt der zu berücksichtigenden Faktoren. Außerdem stößt die Bestimmung der Zuwachsleistungen junger Pflanzen unter dem Schirm älterer Bestände wegen der exakten Erfassung der Beschattungsstärke und der anderen veränderten ökologischen Bedingungen auf einige Schwierigkeiten. Diese vergrößern sich gegenüber planmäßig angelegten und dadurch einheitlicheren Kulturen auf Freiflächen noch, wenn bei Naturverjüngungen Ungleichheiten der Pflanzenalter, Pflanzenverteilung und ständig wechselnden Überschirmungsgrade auftreten. Die Veränderung der Nährstoffversorgung durch Düngungsmaßnahmen und die daraus folgenden Verbesserungen der Bodeneigenschaften erhöhen die Problematik weiterhin, so daß eine exakte Erfolgskontrolle a priori mit erheblichen Fehlermöglichkeiten belastet ist.

Mit Hilfe des nachstehend dargestellten Versuchsprogramms sollte den Möglichkeiten zur Förderung einer angekommenen Fichtennaturverjüngung nachgegangen werden. Aus dem angedeuteten Komplex der möglichen Einflußfaktoren wurden zunächst die drei Teilfragen herausgegriffen:

- Wie wirkt eine mineralische Düngung auf das Wachstum einer Fichtennaturverjüngung?
- Welchen Einfluß hat die Überschirmung durch ein Fichtenaltholz auf das Wachstum des Fichtenjungwuchses?

- Wie wirken die beiden Faktoren gemeinsam auf die Zuwachsleistung der jungen Fichten ein?

Nach den ersten Ergebnissen aus der Anlage eines Düngungsversuchs neben und in einem Fichtenaltbestand zeigte sich, daß nur die zwei Varianten "unbeschattet" und "überschirmt" offenbar nicht ausreichten, um einige grundsätzlichere Aussagen über das Zusammenwirken von Belichtung und Nährstoffversorgung auf den Zuwachs junger Fichten zu machen. Deshalb wurde versucht, mit einer unweit von dem Altbestand aufgebauten Beschattungsanlage die genannten Fragestellungen zu vertiefen und durch eine zusätzliche zu erweitern, nämlich:

- Inwieweit sind die ökologischen Bedingungen unter Schatten- gittern mit denen unter einem Schirm von Altfichten vergleichbar, und können die Ergebnisse aus Beschattungsversuchen folglich auf die "natürlichen" Verhältnisse übertragen werden?

Die Absicht, diese Fragen intensiv und mit einer angemessenen Versuchsmethodik zu bearbeiten, zwang zur Begrenzung der Untersuchungen auf einen Standort, d.h. einen Bodentyp. Ebenso konnte auf die Frage der Konkurrenz durch die Unkrautvegetation oder die Altholzwurzeln nicht näher eingegangen werden.

1.1 Literatur über Düngungsmaßnahmen zur Förderung der Naturverjüngung von Nadelbaumarten

Wie bereits angedeutet, ist die Suche nach Literatur über Untersuchungen und praktische Anwendungsbeispiele zur direkten Förderung der Naturverjüngung von Nadelbaumarten mit Hilfe von Düngungen, ähnlich wie es BURSCHEL (1966) für die Laubbaumarten feststellte, wenig ergiebig. Deshalb muß HAUSSER (1964) in einem Überblick über die Düngung bei der Bestandesbegründung auch schreiben: "In Nadelholz-Naturverjüngungsbetrieben wäre wichtig zu wissen, auf welchen Standorten, in welchem Bestandesalter welche Düngung auf Ankommen

und Fußfassen des Anflugs am günstigsten wirkt. Mangels genügend sicherer Unterlagen wird dieser Punkt hier nicht behandelt. "

Aber das Fehlen entsprechender Untersuchungen kommt auch zum Ausdruck, wenn man die jüngeren Zusammenstellungen über die Düngung in der Forstwirtschaft darauf hin durchsieht. BAULE und FRICKER (1967) z.B. beschränken sich überhaupt nur auf die Bemerkung: "Düngungsmaßnahmen wirken sich auch sehr vorteilhaft auf die Naturverjüngung aus."

GUSSONE (1975) erwähnt bei der Erörterung der Möglichkeiten einer Verbesserung der Ernährung von Naturverjüngungen überhaupt nur die Düngung bei der Buche mit der Begründung, "natürlich verjüngt wird im mitteleuropäischen Raum auf größerer Fläche allein die Buche".

LANZ (1969) zitiert demgegenüber Arbeiten u.a. von WITTICH (1956), in denen darauf hingewiesen wird, daß durch Düngung im Altbestand die Voraussetzungen für eine Naturverjüngung geschaffen werden können, z.B. durch in den Boden eingearbeitete Ca- und P-Gaben. Allerdings sei der Lichtdosierung und der Unkrautkonkurrenz besondere Aufmerksamkeit zu schenken, weil nach HAUSSE (1956) die Unkrautvegetation stark gefördert werden und zusätzliche Reinigungskosten verursachen kann. Die Zweckmäßigkeit einer Düngung im Altbestand zur Anregung der Bodentätigkeit im Hinblick auf die Förderung der Ansamung - meist hält man eine Kalkung hier für ausreichend - wird allerdings auch von anderen Autoren genannt (so z.B. WIEDEMANN, 1951).

Auf diese Wirkung sind auch die Empfehlungen der Bayerischen Staatsforstverwaltung für die Düngung in Altbeständen abgestellt.

VON BÜLOW (1964) versuchte ab 1958, nachdem sich in den Hochlagen des Bayerischen Waldes eine sogenannte "Jahrhundertmast" bei der Fichte abgezeichnet hatte, die durch Plenterung verlichteten Fichtenaltbestände durch Bodenvor-

bereitung, chemische Unkrautbekämpfung und Anlage größerer Femel zu verjüngen. Durch eine Grunddüngung mit Kalk und eine nach dem Ankommen der Fichten-Naturverjüngung verabreichte Startdüngung mit Nitrophoska sollte sie außerdem rascher aus dem wiederankommenden oder vielerorts noch vorhandenen Gras herausgebracht werden. Leider wurden keine Messungen an den jungen Fichten durchgeführt, die Hinweise über den Erfolg gerade auch der Düngungsmaßnahme hätten geben können.

Dasselbe muß ebenfalls von in Baden-Württemberg offenbar nicht einmal selten durchgeführten Düngungen zu Nadelbaumnaturverjüngungen gesagt werden. Dort wurden verschiedene Verjüngungen, die einen durchweg erheblicheren Tannenanteil aufwiesen, mit 20-25 dz/ha Kalk und 4-6 dz/ha Hyperphosphat bzw. Thomasmehl als Grunddüngung, verschiedentlich später dann mit Kalkammonsalpeter zur weiteren Wachstumsbeschleunigung versehen, die Erfolgskontrollen aber wegen der oben genannten Schwierigkeiten unterlassen (BOLSINGER, 1970; HAUSSER, 1970, schriftl. Mitteilungen).

Einen experimentell belegten Beitrag zu dieser Thematik hat BRECHTEL (1962 und 1969) geliefert. Im Zusammenhang mit der Bearbeitung methodischer Probleme zur Ökologie der Überschirmung und Auflichtung einschichtiger Waldbestände versuchte er das Wachstum von Kiefernanzug unter Kiefernaltbeständen in den Forstämtern Schwetzingen/ B.-Württ. und Neu-Isenburg/ Hessen mit dem Ausmaß der Auflichtung zu vergleichen und dabei außerdem die Wirkung von Düngungsgaben (Kalkung, Voll- düngung und Kombination aus beiden) zu erfassen.

Bei gleicher Düngungsvariante und bei vergleichbarem Auflichtungsprozent war der Düngungseffekt auf dem ärmeren Standort in Schwetzingen deutlich stärker, so daß den ungedüngten Pflanzen vom nährstoffreicheren Standort in Neu-Isenburg entsprechende Ergebnisse erzielt wurden. Während in Schwetzingen mit zunehmenden Auflichtungsprozenten, also höherem Lichtgenuß die Düngungswirkung bezogen auf die mittl. Maximalhöhe der Kiefern sämlinge absolut zunahm, relativ jedoch gegenüber den ungedüngten Pflanzen sich verminderte, äußerte sie sich in Neu-Isenburg überhaupt nur bei mittlerer Auflichtung und verlor sich überraschenderweise bei der stärkeren Auflichtung.

Nach mehrjähriger Beobachtung mußte BRECHTEL dann 1969 feststellen, daß der Versuch, der Kiefern naturverjüngung auf dem relativ nährstoffreichen Standort in Neu-Isenburg durch eine Kalkung und Startdüngung einen Vorsprung gegenüber dem bald

aufkommenden Unkraut zu verschaffen, erfolglos war. Die ungewollte Förderung des Unkrauts beeinträchtigte teilweise sogar die jungen Kiefern. Von ebenfalls nicht sehr ermutigenden Ergebnissen mit Düngungsmaßnahmen zur Förderung von Fichtennaturverjüngungen berichteten HEISEKE (1969) und PLATE (1975).

Im Oberhessischen Bergland untersuchten sie bei Witzenhäusen die Jugendentwicklung von Fichtenanflug auf Parzellen mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung unter einem Fichtenaltholz und auf einem Saum. Eine Mehrnährstoffdüngung nach Entfernung der dort vorhandenen Grasdecken schaffte offenbar weder im vollen Licht der Saumfläche noch nach Überschirmung bessere Wuchsbedingungen. Zwar wurde das Längenwachstum der Primärtriebe signifikant gefördert, aber im Wurzel- und Gesamtgewicht blieben die gedüngten Keimlinge gesichert unter denen auf reinem Mineralboden. Der Grund hierfür war in der raschen Entwicklung einer Sekundärvegetation zu sehen, die damit die beabsichtigte Düngewirkung überlagerte und in ihr Gegenteil verkehrte.

1.2 Literatur über das Lichtbedürfnis der Fichte

Dem Lichtfaktor kommt in den ersten Lebensjahren der Waldbäume eine zentrale Bedeutung zu, weil die Jungpflanzen einen wesentlich engeren ökologischen Spielraum als die älteren Bäume besitzen, so daß das Licht als Grenzfaktor oft lebensentscheidend wird.

Es ist deshalb verständlich, daß frühzeitig Überlegungen über den Lichtbedarf und das Schattenertragnis der Baumarten angestellt wurden und die entsprechenden Untersuchungsergebnisse ihren Niederschlag in der forstlichen Literatur fanden. HEYER versuchte 1852 bereits die früheren allgemeinen Beobachtungen und Erfahrungen über die Reaktion der Baumarten auf Beschattung, die meist bei der Naturverjüngung von Waldbeständen gewonnen worden waren, zusammenzustellen.

Er schreibt: "Wir haben diejenigen Bäume, welche man in Deutschlands Waldungen häufiger findet, auf ihr Verhalten gegen Licht und Schatten geprüft. Man kann unsere Holzarten in zwei Gruppen bringen - in lichtbedürftige und schatten-ertragende."

Die jungen Fichten und Tannen übertreffen seiner Meinung nach alle anderen Holzarten in der Fähigkeit, im Schatten von älteren Bäumen zu gedeihen.

HEYER hielt die Reaktionsnorm der Baumarten dem Licht gegenüber für konstant, auch wenn gelegentlich Abweichungen davon zu beobachten sind. Er machte diese Gruppierung deshalb auch zur Grundlage für die Beurteilung der verschiedenen forstlichen Wirtschaftsmaßnahmen bei den einzelnen Baumarten. Demgegenüber konnte FRICKE (1904) aufzeigen, daß der Lichtentzug im Wald immer gekoppelt ist mit Veränderungen der übrigen ökologischen Verhältnisse wie Temperatur, Niederschläge, Windbewegung. Außerdem hielt er die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz durch die Wurzeln der Altbäume für entscheidender für das Gedeihen des Jungwuchses unter Schirm, da "alle Holzarten die gleiche Fähigkeit haben, Licht- und Schattenformen zu bilden".

Wohl als erster bemühte sich BADOUX (1898) in "Lichtversuchen mit Deckgittern", das Verhalten der Baumarten, und zwar von 11 verschiedenen, bei abgestufter Beschattung zu untersuchen.

Mit Rahmen aus Dachlatten, auf die Gipsplatten in bestimmten Abständen genagelt worden waren, stellte er verschiedene Beschattungsgrade her. Dazu kam eine offene Parzelle. Nach vierjähriger Beobachtungsdauer von gepflanzten ein- und zweijährigen Pflanzen fand er, daß von allen Nadelhölzern Tanne und Fichte am wenigsten unter der Beschattung gelitten hatten. Hinsichtlich der Höhe zeigte die Fichte unter den verschiedenen Beschattungsgraden auch nach den drei Vegetationszeiten noch keine klaren Unterschiede. Demgegenüber verringerte sich ihr Durchmesser am Erdboden mit zunehmender Beschattung gleichmäßig (Tab.1). Die im Freien erwachsenen Fichten waren deutlich am stärksten. Die Versuche waren methodisch in vieler Hinsicht unbefriedigend, lieferten jedoch schon diese ersten interessanten Ergebnisse.

1904 begann BÜHLER (1918), die Versuche von BADOUX, ebenfalls mit mehreren Baumarten, in der Nähe von Tübingen zu wiederholen. Auch er ließ die Pflanzen mehrere Jahre unter hölzernem Deckgitter aufwachsen und erzielte damit eine starke Zuwachsminderung, die noch mehrere Jahre anhielt, nachdem die Pflanzen wieder abgedeckt worden waren (Tab.1).

1909 berichtete CIESLAR von dem unterschiedlichen Lichtverhalten der Forstbaumarten, das er mit in mehreren Jahren wiederholten Beschattungsversuchen festgestellt hatte.

MERKMAL (criterion)	PFLANZENALTER ZU VERSUCHS- BEGINN ENDE (Age of plants at the beginning end of experiment)		ABSCHATTUNG (degree of shading)					VERSUCHSANSTELLER (experimentalist)
			0	1/4	1/2	2/3	3/4	
SPROSS- DURCHMESSER (diameter of shoots)	2	6	100	78	73	59	-	BADOUX (1898)
SPROSSLÄNGE (length of shoots)	2	6	100	89	100	86	-	" "
OBERRIRDISCHES FRISCHGEWICHT (above ground fresh weights)	2 (?)	6	100	90	65	-	17	BÜHLER (1918)

Tab.1: Prozentuale Wachstumsänderungen bei Fichten nach mehrjähriger Beschattung mit Deckgittern

Alterations of development of spruces after a shading period of some years underneath shading-lattices

Auf gleichmäßig feuchtgehaltenen Gartenbeeten hatte er gleichfalls unter Lattengittern verschiedene Beschattungsgrade hergestellt. Nach dem als Maßstab herangezogenen Frischvolumen ergab sich eine zunächst nur geringe Verminderung mit zunehmender Beschattung, die deutlich stärker beim Frischgewicht erkennbar wurde. Bei den Sproßlängen dagegen zeigte sich ein Etiolementeffekt, die Längen der Fichten nahmen also bei starker Beschattung zu (Tab. 2).

MERKMAL (criterion)	ALTER (age)	BELICHTUNG (ÖFFNUNGS% DER DECKGITTER) (shading)-percentage of opening of the shading-lattices							
		absol.	100	75	66	60	50	33	25
FRISCHVOLUMEN (fresh volume)	1 j. S.	0,164 cm ³	100	79	92	90	80	64	54
SPROSSLÄNGE (length of shoot)	1 j. S.	1,99 cm	100	86	89	91	95	105	114
FRISCHGEWICHT (fresh weight)	2 j. S.	1,21 g	100	75	62	58	41	25	24

Tab.2: Meßwerte an ein- und zweijährigen Fichtensämlingen nach Beschattung mit Deckgittern (nach CIESLAR, 1909)

Datas from 1 and 2 years old spruce seedlings after shading with lattices (according to CIESLAR, 1909)

Auf der Grundlage dieser eigenen Untersuchungen betonte CIESLAR gleichfalls die Bedeutung des Wasserfaktors neben ausreichendem Lichtgenuß für das Wachstum der Sämlinge und konnte die erheblich größere Schattentoleranz der Fichte gegenüber Kiefern und Lärchen deutlich machen.

Eine experimentell exaktere Widerlegung der Schlußfolgerungen FRICKES gelang dann erst FABRICIUS (1927 und 1929), der zeigte, daß beide Faktoren, Beschattung und Wurzelkonkurrenz, einen wesentlichen Einfluß auf das Wachstum von überschirmter Naturverjüngung haben können. In seinen Versuchen war aber die Wirkung der Lichtkonkurrenz schwerwiegender.

1924 veröffentlichte SCHMIDT Ergebnisse von Vegetationsversuchen zum Ertragsfaktor Licht, in die auch die Fichte aufgenommen worden war.

Er benutzte unterschiedlich viele Lagen von Vogelnetzen zur Verminderung der Lichtintensität, die er mit lichtempfindlichen Lösungen maß. Bei den in Töpfe gesetzten Fichten fand er folgende Zuwachsleistung (Tab.3):

LICHTMENGE (%) (amount of light)	100	97	93	80	72
PROZENTUALER ZUWACHS (percental increment)	100	75	95	92	49

Tab.3: Prozentuale Frischgewichtserzeugung bei dreijährigen Fichten (als 2j. gepflanzt) nach 1 Vegetationszeit (nach SCHMIDT, 1924)

Percental production of fresh weight of 3 years old spruces (planted as 2 years old specimens) after 1 vegetation period (according to SCHMIDT, 1924)

Während sich bei den Versuchen von CIESLAR erst nach stärkerer Lichtabschwächung eine deutliche Verminderung der Zuwachsleistung eingestellt hatte, war diese anscheinend bei den Untersuchungen von SCHMIDT schon bei geringerer erheblich. Wegen auch hier noch schwerwiegender methodischer Mängel in der Versuchsanlage können auch die von SCHMIDT ermittelten Werte

aber höchstens zur Orientierung herangezogen werden. Es kommt hinzu, daß für die absoluten Angaben des Versuchszuwachses von ihm nicht einmal die Maßeinheiten genannt werden, also Vergleichsmöglichkeiten ohnehin ausgeschlossen sind.

LYR und HOFFMANN griffen 1963 zusammen mit DOHSE, 1965 zusammen mit ENGEL die Fragen der Schattentoleranz unserer Baumarten wieder auf, weil ihrer Meinung nach in den früheren Arbeiten bei Freilandbedingungen die wirksamen Faktoren (Beschattung und Wurzelkonkurrenz) nicht exakt genug getrennt waren oder bei Beschattungsversuchen die sehr unterschiedlich gehandhabte Methodik in Versuchsanordnung und Auswertung keinen sauberen Vergleich der einzelnen Baumarten untereinander gestattete. Das liegt daran, daß sich selbst die experimentell gefundenen Daten teilweise widersprechen, abgesehen davon, daß dem Einfluß solcher Faktoren wie Bodenfeuchtigkeit, Nährstoffversorgung, Pflanzenalter meist nur unzureichend nachgegangen war.

Durch die getrennte Bestimmung der Trockengewichte von Wurzel, Sproß und Blättern erschien es ihnen möglich, Angaben über die Reaktion der Pflanzenorgane auf eine Lichtminderung zu machen. Die Versuchsanlage bestand aus $3 \times 7 \times 1,5$ m mit Netzwerk und Schattenleinen verschiedener Maschenweite hergestellten Schattengittern in 4 Abstufungen. Auf Wiederholungen verzichteten LYR, HOFFMANN und ihre Mitarbeiter ebenso wie die früheren Versuchsansteller. Die Beschattungsgrade wurden mit Luxmetern und Gesamtstrahlungsmessern an mehreren Tagen bei trübem und sonnigem Wetter ermittelt und in % der Freilandhelligkeit errechnet. Die u.a. verwendeten 2-jährigen verschulten Fichten standen in Töpfen mit einer Mischung aus Sand und Rasenerde. Die Autoren folgerten, daß die Wirkung der Beschattungsvorrichtungen etwa der eines Baumbestandes auf das Bestandesklima entspräche, wo ganz ähnliche Tendenzen zu verzeichnen seien. Lediglich die Strahlung hielten sie, da die Lichtfarbe nicht durch den Grünfilter des Blätterdaches verändert gewesen sei, für photosynthetisch wirksamer als diejenige, die dem Jungwuchs oder der Bodenflora in einem Bestand zur Verfügung steht.

Bei der Fichte erzielten sie folgende Wuchsunterschiede (Tab. 4):

Im Vergleich zu Tanne und Buche zeigte sich die begrenzte Schattenfestigkeit auch der jungen Fichten an dem starken Abfall der Substanzproduktion, obwohl sie noch bei 1 % der Freilandhelligkeit wachstumsfähig schienen, wenn auch bereits Abgänge zu verzeichnen waren.

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	MASS- EINHEIT (unit)	AUSGANGS- GRÖSSE (value at beginning)	LICHTINTENSITÄT (%) (intensity of light)				
			100	68	35	12	1
GESAMT (total)	g	1,23	3,41	3,11	2,69	2,34	1,51
NADEL (needles)	%	36	38	39	36	37	44
SPROSS (shoots)	%	28	26	24	25	33	31
WURZELN (roots)	%	36	37	37	41	30	25

Tab.4: Die Gesamttrockengewichtserzeugung bei dreijährigen Fichten (gepflanzt als 1+1j.) nach 1 Vegetationszeit unter Schattengittern und der prozentuale Anteil der Pflanzenorgane am Gesamtgewicht (nach LYR, HOFFMANN und ENGEL, 1965)

Production of dry weights and percentage of the parts of 3 years old spruces (planted as 1+1 year old specimens) after 1 vegetation period underneath shanding-lattices (according to LYR, HOFFMANN and ENGEL, 1965)

Wie bei den anderen Baumarten war das Wurzelsystem am stärksten reduziert worden. Auf diesen Zusammenhang hatte bereits MAXIMOV (zit. v. SCHMIDT, 1924) aufmerksam gemacht. Aber BAKER (1945) meint, daß wahrscheinlich KRAFT (1875) als erster bemerkt hat, daß bei geringen Lichtintensitäten aufgewachsene Pflanzen abnorm kleine Wurzelsysteme haben und daß lichtbedürftige Arten ihr Wurzelwerk stärker reduzieren als schatten-ertragende. FABRICIUS 1929) hielt dieses unterschiedliche Verhalten sogar für das entscheidende Kriterium der Schattentoleranz. In der Folge ist dann von mehreren Autoren bestätigt worden, wie sehr gerade das Wurzelwachstum von Koniferensämlingen durch Licht beeinflußt wird (BATES und ROESER, 1928; GAST, 1937; RICHARDSON, 1956; NATHER, 1961).

LYR, HOFFMANN und ENGEL zeigten für den Höhenzuwachs eine deutliche Etiolementwirkung auf. Sie klärten jedoch nicht den Widerspruch in ihren Zahlenangaben auf, daß dann auch zwangsläufig die Gesamthöhe mit zunehmender Beschattung hätte ansteigen müssen, während sie für diese aber nur nahezu gleiche Werte angeben.

Sie vermuten weiterhin, daß ihre Ergebnisse besonders bei den nicht oder wenig beschatteten Varianten durch Nährstoffmangel beeinflusst wurden, der Zuwachs dort also gehemmt war. Die Überprüfung dieser Annahme durch Düngungsvarianten war mit einer getrennten Versuchsserie beabsichtigt. Über die Ergebnisse wird aber lediglich erwähnt, daß die Fichten mit nur geringfügiger Zuwachssteyerung auf die Düngung reagierten.

Es zeigt sich also, daß über das Lichtbedürfnis der Fichte im Jugendstadium zwar eine Reihe experimentell gewonnener Ergebnisse vorliegt, daß diese aber vielfach mit erheblichen methodischen Mängeln behaftet sind. Das gilt auch noch für die letztgenannte Arbeit hinsichtlich der statistischen Absicherung der Ergebnisse und der Herleitung der ökologischen Bedingungen, besonders der Lichtintensitäten unter den Schattengittern.

Außer den Mängeln, die die erwähnten Beschattungs-Versuchsanlagen durchweg aufwiesen und die in der meist unzureichenden Abgrenzung der einzelnen Beschattungsstufen gegeneinander und in dem Fehlen von Wiederholungen zu sehen sind, befriedigt auch die Untersuchung der ökologischen Verhältnisse, wobei die Lichtmessung ja nur einen Faktor erfassen kann, meist nicht.

Auch für die zahllosen Arbeiten über die klassischen Verjüngungsverfahren, nach denen in Altbeständen die Keim- und Wuchsbedingungen für die Naturverjüngung mit Hilfe von Hiebmaßnahmen reguliert wurden, gilt diese Einschränkung. WIEDEMANN (1951) hat, z.T. zusammen mit HAUFFE, versucht, die ökologischen Bedingungen besonders des Wagnerschen Blendersaumschlages in Gaildorf und im sächsischen Erzgebirge im Hinblick auf die Fichtenverjüngung zu untersuchen. Jedoch leidet die Aussagefähigkeit auch seiner Versuche darunter, daß die ökologischen Faktoren noch nicht exakt erfaßt wurden.

Erst in den jüngsten Veröffentlichungen finden sich Ansätze, die ökologischen Daten mit dem Wachstum der in Verjüngung stehenden Baumarten in direkten Bezug zu bringen. VÉZINA

(1960) versuchte dieses für Esche und Buche und fand, daß die Esche durch die relative Belichtung am stärksten in ihrer Entwicklung beeinflußt wurde, während die Reaktionen der Buchen im Dickungsalter gegenüber den Lichtverhältnissen weniger ausgeprägt waren.

Die m.W. detaillierteste Kombination ökologischer und ertragskundlicher Messungen nahm KERN (1966) über Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald vor, wobei er die Entwicklung des Jungwuchses allerdings nur am Rande behandeln konnte.

Sehr umfangreiche und eingehende Studien zum Ankommen und ersten Wachstum von Naturverjüngung, besonders der Fichte, haben HEISEKE (1969), LUFT (1970) und PLATE (1975) vorgelegt. Ihre Arbeiten konzentrieren sich schwerpunktmäßig auf Untersuchungen über das Auflaufen von Saat und Anflug bei verschiedenen Bodenzuständen und Überschirmungsbedingungen und den dabei eintretenden Schäden. Sie versuchten bei Verfolgung der weiteren Entwicklung der angekommenen Keimlinge dann auch die Bedeutung des Lichtangebots einzuschätzen. Bei einjährigen Fichten- und Tannensämlingen fand LUFT noch keinen statistisch absicherbaren Zusammenhang zwischen Überschirmung und Sproßwachstum. Außerdem stellte er fest, daß die weitere Entwicklung von Tannenjungpflanzen mehr durch Faktoren bestimmt wird, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Grad der Überschirmung stehen. Bei PLATE zeigte sich, daß bei zweijährigen Fichtensämlingen zwar die Korrelation zwischen Gesamt-trockengewichtserzeugung und Lichtgenuß auch über andere Bodenbearbeitungsvarianten statistisch gesichert war, daß sich aber nur 18 % der Gesamtstreuung durch den Lichteinfluß erklären ließ. Alle drei genannten Untersuchungen konnten sich dann nach der umfänglichen Bearbeitung der ersten Verjüngungsphase der weiteren Förderung der angekommenen Jungpflanzen nicht mehr intensiv widmen.

Der Bedeutung anderer in Wechselwirkung mit der Beschattung stehender Faktoren, d.h. besonders der durch Düngung leicht

beeinflußbaren Nährstoffversorgung versuchte GAST (1936/37) mit Hilfe von umfangreichen und sehr sorgfältig beobachteten Topfversuchen zu Kiefer nachzugehen. Seine Ergebnisse und Schlußfolgerungen geben auch für die Darstellung der Reaktionen junger Fichten so viele wichtige Anknüpfungspunkte, daß darauf im Kapitel Diskussion noch mehrfach zurückzukommen sein wird.

Wenn auch noch einige weitere Untersuchungen mit anderen Baumarten manche wichtige Hinweise für das eigene Versuchsprojekt geben (z.B. BAKER, 1945; BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965; RÖHRIG, 1967), so scheinen doch nur wenige Ansätze in der jüngeren Literatur zu finden sein, in denen das Wuchsverhalten junger überschatteter Fichten unter Freilandbedingungen untersucht und auf umfassendere ökologische Erhebungen bezogen wird. M.W. wurde aber bisher noch kein direkter Vergleich von aus Beschattungsversuchen gewonnenen Daten mit solchen aus dem Freigelände durchgeführt.

2. Versuchsbeschreibung =====

2.1 Das Versuchsareal und das gesamte Versuchsprojekt

Die Fichte verjüngt sich in vielen Gebieten auch außerhalb ihres natürlichen Areals besonders an frischen Weganschnitten, in Windwurfflächen und nach Auflichtungen oft reichlich. Die Erscheinung ist nach WIEDEMANN (1951) in vielen Mittelgebirgen, wie dem Harz, Solling, Thüringerwald, Reinhardswald, Deister zu beobachten. Auch in den höheren Lagen des Kaufunger Waldes samt sie sich vielfach willig an.

Im hessischen Forstamt Witzhausen (zwischen Kassel und Göttingen gelegen) hatte man in den oberen Teilen des Reviers um den etwas über 600 m hohen Bilstein herum ($9^{\circ} 45'$ östl.L., $51^{\circ} 17'$ nördl. Br.) vor allem nach 1945 von der Möglichkeit

der natürlichen Verjüngung auf größeren Flächen Gebrauch gemacht. Die Verjüngung wurde dabei durch schirmschlagartige Eingriffe eingeleitet. Die Räumung der Bestände erfolgte saum- und femelschlagartig.

1964 begann BURSCHEL in diesem Gebiet vor Abfall einer Fichtenmast mit der Untersuchung der ökologischen Bedingungen bei der natürlichen Verjüngung der Fichte und ihrer Förderung durch entsprechende Bodenvorbereitungen. HEISEKE berichtete 1969 über die ersten Ergebnisse, PLATE 1975 über die Fortsetzungsarbeiten.

Im Zusammenhang mit diesem Versuchsprogramm wurden ab 1965 vom Verfasser zwei weitere Versuchsflächen angelegt. Auf ihnen sollte die Beschattungswirkung eines rd. 120 j. Fichten-Altholzes und die Auswirkung unterschiedlicher Düngungsgaben sowie deren Interaktionen auf Wachstum und Entwicklung von Fichtenjungwuchs untersucht werden. Im Hinblick auf eine exakte Versuchsauswertung war es allerdings zu riskant, auf das Ankommen von Naturverjüngungspflanzen zu warten. Vielmehr wurden zur Schaffung einheitlicher Ausgangsbedingungen einjährige Fichtensämlinge ausgepflanzt.

Am Ende der zweiten Vegetationszeit nach Versuchsbeginn, d.h. im Herbst 1966, hatten die Sämlinge unter dem Schirm der Altfichten im Gegensatz zu den auf einem Saum stehenden auf die Düngung nicht mit statistisch sicherbaren Unterschieden reagiert. Es war zu vermuten, daß der geringe Lichtgenuß das Wachstum der überschirmten Fichten so stark vermindert hatte, daß sie auch die Düngergabe nicht mehr ausnutzen konnten. Dieses Ergebnis gab Veranlassung, mit einem weiteren Versuch speziell der Frage nachzugehen, welche Wirkung die Düngung bei unterschiedlicher Beschattung haben kann und wo unter den Wizenhäuser Bedingungen die Grenze ihrer Wirksamkeit erreicht wird. Deshalb wurde im Frühjahr 1967 eine Beschattungsversuchsanlage in jenem Gebiet aufgebaut.

Die im Herbst 1968 in dieser Anlage gewonnenen Ergebnisse wichen nun - wohl als Folge der unterschiedlichen Witterung in den einzelnen Beobachtungsjahren - von denen des Freilandversuchs aus dem Jahr 1965 mit der Faktorenkombination Überschirmung und Düngung etwas ab.

So erschien es zweckmäßig und wünschenswert, im Frühjahr 1969 erneut Fichten sowohl auf die Saum- und die Überschirmte Fläche als auch in die Beschattungsversuchsanlage zu pflanzen, um nunmehr Witterungsunterschiede als mögliche Ursache für Abweichungen auszuschalten.

Das gesamte Versuchsprojekt umfaßte damit drei Teilversuche:

Freiflächenversuch 1965

Beschattungskästenversuch 1967

kombinierter Freiflächen- und Beschattungskästenversuch
1969

Diese Versuchsuntereinheiten werden im folgenden nicht gesondert, sondern stets zusammengefaßt dargestellt. Das stellt zwar an den Leser höhere Anforderungen, die einzelnen Versuche zusammenhängend zu verfolgen, ermöglicht aber einen besseren Vergleich der Ergebnisse bei den einzelnen Kriterien.

2.2 Der Freiflächenversuch

Der Freiflächenversuch lag in einem Fichten-Altbestand und auf der angrenzenden Saumfläche in Abt.65a des Hess.Forstamts Witzenhausen, etwa 570 m ü.NN. an einem schwach nach Südwesten geneigten Hang. Seine beiden Teilflächen "Saum" und "Schirm" - etwa 50 m voneinander entfernt - sind in Abb.1 wiedergegeben.

2.21 Beschreibung der Überschirmten Fläche

Die nachfolgend kurz "Schirmfläche" bezeichnete Versuchsuntereinheit war mit einem 1969 rd. 120-jährigen aus Saat her-

vorgegangenen Fichtenaltholz bestanden.

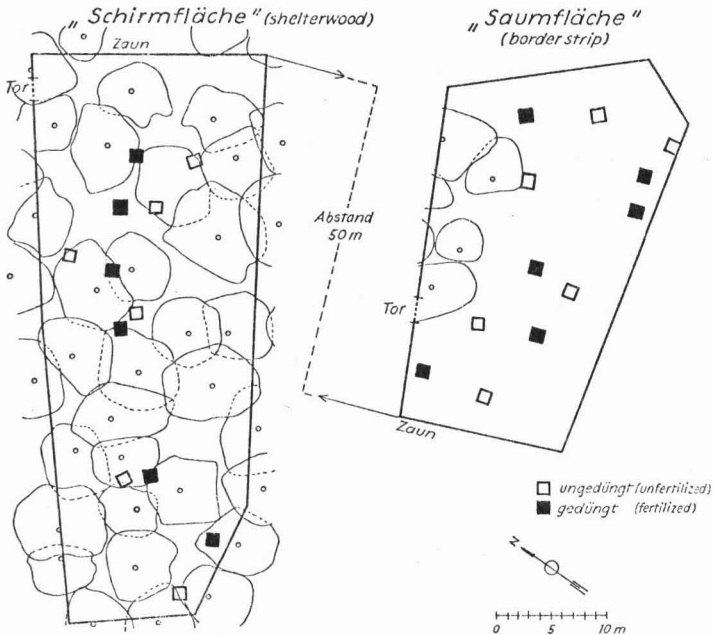


Abb.1: Übersichtsplan des Freiflächenversuchs Witzenhausen mit den beiden Teilflächen auf einem Saum und unter einem Fichten-Altbestand

Outline plan of the open air experiment at Witzenhausen including two parts: One of them on a border strip, the other underneath a shelterwood

Die vorhandenen Bäume zeichnen sich durch normale, gleichmäßig geformte Kronen aus. Als Folge der in diesem Alter aufgelockerten Stellung der Altfichten hatte sich ein weitgehend geschlossener Rasen aus *Deschampsia flexuosa* eingestellt.

Auf der 0,15 ha großen Schirmfläche wurden die Bestandesdaten nach Vollaufnahme und Ausplanimetrieren der Kronenprojektionen ermittelt (Tab.5). Verglichen mit den Angaben der Ertrags-tafel von WIEDEMANN (1943) für Fichte, starke Durchforstung,

ist der Bestand der III. Ertragsklasse zuzuordnen und trotz des lockeren Kronenschlusses noch als fast vollbestockt anzusehen.

STAMM- ZAHL (number of stems) Stck/ha	MITTEL- HÖHE (mean height) m	MITTEL- BHD (mean d.b.h.) cm	GRUND- FLÄCHE (basal area) m ² /ha	VORRAT (volume) Vfm/ha	B° (stand density)	ÜBER- SCHIRMUNG (sheltering) %
269 (294)	27,0 (29,0)	38,8 (37,5)	32,4 (32,5)	411 (452)	0,91 (1,0)	73

Tab.5: Die Daten des Fichtenbestands auf der Schirmfläche.

In Klammern die Angaben für die III.Ertragsklasse, starke Durchforstung nach WIEDEMANN

Datas of the spruce shelterstand. In brakes the datas for quality class III, heavy thinning, according to WIEDEMANN

Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung ist eine diluviale Fließerde aus tertiär verwittertem Buntsandstein (sm₂), mit Lösslehm vermischt und stellenweise überlagert.

Nach der Bodenanalyse und Profilaufnahme (Einzelheiten siehe HUSS, 1971) kann der Bodentyp als skelettreiche, tiefgründige, basenarme Braunerde mit schwach angedeuteter Podsolierung bezeichnet werden, mit Zunahme des Ton- und Grobsandanteils und starker Verdichtung im Unterboden.

2.22 Beschreibung der Saumfläche

Die nachfolgend kurz "Saumfläche" genannte Versuchsuntereinheit lag am SSO-Rand des beschriebenen Fichten-Altbestandes, der Anfang der fünfziger Jahre hier geschlagen worden war. Die Fläche hatte eine Breite von 15-20 m und wurde ihrerseits im SSO von einer zu Versuchsbeginn rd. 10-jährigen, aus Naturverjüngung hervorgegangenen Fichtendickung begrenzt. Durch

die jahrelange Freilage hatte ein dichter Drahtschmielenrasen die Fläche vollständig überzogen.

Die Bodenverhältnisse entsprachen weitgehend denen der Schirmfläche.

2.23 Der Überschirmungs-Düngungs-Freiflächenversuch 1965

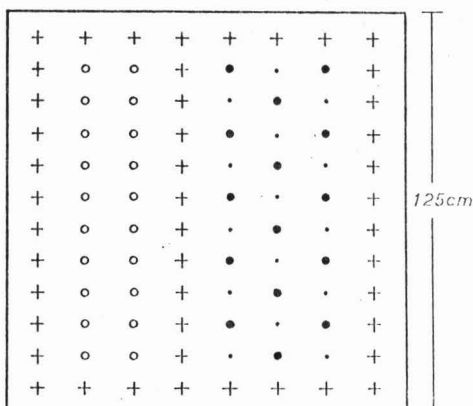
1. Versuchsanordnung

Auf beiden Flächen wurden 1.25 x 1.25 m große Parzellen in 6-facher Wiederholung (in Blockanordnung) angelegt, die Verteilung der Parzellen in den Blöcken dabei mit Hilfe von Zufallszahlen vorgenommen.

Die Konkurrenz durch die Grasrasen auf beiden Flächen und durch das Wurzelwerk der Altfichten auf der Schirmfläche sollte ausgeschaltet werden. Deshalb wurden auf den "grasfreien" Parzellen vorsichtig die Grasdecke ab- und die Altholzwurzeln herausgezogen, der Humushorizont aber soweit wie möglich belassen und eine tiefergreifende Bearbeitung vermieden, um das natürliche Bodengefüge nicht zu stören.

Auf jeder der beiden Flächen wurde dieselbe Zahl von Parzellen angelegt zur einwandfreien Erfassung des Überschirmungseffektes. Die Trennung in je eine ungedüngte und eine gedüngte Variante in jedem Block sollte außerdem die Herleitung des Düngungseffektes für jede Fläche einzeln, aber auch insgesamt ermöglichen.

Die Parzellen wurden mit 1-jährigen Fichtensämlingen entsprechend dem in Abb.2 dargestellten Schema bepflanzt. Die Angaben über das verwendete Pflanzenmaterial sind im Abschnitt 2.4 und in Tab.9 zusammengefaßt.



Verband (spacing) 10 × 15 cm (96 Pfl. insgesamt/total)
 + Randpflanzen (border plants)
 o 20 im Herbst 1966 geerntete Pfl. (20 plants harvested in autumn 1966)
 • 15 im Herbst 1967 geerntete Pfl. (15 plants harvested in autumn 1967)

Abb.2: Bepflanzungs- und Ernteschema auf den Parzellen des Freiflächenversuchs 1965

Set of plants and harvesting schedule in the plots in the open air experiment 1965

2. Düngungsplan

Die Düngung wurde auf eine Kombination der vier Hauptnährstoffe N, P, K, Ca aus heute in der Forstwirtschaft vielfach verwendeten Einzeldüngern abgestellt. Dabei sollte das Verhältnis der Komponenten möglichst ausgewogen sein. Die Einzelheiten über die Dünger und die gegebenen Mengen stehen in Tab.6.

Thomasphosphat, Kalimagnesia und Hüttenkalk wurden Mitte April 1965 unmittelbar vor der Pflanzung auf den Parzellen ausgestreut und leicht eingeharkt, Kalkammonsalpeter Mitte Mai bei trockenem Wetter als Kopfdüngung gegeben.

Eine zweite Düngung erfolgte Anfang Mai 1966 mit den leichter auswaschbaren Düngern Kalkammonsalpeter und Kalimagnesia mit derselben Menge wie im Vorjahr (vgl. Tab.6).

DÜNGERTYPEN- BEZEICHNUNG (type of fertilizer)	MENGE (quantity) kg/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	WEITERE BESTANDTEILE (further constituents)
KALKAMMON- SALPETER	340	75 ($\frac{1}{2}$ NH ₄) ($\frac{1}{2}$ NO ₃)	-	-	110	-	-
THOMAS- PHOSPHAT	940	-	150	-	420	20	Mn, SPURENNÄHRST. (trace nutrients)
KALIMAGNESIA	500	-	-	125	-	40	-
HÜTTEN- KALK	3090	-	5	3	1500	150	Al ₂ O ₃ , Fe, S, Mn SPURENNÄHRST. (trace nutrients) SiO ₂

Tab.6: Die ausgebrachten Düngermengen und ihre ungefähren Nährstoffgehalte

Quantities of fertilizers and their approximate nutritive substances

3. Versuchsablauf und Ernteprogramm

Anfang Juni 1965 traten in geringem Umfang Ausfälle bei den jungen Fichten auf. Sie wurden mit Pflanzen aus einem hierfür vorgesehenen Verfügungsquartier nachgebessert.

Als Folge der ungewöhnlich hohen und heftigen Niederschläge im Juli standen einige Pflanzen der Schirmfläche wochenlang im Wasser und verfaulten, andere wurden mit einem Mantel aus Nadeln und Humusteilen überzogen, in dem sich der zerschlitzte Warzenpilz (*Telephora laciniata*) entwickelte. Sorgfältige Bekämpfungs- und Säuberungsaktionen verhinderten jedoch größere Schäden.

Auf den grasfreien Parzellen der Saumfläche flogen als Folge der Düngung rasch Unkräuter an. Soweit dieser Eingriff die Fichten nicht in Mitleidenschaft zog, wurden sie vorsichtig herausgezogen, andernfalls regelmäßig oberirdisch abgeschnitten.

Nach der ersten Vegetationszeit, im Herbst 1965, wurden nur die Sproßlängen der jungen Fichten gemessen, im Herbst 1966 dann 20 Pflanzen je Parzelle zur Aufarbeitung im Labor sorgfältig ausgegraben und im Herbst 1967 schließlich von den noch verbliebenen Exemplaren ca. 15 Stck je Parzelle am Erdboden abgeschnitten und der oberirdische Teil ebenfalls im Labor aufgemessen und analysiert (vgl. Abb.2). Hinweise über die Verwertung des Materials sind in Kap.4 gegeben.

2.24 Der Überschirmungs- Düngungs-Freiflächenversuch 1969

Aus den bereits genannten Gründen des Vergleichs mit den Wuchsverhältnissen in der Beschattungsanlage wurde im Frühjahr 1969 die oben beschriebene Anordnung des Freiflächenversuchs 1965 etwas abgewandelt wiederholt.

Auf beiden Flächen wurden wiederum ungedüngte und gedüngte Parzellen angelegt, diesmal in 5-facher Wiederholung.

Weder auf der Saum-, noch auf der Schirmfläche stand aber genügend ungestörtes Gelände zur Verfügung. Auch sollte ein einheitliches Bodensubstrat sowohl in der Freiflächen- wie in der Beschattungskästenanlage verwendet werden. Deshalb wurden auf den Plätzen der früheren ungedüngten Kontrollparzellen jeweils etwa 1 m voneinander entfernt, je zwei 50 x 50 cm breite und 30 cm tiefe Löcher ausgehoben, an den Seitenwänden mit 1 cm starken Styroporplatten ausgekleidet und mit Erde gefüllt. Diese Kästen blieben am Boden zur Erhaltung eines ungestörten Wasseraustauschs nach unten offen.

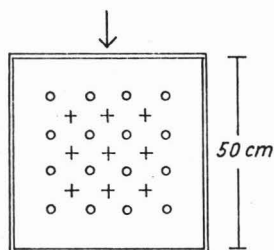
Die Erde war in einem benachbarten Buchenbestand gewonnen worden. Nach Beseitigung der Laubstreu wurde das obere Bodenmaterial (1 Spaten tief) entnommen, auf einen Haufen geworfen, gut durchmischt, dann in die Kästen eingefüllt und etwas angedrückt.

Je einer der jeweils benachbarten Kästen erhielt eine um 10 % höhere Nährstoffgabe, wie sie beim Freiflächenversuch 1965 gegeben worden war (vgl.Tab.6) - die Begründung für diese Erhöhung wird auf S.28 gegeben - und alle wurden in gleicher Weise mit einjährigen Fichtensämlingen bepflanzt (Abb.3).

Im Herbst 1969 wurden die Fichten wieder ausgegraben und im Labor untersucht. Eine ebenfalls im Herbst 1969 durchgeführte Analyse aus Mischproben des Bodensubstrats in den ungedüngten und den gedüngten Erdkästen zeigte gemäß Tab.7 bei den Nähr-

elementen P, K, Ca und Mg eine starke Erhöhung der Gehalte, keine meßbare Veränderung jedoch beim N-Gehalt, dem Glührückstand und dem C:N-Verhältnis.

30 cm tief eingelassene Styroporwand
(styropor frame inserted 30cm deep into ground)



Verband 5 × 5 cm (25 Pfl. insgesamt)
(spacing)

○ geerntete Pflanzen (16 Stück)
(plants harvested)

Abb.3: Bepflanzungs- und Ernteschema auf den Parzellen des Freiflächenversuchs 1969

Set of plants and harvesting schedule in the plots in the open air experiment 1969

DÜNGUNGS- VARIANTE (type of fer- tilization)	pH in H ₂ O KCL		N	P	K	Ca	Mg	GLÜH- RÜCKSTAND (ignited residue) %	C : N
			mg/100g LUFTTROCK. BODEN (air dried soil)						
UNGEDÜNGT (unfertilized)	3,7	3,4	342	5,9	5,2	8,0	0,3	85,4	24,8
GEDÜNGT (fertilized)	4,1	3,7	377	11,1	10,5	42,5	12,5	85,2	27,1

Tab.7: Ergebnisse der Bodenanalysen für das im Freiflächenversuch und in den Beschattungskästen verwendete Bodenmaterial nach der Aufnahme im Oktober 1969

Results of analysis of the soil used in the shading boxes, according to the inventory in Oct.1969

2.3 Die Beschattungskästenanlage

Ziel dieses Versuchsvorhabens sollte die Untersuchung der Wirkung von Beschattung auf das Wachstum junger Fichten unter kontrollierten Bedingungen sein sowie der Veränderungen, die

eine verbesserte Nährstoffversorgung durch Düngung dabei ergibt.

Es kam darauf an, den Beschattungsversuch unter solchen ökologischen Bedingungen auszuführen, die denen der Versuchsf Flächen möglichst ähnlich waren.

In der Literatur finden sich nun Beschreibungen über zahlreiche und z.T. recht verschiedenartige Konstruktionen von Schattierungsvorrichtungen mit Vogelnetzen, Latten, Gittern, Aluminiumblättern, Glasscheiben, Baumwoll- und Musselintüchern, Drahtgeflechten und Papiergeweben (BADOUX, 1898; CIESLAR, 1909; SCHMIDT, 1924; GAST, 1937; BAKER, 1945; BLACKMAN und WILSON, 1951; LYR, HOFFMANN, RITTER, 1966; HUXLEY, 1967).

Nach Vorversuchen im Institut für Waldbau-Technik (BURSCHEL und HUSS, 1964) hatten BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) eine Anlage mit 2 x 2 m großen Kästen konstruiert, bei der neben Fischernetzen in erster Linie Schattengitter aus 5 cm breiten Jalousieblättern verwendet wurden, und mit ihrer Hilfe den Beschattungseinfluß bei jungen Buchen untersucht.

RÖHRIG (1967) benutzte die Anlage außerdem, um die Reaktion von Eichen, Linden, Bergahorn und Lupinen auf Beschattung zu ermitteln. Das einleuchtende Bauprinzip und die Möglichkeit zum Vergleich mit den seinerzeit gewonnenen Daten legten es nahe, diese Anlage für den genannten Zweck nachzubauen. Das bei dem Freiflächenversuch noch verfügbare Gelände eignete sich wegen der Hangneigung und der unmittelbaren Nachbarschaft von Altbeständen nicht für die Anlage eines Beschattungsversuches. In einer Entfernung von etwa 1 km Luftlinie fand sich jedoch auf einem ehemaligen ca. 5 ha großen Wiesengelände auf der gleichen Höhenlage eine fast ebene für eine solche Anlage brauchbar erscheinende Fläche.

Sie war zum Zeitpunkt der Versuchsanlage hauptsächlich dicht mit Gräsern wie *Aira caespitosa*, *Agrostis tenuis*, *Deschampsia flexuosa*, *Carex spec.* sowie einigen Kräutern wie *Potentilla erecta*, *Arnica montana*, *Galium saxatile*, *Vaccinium myrtillus* und *Hypericum perforatum* bewachsen.

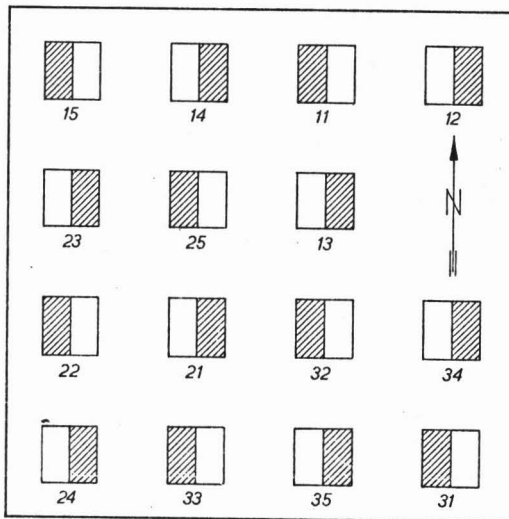
Trotz vergleichbarem geologischem Ausgangsmaterial wie bei den Flächen des Freiflächenversuches hatte hier die nahezu

ebene Geländeform einen Pseudogley-Stagnogley entstehen lassen. Unterschiede zwischen den Standorten der beiden Versuchsanlagen dürften also vor allem in der Wasserversorgung bestanden haben.

2.31 Der Beschattungsversuch 1967

1. Die Versuchsanordnung

Im Frühjahr 1967 wurden 2 x 2 m große Parzellen mit 5 Beschattungsabstufungen (einschl. einer offenen Variante) und Seitenlichtabschattung, dreifach wiederholt in Blockanordnung hergestellt. Der Versuchsplan ist in Abb.4 wiedergegeben.



□ ungedüngt
(unfertilized)

■ gedüngt
(fertilized)

Abb.4: Anordnung der Kästen im Beschattungsversuch 1967
(Numerierung: Zehnerstelle = Wiederholung; Einerstelle = Beschattungsstufe)

Pattern of the boxes in the shading experiment 1967
(enumeration: first digit = replication; second digit = shading degree)

2. Die Beschattungsvorrichtungen

Eine definierte Verringerung der Lichtintensität wurde mit Hilfe von selbstgefertigten Holzrahmen mit darauf in unterschiedlichem Neigungsgrad befestigten 5 cm breiten Jalousieblättern aus grüngestrichenem Aluminiumblech erreicht (Abb.5).

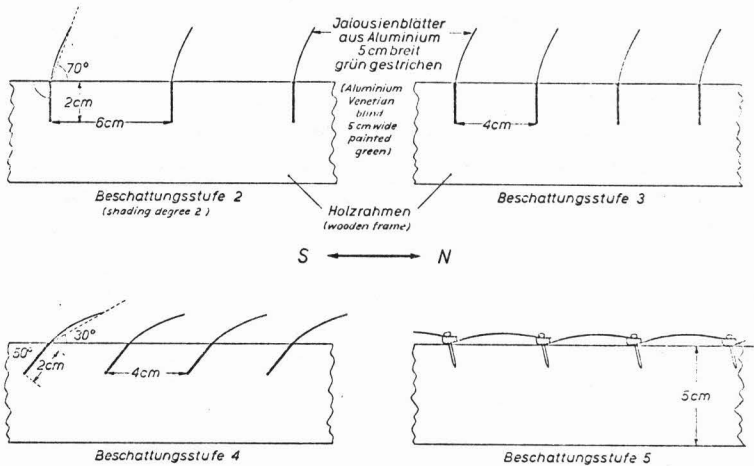


Abb.5: Schematische Darstellung der Schattierungsgitter mit Jalousieblättern

Schematic figure of the shading lattices

Diese Schattengitter wurden in 80 cm Höhe waagrecht über den Parzellen angebracht. Das Seitenlicht wurde mit 80 cm hohem dichterem Rohrmattengeflecht (15-20 % Lumen), das an der oberen Hälfte doppelt ausgeführt war, abgeschirmt. Das Geflecht bremst zwar die Windgeschwindigkeit erheblich (vgl. NÄGELI, 1953), verhindert aber eine Luftzirkulation nicht völlig.

Die "Mattenhütten" wurden in Nord-Süd-Richtung 2 m voneinander getrennt aufgestellt (Abb.4). Durch die Variation der Schattengitter und des Seitenschutzes ergaben sich folgende Abstufungen (Abb.5):

Beschattungs- stufe	1: ohne jede Bedeckung,
"	2: senkrecht gestellte Jalousieblätter in weitem Abstand,
"	3: senkrecht gestellte Jalousieblätter in ge- ringerem Abstand,
"	4: schräg gestellte Jalousieblätter,
"	5: geschlossene Jalousie.

Alle Parzellen waren mit einem Seitenschutz aus Rohrmatten versehen.

Im Einzelnen ist dazu zu bemerken (vgl.dazu Abb.4 und 5).

Beschattungs- stufe	1: Bei der Anlage 1967 mußte diese Variante ohne Bedeckung aber mit seitlicher Behinderung der Luftzirkulation als Bezugsbasis dienen. Erst 1969 wurde die echte Kontrollvariante Beschattungsstufe 0: ohne jede Bedeckung und ohne Seitenschutz eingefügt.
"	2: Statt der von SCHMALTZ verwendeten Fischnetze, die nur eine unzureichende Abschattung ergeben hatten, wurden Jalousieblätter in 6 cm Abstand senkrecht gestellt. Aufgrund der leichten Rundung dieser Blätter im Querschnitt ergab sich damit ein Öffnungswinkel von etwa 80°.
"	3: Bei senkrechter Stellung hatten die Jalousieblätter einen Abstand von 4 cm.
"	4: Durch Einkerbungen in einem Winkel von 50° hatten die Jalousieblätter einen Öffnungswinkel von etwa 30°.
"	5: Bis auf einen schmalen Spalt für den Durchlaß des Regenwassers waren diese Jalousien völlig geschlossen.

Die Öffnung aller Jalousien war nach Norden gerichtet, damit kein oder nur wenig direktes Licht eindringen konnte.

3. Das Düngungs- und Bepflanzungsschema

Auf allen Parzellen hatten zunächst die Grasdecken unter möglichst geringer Störung des Bodengefüges und weitgehender Be-

lassung des obersten humosen Horizontes beseitigt werden müssen. Dann wurden die Parzellen in Nord-Süd-Richtung geteilt und zur Hälfte mit Kalkammonsalpeter, Thomasphosphat, Patentkali und Hüttenkalk gemäß dem unter 2.232 für den Versuch dargestellten Schema gedüngt (vgl. Tab.6).

Die Gesamtnährstoffgabe erhöhte sich allerdings durch einen Berechnungsfehler um 10 %. Es war nämlich übersehen worden, daß die nutzbare Fläche jeder Halbpazelle nicht $2 \times 1 \text{ m} = 2.0 \text{ m}^2$, sondern als Folge des Überstandes der Schattengitter nur $1.90 \times 0.95 \text{ m} = 1.8 \text{ m}^2$ groß war.

Ein Transport der Nährstoffe von den gedüngten zu den ungedüngten Halbpazellen wurde durch 30 cm tief in den Boden eingelassene Trennlamellen aus 0,6 cm starken Holzfaserplatten ausgeschaltet.

Jede Halbpazelle wurde mit 8 Reihen à 16 einjährigen Fichtensämlingen im Verband $10 \times 10 \text{ cm}$ bepflanzt (Abb.6).

Eine Analyse der im Boden austauschbaren Nährelemente (NH_4Cl -Auszug) wurde im Institut für Bodenkunde nach einer volumengleichen Bodenprobenentnahme (100 cm^3 jeweils aus den 3 Bodentiefen 1-10, 11-20, 21-30 cm) im Okt.1968 durchgeführt (Tab.8).

Nach 2 Vegetationszeiten Versuchsdauer hatten sich der statistischen Berechnung des Datenmaterials zufolge keine sichtbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Beschattungsstufen ergeben. Demgegenüber (vgl. Tab.8) lag in allen Fällen, auch bei den ungedüngten Varianten der Elementgehalt der Bodentiefe 0-10 cm gegenüber den beiden folgenden signifikant bis höchstsignifikant höher. Der Düngungseinfluß war außer bei den Ca- und Mg-Gehalten nur auf die oberste Bodenschicht beschränkt geblieben und hatte bei K, Ca und Mg eine Erhöhung, bei Al und Fe trotz der im Hüttenkalk vorhandenen Anteile eine Verminderung bewirkt, die vermutlich auf die Anhebung der pH-Werte zurückzuführen war.

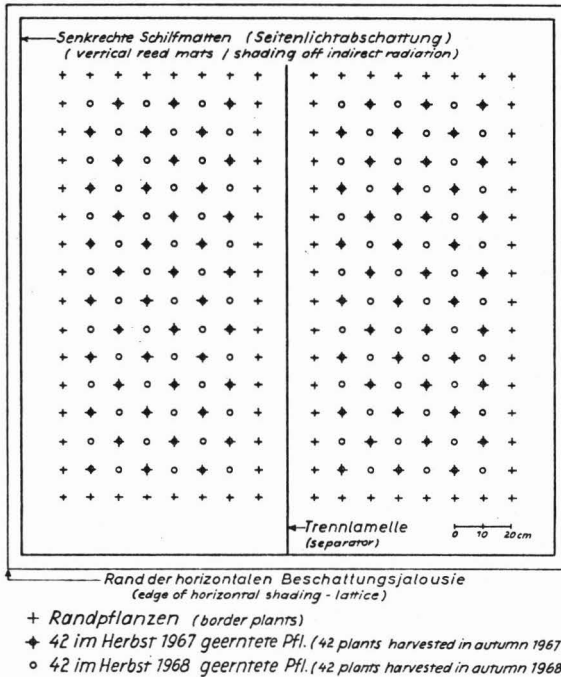


Abb.6: Bepflanzungs- und Ernteschema der 2 x 2 m großen Parzellen des Beschattungsversuchs 1967

Set of plants and harvesting schedule in the 2 x 2 m plots in the shading experiment 1967

ELEMENT- GEHALT (content of nutrients)	UNGEDÜNGT (unfertilized)			GEDÜNGT (fertilized)		
	cm BODENTIEFE (depth of soil)					
	0-10	11-21	21-30	0-10	11-20	21-30
pH (KCL)	3,5	3,8	3,9	4,3	3,8	3,9
K	11,8	7,8	6,6	22,4	10,1	7,0
Ca	8,7	3,6	4,2	100,5	12,5	8,6
Mg	2,1	0,9	1,0	17,2	2,6	2,2
Al	5,5	4,0	3,5	7,8	3,5	3,3
Fe	3,1	0,8	0,7	7,1	0,6	0,5

Tab.8: Nährelementgehalte (mg/100 g lufttrockener Boden) der Bodensubstrate (NH₄Cl-Austausch) im Beschattungsversuch 1967 nach der Aufnahme vom Oktober 1968

Contents of nutrients (mg per 100 g air dried soil) in the soil of the shading experiment 1969, according to the inventory in Oct.1968

4. Der Versuchsablauf

An den Pflanzen traten keine Schäden wie unter 2.233 beschrieben auf.

In den nicht oder nur wenig beschatteten Parzellen des Versuchs 1967 saßen sich im Laufe der zweiten Vegetationszeit, 1968, stellenweise Gräser und Kräuter stark an. Um beim Jäten nicht auch Fichten mit herauszureißen, mußten wir uns meist darauf beschränken, die oberirdischen Unkrautteile bodengleich abzuschneiden. Eine gewisse Beeinträchtigung durch Wurzelkonkurrenz ist deshalb bei den Parzellen der Beschattungsstufen 1 und 2 nicht auszuschließen.

5. Das Ernteprogramm

Der Versuchsplan war darauf abgestellt, daß der enge Pflanzverband von 10 x 10 cm im Zuge der Erntemaßnahmen folgendermaßen gelockert wurde:

Jede Halbparzelle hatte bei ihrer Anlage 128 Pflanzen (Abb.6). Von diesen standen 44 Stck. am Rande und sollten zunächst nicht geerntet werden. Von den 84 "auswertbaren" Fichten wurde am Ende der ersten Vegetationszeit (Okt.1967) jede 2. Pflanze bodengleich abgeschnitten und zwar so, daß die verbleibenden Pflanzen "auf Lücke standen", d.h. in den Reihen jetzt einen Abstand von 20 cm und zu den Pflanzen der Nachbarreihen von knapp 15 cm hatten. Die Randreihen wurden in derselben Weise aufgelockert. Nach Abschluß der zweiten Vegetationszeit (Okt. 1968) wurden die verbliebenen 42 "auswertbaren" Pflanzen mit den Wurzeln ausgegraben, unter größtmöglicher Schonung der noch vorhandenen 22 Randpflanzen. Diese wurden, da offenbar noch repräsentativ für die Wuchsbedingungen in der Versuchsanlage, im Herbst 1969 geerntet und als zusätzliche, wenn auch nur mit Einschränkungen verwendbare Informationsquelle analysiert.

2.32 Der Beschattungsversuch 1969

Auf den Parzellen des Beschattungsversuchs 1967 standen - wie gerade beschrieben - nach der Ernte im Herbst 1968 nur noch die Randpflanzen. Zwischen sie konnten daher, ebenso wie beim

Freiflächenversuch 1969 50 x 50 cm große und 30 cm tief in den Boden eingelassene Kästen mit Styroporseitenwänden gesetzt und einheitlich mit einer angemischten Erde gefüllt werden. Alle Details entsprachen den in Abb.3 dargestellten. Entgegen der Meinung früherer Versuchsansteller, daß nämlich eine Seitenlichtabschattung in solchen Beschattungsversuchsanlagen keine wesentliche Bedeutung habe, wurde 1969 eine "echte" Kontrollvariante eingefügt. Während der Laufzeit des Beschattungsversuchs 1967 war nämlich der Eindruck entstanden, daß die Seitenlichtabschattung doch eine das Pflanzenwachstum beeinflussende Größe sein könne. Deshalb enthielt der Beschattungsversuch 1969 insgesamt 6 Beschattungsstufen. Die ungedüngten und gedüngten Kästen ohne Seitenschutz wurden jeweils auf offene Stellen zwischen den "Mattenhütten" plaziert, so daß sie den jeweiligen Versuchsböcken zugeordnet werden konnten. Die Düngung entsprach aus Vergleichsgründen der im Freiflächenversuch 1969 gegebenen.

Diese Versuchseinheit wurde bereits im Okt. 1969, also nach nur einer Vegetationszeit wieder vollständig abgeerntet.

2.4 Das in den Versuchseinheiten verwendete Pflanzenmaterial

Alle hier dargestellten Versuchseinheiten waren in den verschiedenen Jahren stets einheitlich mit einjährigen Fichtensämlingen der Herkunft, "Hessisches Bergland" bepflanzt worden. Einige Durchschnittswerte ihrer Größe und Beschaffenheit sind in Tab. 9 zusammengestellt. Die Pflanzen wurden durch Entnahme der kleinsten und der größten Individuen grob vorsortiert. Dadurch war die Streuung des Materials relativ gering. Der prozentuale Standardfehler lag bei 3-5 % (Stichprobengröße 100 Pfl).

Die Pflanzung von Sämlingen ist gegenüber der risikoreicheren Begründung der Versuche mit Saaten, insofern etwas problematisch, als alle Pflanzen, unberücksichtigt der Beschattungsstufe oder Überschirmung im Freigelände die gleichen Ausgangsbedingungen haben, also auch dieselben Reservestoffmen-

gen von der gemeinsamen Aufwuchsperiode im unbeschatteten Saatbeet mitbringen. Die Entwicklung der jungen Pflanzen zeigte in den Versuchen jedoch, daß dieses Moment offenbar vollständig durch den Einfluß der Versuchsfaktoren überlagert wird.

MERKMAL (criterion)	MASS-EINHEIT (unit)	1965	1967	1969	
GESAMT- (total-)	Trocken- NADEL- (needle) gewicht SPROSS- (shoot-) (dry WURZEL- (root-) weight)	mg/Pfl.	182	147	145
		" "	91	75	73
		" "	40	27	27
		" "	51	45	45
WURZEL:SPROSS-VERHÄLTNIS (root:shoot-ratio)	%	39	44	45	
SPROSSBASISDURCHMESSER (diam. of shoot at basis)	mm/Pfl.	-	1,0	1,0	
SPROSSLÄNGE (length of shoot)	cm/Pfl.	6,0	5,1	5,3	

Tab.9: Durchschnittl. Trockengewichts- und Meßwerte der in den Versuchsanlagen verwendeten 1-j. Fi-Sämlinge

Mean dry weights and different criteria measured at the 1 year old spruce seedlings used in the experiments

Im folgenden wird das Alter der Pflanzen stets so angegeben, wie es bei in Baumschulen angezogenen Pflanzen üblich ist. Eine 1+2-jährige Fichte ist demnach als einjähriger Sämling in die Versuchsanlage gepflanzt, gleichsam verschult worden, und hatte dort zum Zeitpunkt der Aufnahme zwei Vegetationszeiten gestanden, war insgesamt gesehen also dreijährig.

3. Ökologische Messungen im Fichtenaltbestand und unter den

=====
Beschattungsvorrichtungen und Vergleich der Ergebnisse
=====

Das Bestandesdach über den Freiflächenversuchen ebenso wie die Schattenjalousien im Beschattungsversuch führten zu einer erheblichen Veränderung der ökologischen Bedingungen auf den beschatteten Parzellen gegenüber den im offenen Gelände angeleg-

ten Versuchseinheiten. Die Reduktion des Lichtfaktors wurde bei ähnlichen Versuchen stets als das entscheidende Moment beurteilt. Deshalb wurde seiner Erfassung vorrangig Aufmerksamkeit entgegengebracht. Zugleich mit der Lichtreduzierung veränderten sich aber auch alle anderen Einflußgrößen wie Temperaturen, Niederschläge, Windbewegung. Es wurde daher gleichfalls versucht, sie so weitgehend zu erfassen, wie es von der Arbeitskapazität her und mit Hilfe der Geräteausstattung des Instituts möglich war.

3.1 Die Witterung während des Beobachtungszeitraums

Nach den Angaben der Wetterwarte Göttingen (rd. 30 km entfernt) und den Aufzeichnungen der Meßstation Steinberg (10 km vom Versuchsgelände entfernt) läßt sich der Witterungsablauf in den Vegetationszeiten der Beobachtungsjahre 1965-1969 folgendermaßen charakterisieren:

1965: Alle Monate der Vegetationszeit, besonders aber der Juli und August, waren erheblich zu kalt und im Durchschnitt auch zu naß, wobei besonders schwere Regenfälle im Juli zu nennen sind.

1966: Während die Monate April bis Juni etwas wärmer als normal waren, lagen die Temperaturen vom Juli bis zum September unter dem langjährigen Mittel. Außerdem zeichnete sich der Sommer durch hohe Niederschläge und das Vorherrschen regnerischen Wetters aus.

1967: Umgekehrt wie im Vorjahr war das Frühjahr etwas zu kalt und die Monate Mai und Juni erheblich zu naß, der Sommer aber warm (besonders im Juli) und jedenfalls im Juli trocken, die ganze Vegetationszeit insgesamt aber erheblich zu naß.

1968: Die Durchschnittswerte bei Niederschlägen und Temperaturen entsprachen etwa dem langjährigen Mittel, wobei der Juli etwas zu trocken und zu kühl, August und September etwas zu naß waren.

1969: Auch 1969 waren die Abweichungen vom Durchschnitt nicht allzu gravierend, das Frühjahr kühl, aber trocken, der Sommer warm und im August etwas zu naß, der Herbst trocken und kühl.

3.2 Die Strahlungsverhältnisse in den Versuchsanlagen

Über die Bedeutung des Faktors Licht für die pflanzliche

Stoffproduktion und seine Erfassung im Freigelände ist eine Fülle von Arbeiten, besonders mit botanischer Blickrichtung erschienen. Diese Zahl reduziert sich jedoch erheblich, wenn man nur jene mit ökologischer Fragestellung heranzieht und hieraus auch wieder jene auf forstliche Verhältnisse gerichteten Arbeiten auswählt.

Bei Versuchen dieser Art wurden bisher meist photoelektrische Strahlungsmeßmethoden angewandt, die nur den sichtbaren Bereich der Strahlung (ca. 300 - 700 nm), also das eigentliche "Licht", erfassen, und kalorische, die je nach Bauprinzip einen mehr oder minder großen Teil der "Gesamtstrahlung" (300 - 3000 nm) messen. Demgegenüber gelten die chemischen Methoden durchweg als veraltet (SAUBERER und HÄRTEL, 1959).

Von den elektrischen Strahlungsmeßgeräten haben die Selen-Photoelemente, deren spektraler Empfindlichkeitsbereich durch Anpassungsfilter weitgehend dem des menschlichen Auges angenähert werden kann, die Hauptbedeutung erlangt.

Bei diesem Projekt standen Handluxmeter für Punktmessungen und ein registrierendes Gerät mit drei Zellen für kontinuierliche Aufnahmen zur Verfügung. Vergleichsweise konnten für Messungen auf kalorischer Basis 1968 zwei, 1969 drei Bellani-Destillationspyranometer eingesetzt werden.

Um einen Vergleich der Belichtungsverhältnisse in den beiden Versuchsanlagen zu ermöglichen, wurde versucht, gleichzeitig oder doch in derselben Weise Strahlungsmessungen im Freigelände und in den Beschattungskästen vorzunehmen. Im folgenden werden die Meßergebnisse zunächst getrennt dargestellt und dann zusammenfassend gewertet.

3.21 Messungen mit Photoelementen

1. Messungen mit Handluxmetern, Gerätebeschreibung und Meßmethode

Zur Verfügung standen zwei AEG-Handluxmeter mit Selen-Sperr-

schicht-Photoelementen sowie Augenanpassungsfiltern und mehreren Meßbereichen, die durch Erweiterungsvorsätze bis auf Beleuchtungsstärken von 120 000 Lux ausgedehnt werden können.

Die ebenfalls gelieferten Cosinus-Vorsätze, die Meßfehler bei schräg einfallenden Strahlen vermeiden sollen, ergaben bei zahlreichen Vergleichsmessungen große Abweichungen und Unstimmigkeiten und wurden deshalb nur anfangs verwendet. Größere Meßfehler ($> 10\%$) treten aber nach Angaben des Herstellers und nach PLEISSEL und LONGMORE (1952) erst bei einem Lichteinfall von über 50° auf. Dieser dürfte, da stets um die Mittagszeit gemessen wurde, kaum je überschritten worden sein. Außerdem wurde immer gleichzeitig auf der Freifläche und an dem jeweiligen Meßplatz gemessen. Bei schräg einfallender Strahlung mußten die Messungen also mit einem gleichgerichteten Fehler belastet und die relativen Angaben über die Beleuchtungsverhältnisse an den Meßplätzen etwa zutreffend sein.

Die Handluxmeter erlauben lediglich "Punktmessungen". In Betracht der auch an klaren Strahlungstagen auftretenden kurzfristigen Schwankungen der Beleuchtungsstärken wurden stets gleichzeitig Messungen auf einer unbeschatteten offenen Fläche gemacht. Für Messungen mit Handluxmetern müssen gleichmäßige Lichtbedingungen gegeben sein, da die relativen Helligkeitswerte, die man an einem bestimmten Meßpunkt im Bestand erhält, sich unterscheiden, je nachdem ob bei klarem oder bei bedecktem Himmel gemessen worden ist (NÄGELI, 1940). Mehrere Autoren halten wegen der starken Unterschiede, die Lichtflecken am Boden verursachen können, nur bedecktes Wetter für geeignet zum Messen (TRAPP, 1938; BRECHTEL, 1962). Demgegenüber wurden zur eindeutigen Charakterisierung der Strahlungsverhältnisse in den Versuchsanlagen für die eigenen Messungen Tage mit wolkenlosem Himmel und solche mit geschlossener Wolkendecke herangezogen.

Tage mit nur geringen Helligkeitsschwankungen während der Mittagszeit finden sich in unseren Breiten allerdings selbst während einer Meßserie von nur etwa 1 Stunde nicht sehr oft; deshalb mußte auch wie z.B. am 19.6.68 eine schwache Bewölkung in Kauf genommen werden, bei der jeweils die Momente mit klarer Strahlung genutzt werden konnten.

Messungen auf der Saum- und Schirmfläche

Als Standort für die zum Vergleich notwendigen Freiflächenmessungen eignete sich die Saumfläche. Um die Mittagszeit liegt sie in vollem Licht. Ein Handluxmeter wurde dort stets möglichst weit vom Bestandesrand plaziert.

Für die Messungen im Bestand wurden die 39 Kreuzungspunkte eines im Abstand von 5 x 5 m über die Schirmfläche gelegten und dauerhaft markierten Rasternetzes verwendet. Die Zellen lagen beim Messen, gemäß dem Vorschlag von NÄGELI (1940) stets waagrecht (Wasserwaage) in 50 cm über dem Erdboden.

Messungen in den Beschattungskästen

Um die Mittagszeit wurden die Lichtverhältnisse in den Mattenhütten am südlichen Rand jeder Parzelle z.T. durch den Seitenschutz aus Rohrgeflecht an der Südseite mit beeinflusst. Im nördlichen Teil hingegen waren sie ausschließlich durch die waagrecht liegende Schattierungseinrichtung bestimmt. Deshalb wurden die Messungen überwiegend im nördlichen Drittel jeder Mattenhütte, etwa 60 cm vom Rand entfernt vorgenommen. Nur diese werden hier wiedergegeben.

Zunächst war, wie schon erwähnt, die Beschattungswirkung des Seitenschutzes, SCHMALTZ und BURSCHEL (1965) folgend, als unwesentlich angesehen worden. Deshalb diente 1968 eine offene Mattenhütte (Besch.Stufe 1) als Bezugsbasis. 1969 wurde dann auf einer völlig unbeschatteten Freifläche (Besch.Stufe 0) zum Vergleich gemessen.

Zur Kennzeichnung der Streuungen zwischen den Wiederholungen jeder Beschattungsstufe wurden Varianzanalysen und Duncan-Tests berechnet (vgl. Kap. 4.2), allerdings ohne Berücksichtigung der Werte von den Besch.Stufen 0 und 1, da mit ihnen auf jeden Fall Signifikanzen zu errechnen gewesen wären und es interessanter schien zu erfahren, ob die einzelnen Beschattungsstufen hinsichtlich ihrer Belichtungsverhältnisse klar voneinander zu trennen sind.

Ergebnisse der Messungen mit Handluxmetern

Die Belichtungsverhältnisse auf der Saum- und Schirmfläche

Die Ergebnisse von 8 Messerien an 6 über die Vegetationszeiten verteilten Tagen und einige statistische Kenndaten sind in Tab.10 dargestellt.

DATUM (date)	UHRZEIT (time)	WETTER- LAGE (weather conditions)	AUSSENHELLIG- KEIT (SAUM) (light intensity outside) KILOLUX	INNENHELLIGKEIT (SCHIRM) (light intensity inside shelter)					
				UNKORR. WERTE (readgs.uncorrected) $\bar{x}$ %		KORRIGIERTE WERTE (readings corrected) ZAHL D. LICHTFLECKEN (number of lightspots)		$\bar{x}$ %	s %
11.5.67	10.45 - 11.30	WOLKENLOS (cloudless)	74 - 77	17,2	± 146	7		7,2	± 36
	13.25 - 14.05		80 - 90	8,4	± 101	4		5,8	± 43
19.6.68	13.15 - 14.00	SCHWACH BEW. (slightly overcast)	68 - 88	14,5	± 126	4		9,2	± 23
23.7.69	11.30 - 12.15	WOLKENLOS (ddl)	78 - 84	13,8	± 142	6		6,0	± 40
20.9.66	12.15 - 13.30	WOLKENLOS (ddl)	55 - 60	10,0	± 177	4		4,8	± 71
	13.30 - 14.15		49 - 55	9,9	± 207	4		4,2	± 54
30.4.69	12.15 - 13.00	DICHT BEWÖLT (overcast)	8,8 - 11,5	19,3	± 17	-		-	-
26.10.68	12.15 - 13.10	DICHT BEWÖLT (overcast)	5,8 - 7,2	23,6	± 17	-		-	-

Tab.10: Ergebnisse der Lichtmessungen mit Handluxmetern auf der Saum- und Schirmfläche (je 39 Einzelmessungen) (s % = Variabilitätskoeffizient)

Results of lightmeasuring with handluxmeters in the borderstrip- and shelterwood area (39 individual measurings each) (s % = coefficient of variance)

An vier Tagen wurde bei wolkenlosem oder nahezu wolkenlosem Wetter gemessen, an zwei Tagen bei gleichmäßiger sehr starker Bewölkung. Folgende Zusammenhänge lassen sich aufzeigen:

- Die Einzelwerte lagen bei wolkenlosem Wetter zwar überwiegend nahe beieinander, stets beeinflusste aber eine Zahl von 4-7 Lichtflecken am Boden, die im Extrem den Wert der Außenhelligkeit erreichten, den Mittelwert erheblich (in der Tabelle: "Innenhelligkeit unkorrigiert"). Das wird besonders deutlich beim Vergleich der zwei Meßserien am 11.5.67. Lediglich durch das Auftreten einer unterschiedlichen Zahl von Lichtflecken weichen die beiden Mittelwerte um mehr als das Doppelte voneinander ab. Die 2 Meßserien am 20.9.66 mit nahezu identischen Mittelwerten hingegen hätten diese Problematik weniger gravierend erscheinen lassen. Die errechneten Variabilitätskoeffizienten lassen jedoch erkennen, wie stark die Streuung der Meßwerte um den Mittelwert durch diese "Ausreißer" belastet wird. Sie weist dadurch eine starke links-schiefe Verteilungsform auf.

- Die Herausnahme der "Lichtflecken-Werte" und statistische Durchleuchtung des dann verbleibenden Zahlenmaterials (in der Tabelle "Innenhelligkeit korrigiert") ergibt, daß diese Werte nun offenbar nahezu normalverteilt sind. Als "Lichtflecken" wurden jene Werte herausgenommen, die draußen bei den Messungen bereits als solche vermerkt worden waren, so daß die Entscheidung über die Herausnahme keine nur willkürliche lediglich anhand der Meßliste war. Die so bereinigten Mittelwerte

liegen sämtlichst erheblich, meist über 50 % unter den unkorrigierten. Die hier gewählte Bezeichnung "Innenhelligkeit korrigiert" entspricht dem von NÄGELI (1940) geprägten Begriff "Grundhelligkeit". Er schlägt vor, die Korrektur der Lichtfleckenwerte durch logarithmische Transformation vorzunehmen. Aber auch dann, so zeigte sich hier, kann der Mittelwert der Grundhelligkeit trotzdem noch erheblich über dem auf die hier geschilderte Weise hergeleiteten "korrigierten" Mittelwert liegen.

- Auch die korrigierten Mittelwerte der Messungen an Strahlungstagen lassen noch nicht erkennen, daß die Innenhelligkeit in einem Bestand mit zunehmender Außenhelligkeit unterproportional steigt. Diese allgemeine Regel wird jedoch erkennbar, wenn man die Werte der beiden angegebenen Tage mit dichter Beöklung und nur geringer Außenhelligkeit heranzieht. An diesen Tagen entfielen außerdem die Schwierigkeiten mit den Lichtflecken. Die Werte streuten nur unwesentlich um die Mittelwerte und dürften gut normalverteilt sein. Dadurch erübrigte sich eine Korrektur.

- Die Meßergebnisse eigneten sich nicht dazu, Lichtverteilungskarten über die Beleuchtungsverhältnisse unter dem Bestand zu zeichnen, wie das zur Analyse des Bodenbewuchses von zahlreichen Autoren (TRAPP, 1938; ELLENBERG, 1939; STEUBING, 1965; RHEINHEIMER, 1959; BRECHTEL, 1962; BURSCHEL, 1966) vorgenommen wurde. Erstens lagen die höheren Meßwerte der Sonnenflecken bei den verschiedenen Messungen immer an anderen Meßplätzen, zweitens hätte das Rasternetz dann wohl sehr viel enger sein und die Messung damit auf eine kleinere Fläche beschränkt werden müssen.

Zusammengefaßt lassen die Ergebnisse den Schluß zu, daß die Beleuchtungsverhältnisse unter dem noch recht gleichmäßig gestellten Altholzschild nicht so homogen wie erwartet waren. Unter Berücksichtigung der hier vorgenommenen Korrekturen der Werte zur Ausschaltung der Wirkung von Lichtflecken variierte die durchschnittliche Innenhelligkeit je nach der Außenhelligkeit zwischen rd. 4 und 24 % der Werte auf der Freifläche. Damit kann aber lediglich ein grober Rahmen gegeben sein. Da nun völlig wolkenfreie und gleichmäßig dicht bewölkte Tage Extreme darstellen, kann angenommen werden, daß die durchschnittliche Streubreite den Bereich von 10 - 20 % umfaßte.

Die Belichtungsverhältnisse in den Beschattungskästen

Die Meßwerte sind in Tab.11 zusammengefaßt. Sie zeigen folgende Zusammenhänge auf:

DATUM (date)	WETTER- LAGE (weather- conditions)	AUSSEN- HELLIGKEIT (light intensi- ty outside) KILOLUX	INNENHELLIGKEIT IN % DER AUSSENHELLIGKEIT (light intensity inside in % of light intensity outside)					
			FREIFL. (open air)	1	2	3	4	5
23.7.69	WOLKENLOS (cloudless)	76-85	100	105,7	35,1	8,2	2,5	0,5
11.9.68		62-67	100	103,3	12,1	6,6	3,5	0,3
9.10.69		52-53	100	100	8,2	5,5	1,8	0,5
21.10.68		32-42	100	101,2	7,2	5,1	2,7	0,4
30.4.69	DICHT BEWÖLKT (overcast)	9,6-11,4	100	-	48,0	30,5	15,2	0,6
26.10.68		5,6-6,5	100	85,7	43,9	37,0	20,3	0,7
STREURAHMEN DER PROZENTUALEN BELICHTUNG (range of relative irradiance)					7,2 - 48,0	5,1 - 37,0	1,8 - 20,3	0,3 - 2,5
DURCHSCHNITT DER SONNIGEN TAGE (mean of sunny days)					16	6	3	0,4

Tab.11: Ergebnisse der Lichtmessungen mit Handluxmetern im Beschattungsversuch in Abhängigkeit vom Meßtermin und dem Bewölkungsverhalten

Results of light measurings with handluxmeters in the shading boxes experiment in relation to date and cloud conditions

- Nach Jahreszeit und Außenhelligkeit variierten die Mittelwerte jeder einzelnen Beschattungsstufe erheblich. Die ausgewählten Meßtage dürften die absoluten Extreme stärkster und geringstmöglicher Strahlung während der Vegetationszeit unter den Bedingungen in dem Versuchsgelände repräsentiert haben. Damit kann der Streurahmen der prozentualen Lichtintensität folgendermaßen angegeben werden:

Es läßt sich nun aber keineswegs abschätzen, ob diese Mittelwerte wenigstens einigermaßen repräsentativ für die durchschnittlichen Belichtungsverhältnisse sind, da die "normale" Einstrahlung nicht ermittelt werden konnte. Dieses Vorgehen ist also nicht geeignet, brauchbare Mittelwerte über das relative Lichtangebot unter den Beschattungsvorrichtungen während der 3 Vegetationszeiten herzuleiten.

- Die statistischen Untersuchungen ergaben stets höchstgesicherte Unterschiede zwischen den Beschattungsstufen 2 - 5, damit also eine klare Abstufung der Beschattungsgrade gegeneinander. Die Meßwerte der jeweils 3 Wiederholungen jeder Beschattungsstufe stimmten demgemäß gut überein.

- Vergleicht man die Lichtintensitäten an den Meßtagen bei Strahlungswetter, so fällt auf, daß die Werte bei den Beschattungsstufen 2 und 3 mit sinkender Außenhelligkeit geringer werden. Das fand RÖHRIG (1967) ebenfalls. Dies Ergebnis widerspricht den dargestellten Beobachtungen, daß nämlich die Innenhelligkeit mit sinkender Außenhelligkeit unterproportional fällt - das gilt jedenfalls für die Verhältnisse in Altbeständen. Eine Erklärung für diesen abweichenden Sachverhalt liegt offenbar in dem mit Fortschreiten der Vegetationszeit schrägerem Lichteinfall. Während die Schattengitter bei den Beschattungsstufen 2 und 3 wegen ihrer fast senkrechten Stellung bei steilem Lichteinfall ungehindert schmale Lichtstreifen durchließen, verringerte sich die direkte Einstrahlung mit niedrigerem Sonnenstand zunehmend. Da zudem bei reinem Strahlungswetter der Anteil diffusen Lichts meist gering ist, scheint sich die Veränderung des Einfallwinkels bei den Photozellen mit der waagerechten Auffangfläche offenbar in einer überproportionalen Veränderung der Innenhelligkeit bei geringerer Außenhelligkeit auszuwirken.

2. Messungen mit Lichtschreibern

Gegenüber den Punktmessungen mit Handluxmetern erlaubt die fortlaufende Registrierung der Ströme aus den Selenzellen mit Hilfe von Fallbügelschreibern eine längerfristige Erfassung der Strahlungsverhältnisse in Versuchsanlagen und eine Analyse der Einstrahlungen zu verschiedenen Tageszeiten. RÖHRIG (1967) wies aufgrund seiner Messungen in den Beschattungskästen im Gahrenberg, die auch BURSCHEL und SCHMALTZ verwendet hatten, besonders darauf hin, daß weniger die Angabe der relativen Lichtintensität als vielmehr die absoluten Lichtintensitäten, die den Pflanzen für bestimmte Zeitspannen zur Verfügung stehen, wichtig sind. Diese Angaben lassen sich nun durch die Auswertung der Schreibstreifen gewinnen.

RÖHRIG, wie auch BURSCHEL und SCHMALTZ arbeiteten ausschließlich mit Schreibern der Fa. LANGE, Berlin. Die bei ihnen ver-

wendeten Schattierungsvorrichtungen stimmten, wie bereits dargestellt, in den Beschattungsstufen 1, 3, 4 und 5 mit den hier verwendeten überein. Abweichend war Beschattungsstufe 2. Neben der Gewinnung von Vergleichsdaten zu den Messungen der genannten Autoren sollten deshalb die Lichtverhältnisse der Beschattungsstufe 2 den anderen zugeordnet werden.

Es wurde davon ausgegangen, daß die von SCHMALTZ vorgenommenen umfangreichen Lichtmessungen nach einer kurzzeitigen Überprüfung übertragen werden könnten. Deshalb wurde lediglich eine kurze Meßperiode in der Zeit von Mitte Juli bis Ende August 1968 angesetzt.

Gerätebeschreibung und Meßmethode

Der verwendete LANGE-Schreiber hatte wie die Handluxmeter Selen-Sperrschicht-Photozellen, und zwar 3 Stück, mit ebenen Auffangflächen. Sie werden allerdings nicht mit Augenanpassungsfiltren geliefert, so daß ihre Spektralempfindlichkeit von der der AEG-Zellen abweicht. Vergleichsmessungen zwischen beiden Gerätetypen zeigten außerdem, daß die bei unterschiedlichen Wetterlagen gemessenen Luxwerte nicht übereinstimmen, also nicht aufeinander bezogen werden können. Wie bei den Handluxmetern stehen für die LANGE-Geräte Filtervorsätze zur Ausdehnung der Meßbereiche bis auf rd. 100.000 Lux zur Verfügung.

Es stand ein Schreiber mit drei Zellen zur Verfügung. Die Zellen wurden genau in der Mitte je einer Mattenhütte etwa 10 cm über dem Boden angebracht. Eine Zelle in Beschattungsstufe 1 (einer offenen Mattenhütte) diente wie bei SCHMALTZ und bei RÖHRIG als Bezugsbasis. Die beiden anderen Zellen wurden abwechselnd in die Beschattungsstufen 2 und 4, sowie 3 und 5 platziert. Vor und nach der Meßperiode liefen Probenmessungen mit allen drei Zellen in den verschiedenen Beschattungsstufen.

Ergebnisse der Messungen mit Lichtschreibern

Die Belichtungsverhältnisse unter dem Fichtenaltholzschirm

Wegen des dafür erforderlichen Zeitaufwandes konnten keine eigenen Messungen mit Lichtschreibern im Fichtenaltbestand durchgeführt werden. Es seien daher nur Zahlen genannt, die SCHMALTZ (1967) im gleichartigen Bestand direkt neben der

"Schirmfläche" 1966 vorgenommen hatte. Er fand als Durchschnitt aller Messungen an den verschiedenen Rasterpunkten (5 x 5 m) über fast die ganze Vegetationszeit 1966 eine mittlere Einstrahlung von 10.5 % der Freiflächenwerte (Vergleichsmessungen über dem Kronendach). Unter den dunkelsten Bestandespartien wurden 6 % gemessen, an den hellsten 17 %. Wegen der gleichartigen Bestandesverhältnisse auf der Schirmfläche können diese Werte zweifellos als Anhalt zur Kennzeichnung des Lichtklimas auf der Schirmfläche herangezogen werden.

Die Belichtungsverhältnisse in den Beschattungskästen

- Das Gerät wies erhebliche Meß-Ungenauigkeiten auf. So zeigten die Zellen bei einer 10 Tage dauernden Vergleichsmessung in Beschattungsstufe 5 Abweichungen untereinander auf, die an den einzelnen Tagen unterschiedlich groß waren. Die Errechnung von konstanten Korrekturfaktoren war damit nicht möglich.
- Die stark unterschiedlichen Lichtintensitäten zwischen den einzelnen Beschattungsstufen erforderten die Verwendung von Erweiterungsvorsätzen. Anders als die exakt reduzierenden Filter der AEG-Handluxmeter wiesen die Opalfilter der Fa. LANGE aber zusätzlich Ungenauigkeiten auf. Entsprechende Korrekturfaktoren lassen sich zwar ermitteln, wenn alle 3 Zellen in einer Beschattungsstufe mit den gleichen Filtern benutzt werden, unmöglich wird ein exakter Vergleich mit Hilfe einer entsprechenden Korrektur jedoch, wenn die Zellen gleichzeitig mit 100-, 10-fachem und ohne Filter eingesetzt werden müssen.
- Die Auswertung der Kurvenbilder bereitet an Tagen mit kontinuierlich verlaufenden Lichtverhältnissen keine Schwierigkeiten, wird bei den erheblich häufigeren mehr oder minder bewölkten Tagen aber oft schwierig und ungenau.
- Aufgrund der genannten Fehlerquellen wurde eine Auswertung der Meßergebnisse zunächst als zwecklos angesehen. Beim Zusammenstellen der Werte ohne jegliche Korrektur ergaben sich jedoch Prozentwerte, die bei den Besch.Stufen 3, 4 und 5 gut mit den von SCHMALTZ (1964) angegebenen übereinstimmen. Sie seien deshalb als gewisser Anhalt über die relativen Lichtintensitäten - allerdings mit erheblichen Vorbehalten - mitgeteilt (Tab.12).

BESCH- STUFE (degree of shading)	RELATIVE BELEUCHTUNGSSTÄRKE (%) (relative irradiance)	
	NACH (accord.to)	SCHMALTZ EIGENE MESSUNGEN (own readings)
1	100	100
2	()	41
3	18	20
4	12	11
5	7	7

Tab.12: Relative Beleuchtungsstärken in den Beschattungs-
kästen nach SCHMALTZ (1964) und eigenen Messungen

Relative irradiance within the shading boxes
according to the measurments by SCHMALTZ (1964),
and by the author

3.22 Messungen der Zirkumglobalstrahlung

Gerätebeschreibung und Meßmethode

Von den Strahlungsmeßgeräten auf kalorischer Basis gilt das Destillationspyrometer nach BELLANI wegen seiner Kugelform als ein für ökologische Fragestellungen geeignetes Gerät (REIF-SNYDER und LULL 1965). Es wurde deshalb für die Messungen im Rahmen der hier dargestellten Versuchsvorhaben herangezogen. Zugleich sprach auch die gegenüber anderen Strahlungsmeßgeräten einfachere Handhabung und Auswertbarkeit der Meßergebnisse für seine Verwendung.

Das BELLANI-Kugelpyranometer mißt zirkumglobal die Strahlung von Sonnenstrahlungsqualität, die als direktes, diffuses oder reflektiertes Licht vom Himmel, der Umgebung oder vom Boden her auf einen Meßpunkt einfällt.

Das Grundprinzip des Instrumentes besteht darin, diese einfallende Strahlung in Wärme umzusetzen, die die Destillation von Alkohol aus der bestrahlten Kugel in ein graduiertes Rohr bewirkt. Durch die Ansammlung des Kondensates im Rohr findet eine zeitliche, der Strahlungsintensität proportionale

Integration der Zirkumglobalstrahlung über den Wellenbereich 300 - 1500nm statt (FLACH, Observ.Davos, schriftl. Mitteilung, 1970). Die Summe dieser Strahlung von z.T. sichtbarem Licht, z.T. Wärme wird in Wärmeeinheiten pro Flächeneinheit der kugelförmigen Empfangsfläche ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{Zeiteinheit}$) gemessen.

Ein wesentlicher Vorteil des Gerätes liegt gegenüber den Photozellen darin, daß es ohne weitere Vorkehrungen stärker wie minimaler Strahlung ausgesetzt werden kann, wobei seine Anzeigewerte der empfangenen Strahlung linear proportional sind. Weiterhin erspart die zeitliche Integration die vielfach etwas mühsame Kurvenauswertung bei schreibenden Strahlungsmeßgeräten. Hierin liegt allerdings auch ein Nachteil, den RÖHRIG (1967) indirekt ansprach, indem er auf die unzureichende Aussagefähigkeit von Strahlungssummenwerten im Hinblick auf deren Bedeutung für die Assimilation hinwies und deshalb eine Aufgliederung aufgeschriebener Meßwerte nach Luxmenge und Zeitdauer vornahm.

Nachteilig für Messungen in niedrigen Pflanzenbeständen ist auch die Tatsache, daß der Strahlungsempfänger wegen des nach unten angesetzten Steigrohres nicht tiefer als 60 cm über Bodenhöhe angebracht werden kann. Daraus resultiert z.B. in den Beschattungskästen, daß die Kugeln bei tiefem Sonnenstand (in Besch.Stufe 1) noch beschienen wurden, während die niedrigeren Fichten bereits im Schatten der seitlichen Rohrgeflechte lagen.

Alle weiteren Einzelheiten der Wartung und Auswertung der Geräte sind detailliert bei VÉZINA (1960), STEUBING (1965), sowie COURVOISIER und WICRZEJEWSKI (1954) beschrieben. Sie wurden entsprechend berücksichtigt. Auf eine weitere Erörterung kann deshalb verzichtet werden.

Aufstellung der Geräte

Im Freiflächenversuch wurde das Vergleichsgerät 1968 auf die Mitte der Saumfläche gestellt. Das zweite verfügbare Gerät wurde, täglich wechselnd, über die auch bei den Handluxmetermessungen verwendeten 39 Kreuzungspunkte des 5 x 5 m Rasternetzes auf der Schirmfläche gesetzt. 1969 stand das Vergleichsgerät auf einer Freifläche. Zwei weitere Geräte wurden mehrmals je für einen Tag - insgesamt an 58 Tagen - neben die je 5 Doppelparzellen auf Saum- und Schirmfläche gestellt.

In den Beschattungskästen stand 1968 das Vergleichsgerät in einer offenen Mattenhütte, das zweite Gerät wechselte durch alle überschatteten Mattenhütten. 1969 diente das völlig frei stehende Gerät als Bezugsbasis. Je Beschattungsstufe wurden rd. 20 Messungen vorgenommen.

Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

SCHMALTZ (1964) hatte darauf hingewiesen, daß die unterproportionale Steigerung der Helligkeit unter Schattierungsvorrichtungen bei zunehmender Außenhelligkeit mathematisch wahrscheinlich als Hyperbel beschrieben werden könne. Die mit den Kugelpyranometern gewonnenen Meßwerte schienen denselben Zusammenhang aufzuzeigen. Deshalb wurde die jeweils beste Anpassungsfunktion für jede Beschattungsstufe und die Schirmfläche berechnet ⁺⁾ .

Die dabei ermittelten Kurven sind - zusammengefaßt aus den 1968 und 1969 gemessenen Strahlungswerten - in Abb.7 wiedergegeben. Da außerdem die Veränderungen der relativen Lichtintensitäten in Abhängigkeit von der Stärke der Außenhelligkeit interessieren, wurden die Prozentwerte für die durchschnittlichen Verhältnisse während der beiden Meßperioden 1968 und 1969 zusätzlich in Abb.7b graphisch dargestellt.

Ergebnisse:

Allgemeine Angaben

- Während der 1968 (vom 19.4. bis zum 2.9.) und 1969 (vom 30.6. bis zum 7.8.), insgesamt an 146 Tagen, durchgeführten Messungen lag die durchschnittliche Tagessumme bei 179 cal/cm^2 . Als Extreme wurden 52 und 307 cal je cm^2 und Tag gemessen. Diese Werte entsprechen recht gut den anderorts gemessenen Werten (vgl. z.B. MÖRIKOFER, 1962).

- Während beider Meßperioden streuten 66 % der Einzelwerte (=Standardabweichung) nur im Bereich von $\pm 34 \%$ um den Mittelwert. In Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen veränderte sich der Variabilitätskoeffizient zwar von Meßperiode zu Meßperiode etwas, stets aber wiesen der freie und der jeweilige beschattete Meßplatz nahezu identische Streuungen der Einzelwerte auf.

⁺⁾ Für die Aufstellung eines Rechenprogramms danke ich Herrn Oberstudienrat HEIDBORN, Göttingen.

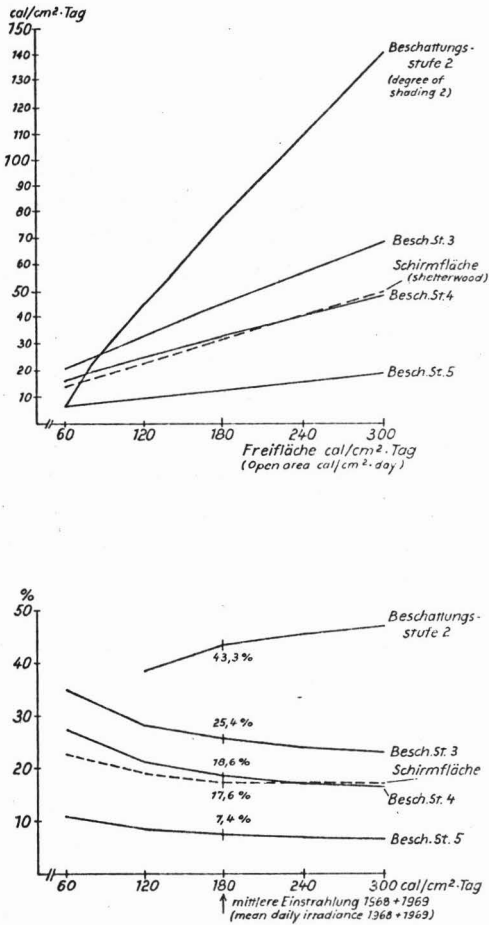


Abb. 7: Ergebnisse der Strahlungsmessungen mit BELLANI-Kugelpyranometer während der Vegetationszeiten 1968 und 1969 (ausgezogene Linien: Beschattungsversuch; gestrichelte Linie: Schirmbestand des Freiflächenversuchs) und Veränderungen der relativen Beleuchtungsstärke in den beschatteten Parzellen mit steigender Außenhelligkeit sowie die Mittelwerte der Gesamtstrahlung in den beiden Vegetationszeiten

Abb.7: Results of measuring of irradiance with BELLANI-pyranometers during the vegetation periods 1968 and 1969 (full lines: shading experiment; dotted line: shelterwood of the open air experiment) and alterations of the relative intensity of irradiance in the shaded plots related to increasing irradiance in the open, including the means of the total irradiance during both vegetation periods

-Insgesamt konnten 10 Funktionen aus dem Vergleich der Meßwerte von beschatteten Parzellen und dem unbeschatteten Vergleichsstandort berechnet werden und zwar:

<u>1968</u>					<u>1969</u>				
Saum	mit	Schirm			Freifläche mit	Schirm			
Besch.St.1		Besch.St.2				Besch.St. 2			
"	1	"	3		"	"	"	3	
"	1	"	4		"	"	"	4	
"	1	"	5		"	"	"	5	

7-mal ließ sich eine Hyperbel errechnen. In den 3 übrigen Fällen ergaben sich Ellipsen oder nicht näher definierbare Kurvenbilder. Bei ihnen reichte also entweder die Zahl der Einzelwerte nicht für eine eindeutige Charakterisierung der physikalischen Zusammenhänge oder die Meßwerte waren nicht repräsentativ über die Skala verteilt (d.h. es herrschte während der Meßperiode zufällig durchgängig gutes oder nur schlechtes Wetter). Die rechnerische Anpassung gilt deshalb nur für einen Teilbereich. Eklatante Unstimmigkeiten traten dabei allerdings nur im Bereich der Außenhelligkeit von etwa 0 bis 60 cal je cm² und Tag auf. Diese Werte aber wurden, wie bereits unter (1) erwähnt, nur an Extremtagen gemessen, und der Fehler ist deshalb bei den mittleren Werten nicht allzu groß.

Fast alle Hyperbeln weisen außerdem nur im Bereich von 0 bis etwa 120 cal/cm²: Tag stärkere Krümmungen auf. Anschließend steigen sie fast linear an (Abb.7). Die Innenhelligkeit, ausgedrückt in Prozent der Außenhelligkeit wächst dann trotzdem weiterhin unterproportional, da eine solche lineare Anpassungsfunktion die Abszisse im negativen Bereich, nicht im Nullpunkt schneiden würde.

Berechnet man außerdem die Funktionen aus den Werten von 1968 und 1969 zusammengefaßt, so ergeben sich gleichfalls, mit Ausnahme der Beschattungsstufe 2, Hyperbeln. Nur diese sind in Abb.7 zur Kennzeichnung der "mittleren Verhältnisse" wiedergegeben.

- Obwohl nicht während der gesamten Versuchsdauer und außerdem nicht auf allen Parzellen gleichzeitig gemessen werden konnte, ermöglichen die Hyperbelberechnungen nun aber die Herleitung von Durchschnittswerten für den ganzen Untersuchungszeitraum. Diese lassen sich durch Berechnung des arithmetischen Mittelwertes der Einstrahlung von allen Tagen der Meßperioden 1968 und 1969 und Entnahme des mittleren Strahlungswertes für jeden einzelnen Meßplatz aus den Kurvenbildern über dem Mittelwert der Außenhelligkeit bestimmen.

Ein solcher Wert, in Prozent ausgedrückt, wurde in Abb.7 für den Mittelwert 179 cal/m^2 Tag eingetragen. Man darf hier allerdings nicht übersehen, daß die Kurvenverläufe etwas anders ausgesehen hätten (das gilt besonders für die Beschattungsstufe 2), wenn zu anderen Zeitabschnitten gemessen worden wäre. Trotzdem scheinen die Abweichungen im Bereich um den Mittelwert herum aber nicht sehr erheblich zu sein. Deshalb ist diese Art der Herleitung eines mittleren Beschattungswertes für die einzelnen Meßplätze zweifellos der relativ beste Kompromiß.

Beschattung auf der Saum- und Schirmfläche

- Die Werte der Messungen von 1968 und 1969 auf der Schirmfläche ergaben zwei nicht wesentlich voneinander abweichende Hyperbeln. Sie schneiden sich zudem noch nahe dem Bereich des Mittelwertes der Außenhelligkeit von 179 cal/cm^2 . Tag, so daß die mittlere Innenhelligkeit während beider Meßperioden als nahezu identisch bezeichnet werden kann.

- Beim 1969 vorgenommenen Vergleich der Belichtungsverhältnisse vom Saum mit denen der Freifläche zeigten nur die Meßplätze unmittelbar am Bestandesrand bis zu maximal 12 % geringere Strahlungssummen. Schon in der Mitte der Saumfläche dagegen ließ sich kein Unterschied mehr feststellen. Der Durchschnittswert von allen Meßplätzen lag deshalb auch nur geringfügig unter dem der Freifläche.

Ergebnisse der Messungen in den Beschattungskästen

- Die Kurvenverläufe der Anpassungsfunktionen für die Meßwerte bei den einzelnen Beschattungsstufen stimmen 1968 und 1969 weniger gut als die des Freiflächenversuchs überein.

Das hat offenbar folgende Gründe:

- Die Witterung unterschied sich z.T. erheblich während der Meßperioden in den einzelnen Beschattungsstufen.
- Das "Lichtklima" war im Sommer 1969 durchweg besser, die mittleren prozentualen Strahlungswerte unter den Schattierungsvorrichtungen deshalb 1969 zwangsläufig verschiedentlich geringer.
- Die Bezugsbasis war nicht ganz gleich. 1968 wurde die unbeschattete Mattenhütte (=Besch.Stufe 1), früheren Versuchsanstellern folgend, als Vergleichsstandort benutzt. Nach den 1969 gewonnenen Meßwerten hatte die als Beschattungsstufe 1 bezeichnete Mattenhütte eine um 1 % geringere Strahlungsmenge aufgewiesen.
- Wiederum zeigte sich, daß die Abweichungen im Bereich der mittleren Einstrahlung von 179 cal/cm^2 . Tag weniger gravierend sind. Die in Abb.7 eingetragenen Prozentwerte für die mittlere Strahlung an den einzelnen Meßplätzen dürften also die tatsächlichen Verhältnisse einigermaßen verlässlich wiedergeben.

3.23 Vergleich der Strahlungsverhältnisse in den Versuchseinheiten und Diskussion der Meßergebnisse

1. Vergleich der mit Photozellen erzielten Ergebnisse

Zahlreiche Versuchsansteller (BLACKMAN und WILSON, 1951; BRECHTEL, 1962; LYR, HOFFMANN und DOHSE, 1963) haben die Erfassung der Lichtintensität in ihren Versuchsanlagen weitgehend oder ausschließlich auf Messungen mit Handluxmetern beschränkt. Der zweifelhafte Wert solcher Punktmessungen als Bezugssystem für die Wachstumsreaktionen der Versuchsobjekte konnte hier nochmals deutlich gemacht werden. Bei kürzerfri-

stiger Versuchsdauer mit rascher reagierenden Pflanzen mag diese Problematik weniger gravierend sein. Bei forstlichen Versuchen eignen sich Handluxmeter aber meist nur für die rasche Überprüfung der Gleichmäßigkeit einer künstlichen oder natürlichen Schattierung. Werden Messungen gleichzeitig in mehreren Versuchsanlagen durchgeführt, so können die Ergebnisse jedoch zum unmittelbaren Vergleich der Belichtungsverhältnisse herangezogen werden.

An insgesamt 5 Tagen war nun gleichzeitig in beiden Versuchsanlagen gemessen worden. Deshalb ist ein solcher Vergleich möglich. Hiernach ordnen sich die korrigierten Meßwerte der Schirmfläche (die "Grundhelligkeiten") - und von diesen muß man wohl ausgehen - in allen Fällen zwischen die der Stufen 3 und 4 der Beschattungskästen. Nach den mit den Lichtschreibern erzielten Meßergebnissen allerdings wären sie wohl mehr den Werten der Beschattungsstufe 4 gleichzusetzen.

2. Vergleich der mit den Kugelpyranometern erzielten Ergebnisse

Nach den absoluten und prozentualen Durchschnittswerten können die Strahlungsverhältnisse auf Saum- und Freifläche (=Besch. Stufe 0) gleichgesetzt werden. Lediglich für den unmittelbaren Bestandesrand stimmt das nicht ganz.

Die Werte der Schirmfläche unterschritten 1968 die der Beschattungsstufe 4 geringfügig, 1969 überschritten sie sie etwas. Im Mittel scheinen sie sich fast zu entsprechen.

3. Vergleich der Lichtmeßergebnisse mit den verschiedenen Geräten

Die dargestellten mit photoelektrischen und kalorischen Strahlungsmeßgeräten gewonnenen Ergebnisse zeigen in einigen Punkten Abweichungen.

- Verglichen mit den "Außenhelligkeiten" lagen die prozentualen "Innenhelligkeiten" der beschatteten Parzellen erheblich

niedriger bei den Messungen auf photoelektrischer gegenüber denen auf kalorischer Basis. Das ist besonders auffällig bei der stärksten Beschattung (Besch.Stufe 5) im Beschattungsversuch: Mit den registrierenden und Handluxmetern wurden Werte um 1 %, mit den Kugelpyranometern zwischen 7 und 9 % ermittelt. Für die anderen Beschattungsstufen und den Schirm der Altfichten gilt das entsprechend, allerdings weniger krass.

Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich darin zu sehen, daß die prozentuale Durchlässigkeit der Kronen für die langwellige Strahlung größer ist als für die kurzwellige, ebenso wie auch die diffuse besser als die direkte Sonnenstrahlung in das Bestandesinnere eindringen kann (KAUTTU, 1952; LÜTZKE, 1966). Dasselbe gilt offenbar auch für die Beschattungsvorrichtungen.

- Eine eindeutige Zuordnung der Meßergebnisse von der Schirmfläche zu denen in den Beschattungskästen ist leider nicht möglich. Nach den Messungen mit den Handluxmetern standen sie nämlich denen der Beschattungsstufe 3 näher, bei den Kugelpyranometern und den Lichtschreibern entsprachen sie mehr denen der Beschattungsstufe 4. Dabei muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß die Interpretation der mit den Handluxmetern erzielten Meßwerte wegen der bei Strahlungswetter auftretenden Sonnenflecken stets problematisch bleibt.

Diese Sonnenflecken wirkten sich bei den mit den Pyranometern ermittelten Tagesstrahlungssummen überhaupt nicht mehr aus. Vielmehr deuteten die ermittelten Variabilitätskoeffizienten von ± 31 % auf eine große Einheitlichkeit der Belichtungsverhältnisse unter den Altfichten hin. Nach LYR, POLSTER und FIEDLER (1967) sind die Lichtflecken pflanzenphysiologisch ohnehin unwirksam, da die Nettoassimilationskurve sehr kurzen Lichtschwankungen nicht folgt. Demgegenüber äußert allerdings EVANS (1966), daß es bisher noch nicht möglich war, deutlich zu machen, welche Bedeutung diese kurzen Momente relativ hoher Strahlungsintensität für das Fortkommen verschiedener stark überschirmter Pflanzen haben.

- Aus den schon angedeuteten Gründen und der sehr viel längerfristigen Erhebung von Meßwerten mit den Kugelpyranometern geben diese für die grundsätzliche Beurteilung der Strahlungsverhältnisse in den Versuchsanlagen wahrscheinlich die brauchbarste Grundlage ab.

Trotzdem bleibt die Frage offen, ob die Lichtqualität unter den Schattengittern dem unter dem Altholzschirm entsprach, ob also gleiche Strahlungsmengen hier wie dort denselben assimilatorischen Effekt hatten.

LYR, HOFFMANN und DOHSE, (1963) unterstellen, daß bei ihrer Beschattungsvorrichtung aus Netzen und Schattenleinen keine Verschiebung der spektralen Zusammensetzung des Lichts eintrat, wie es im natürlichen Bestand durch das Grünfilter des Blätterdaches der Fall ist. Sie meinen daher, daß gleiche "Helligkeit" im Bestandesschatten daher photosynthetisch weniger wirksam sei.

Nun weicht die spektrale Zusammensetzung des Lichtes im Nadelwald weniger von der im Freien ab als im Laubwald (COOMBE, 1957; TRANQUILLINI, 1960). EVANS (1969) fand außerdem eine gute Übereinstimmung bei der Trockengewichtszuwachsrates (unit leaf rate) von im Bestandesschatten und unter Schattierungsvorrichtungen aufgewachsenen *Impatiens parviflora*, die darauf hindeutete, daß eine gegebene tägliche Strahlungsmenge denselben Effekt auf das Pflanzenwachstum hat.

Wenn nun auch dieser Fragestellung hier mangels entsprechender Meßunterlagen nicht weiter nachgegangen werden kann, so scheinen die Wuchsbedingungen für die jungen Fichten im Bestandesschatten und unter den neutralen Schattengittern hinsichtlich der Strahlungsqualitäten nicht soweit voneinander abzuweichen, daß ein Vergleich der Stoffproduktion von vornherein durch diese Unterschiede stark belastet wird.

3.3 Die Feuchtigkeitsverhältnisse in den Versuchsanlagen

Es ist hinreichend bekannt und nachgewiesen, daß überschirmende Bestände und auch Schattierungsvorrichtungen die Feuchtigkeitsverhältnisse für die unter ihnen wachsenden Jungpflanzen wesentlich gegenüber denen auf einer Freifläche beeinflussen können.

Mit einigen eigenen Messungen in den Vegetationsperioden 1968 und 1969 sollte daher eine Vergleichsbasis für die Verhältnisse in den beiden Versuchsanlagen hergeleitet werden.

3.31 Messungen der Niederschläge

1. Die Niederschläge auf der Saum- und der Schirmfläche

1969 wurden zum Vergleich mit den Beschattungskästen die Niederschlagsverhältnisse innerhalb der Vegetationszeit auf dem Saum- und auf der Schirmfläche ermittelt.

Zu diesem Zweck wurden neben jede Parzelle zwei Enghalskolben mit einem aufgesteckten Plastiktrichter (49 cm² Auffangfläche) gestellt, auf der Saum- und der Schirmfläche insgesamt je 20 Stck. Als Bezugsbasis dienten Messungen mit HELLMANN-Regenmessern auf der Freifläche.

Nach den in Tab.13 zusammengestellten Werten wurden die Niederschläge auf der Saumfläche nur geringfügig, auf der Schirmfläche jedoch um rd. 1/3 reduziert.

FLÄCHE (area)	MESSPERIODE (period of measurements)			
	JULI-SEPT. 1969 $\bar{x}$ min. max.			JULI-SEPT. 1965
FREIFLÄCHE (open area)	205 mm	-	-	?
SAUM (borderstrip)	94 %	85 %	102 %	88 %
SCHIRM (shelterwood)	69 %	64 %	75 %	65 %

Tab.13: Herabsetzung der Niederschläge beim Freiflächenversuch
(Juli-Sept.1969 nach eigenen Messungen; Juli-Sept.1965 nach HEISEKE, 1969)

Reduction of precipitation in the open air experiment
(July-Sept.1969 according to own readings; July-Sept. 1965 to HEISEKE, 1969)

Diese Werte beziehen sich allerdings nur unmittelbar auf die Parzellen der Versuchsanlage und müssen nicht unbedingt repräsentativ für die Gesamtflächen sein, da z.B. nicht der, aller-

dings bei der Fichte ohnehin nur unwesentliche Stammabfluß gemessen wurde.

Die eigenen Meßergebnisse stimmen weitgehend mit denen von HEISEKE überein, die er auf seinen Versuchsflächen direkt angrenzend im Fichtenaltbestand und auf dem Saum 1965 ermittelt hatte. Man kann deshalb annehmen, daß sie die tatsächlichen Verhältnisse gut wiedergeben.

Gegenüber den Erfahrungen früherer Autoren ließ sich die Streuung den prozentualen Niederschlagswerte nicht immer eindeutig aus der Stärke der jeweiligen Regenfälle erklären. Es fiel lediglich auf, daß die Streuung der Meßwerte auf dem Saum etwas größer als unter dem Bestandesschirm war.

2. Niederschläge in den Beschattungskästen

SCHMALTZ und BURSCHEL hatten von Juni bis August 1962 in allen Beschattungsstufen ihrer Anlage rechteckige Regenmesser mit 10 x 30 cm Auffangfläche quer zu den Jalousienblättern, aber nicht unter die Holzplatten der Gitter reichend aufgestellt. Sie fanden, daß sich die auf den Boden gelangenden Niederschlagsmengen mit stärker werdender Beschattung verringerten (Tab.14). Die Interzeption war aber abhängig von der Art der Niederschläge. Schwache Regen wurden mehr als starke abgefangen. Bei Gewittergüssen konnten große Tropfen von den Jalousien abspritzen und die Meßwerte etwas belasten.

Die von SCHMALTZ und BURSCHEL für ihre Versuchsanlage angegebenen Niederschlagswerte wurden zunächst als brauchbarer Vergleichsmaßstab angesehen. Trotzdem erschien es notwendig, die Niederschlagsverhältnisse unter den Witzenhäuser Bedingungen zu überprüfen.

Meßmethode: Mangels geeigneter anderer Auffanggefäße in genügender Zahl wurden im Sommer 1968 in den Beschattungskästen ebenfalls Enghals- oder Kochkolben mit aufgesteckten Plastiktrichtern von 49 cm² Auffangfläche benutzt. Je Mattenhütte wurden 6 Gefäße, (insgesamt also 90 Stck) in zufälliger Verteilung aufgestellt - unter Herleitung der Ordinaten für jedes Meßglas mit Hilfe von Zufallszahlen.

1969 (Juli - Sept.) wurde die Aufstellung der Gläser wegen der Neuanlage von je zwei Kleinstparzellen innerhalb der Mattenhütten abgeändert. An der Mitte vom Nord- und Südrand jeder Kleinstparzelle (vgl. Abb.3) stand diesmal je ein Meßgefäß, damit 4 je Mattenhütte und 60 Stück insgesamt.

BESCHATTUNGS- STUFEN (degree of shading)	JUNI - SEPT. 1968		JULI - SEPT. 1969		JUNI JULI AUG. 1962
	GESAMT (total)	AMPLITUDE	GESAMT (total)	AMPLITUDE	
FREIFLÄCHE (open space)	351mm	51 - 102mm	145mm	- -	
0	100 %	- -	100 %	- -	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{?}{100\%} \frac{162mm}{100\%} \frac{40mm}{100\%} \\ (91)\% (89)\%(93)\% \end{array} \right.$
1	83 %	80 - 87 %	107 %	99 - 113 %	
2	95 %	79 - 106 %	83 %	63 - 96 %	
3	44 %	39 - 48 %	60 %	34 - 82 %	
4	117 %	97 - 153 %	26 %	6 - 54 %	
5	34 %	24 - 45 %	6 %	2 - 12 %	72 % 68 % 58 % 42 % 29 % 27 % 29 % 20 % 14 %

Tab.14: Die Niederschlagsmengen in den Monaten Juni-Sept.1968 und Juli-Sept.1969 und ihre Beeinflussung durch die Schattierungsvorrichtungen. Zum Vergleich die Meßergebnisse vom Beschattungsversuch Gahrenberg 1962 (nach BURSCHEL und SCHMALTZ, 1964)

Influence of the shading-lattices to the precipitation rate in June-Sept.1968 and July 1969. For comparison the results of the shading experiment in Gahrenberg forest district 1962 (from BURSCHEL and SCHMALTZ, 1964) are given.

Ergebnisse:

- Die Konstruktion der Schattengitter aus Holzrahmen mit den an diesen befestigten Jalousieblättern verursachte eine ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge innerhalb der Mattenhütten. Bei den senkrecht gestellten Jalousieblättern fielen die Regentropfen entweder ungehindert durch, oder aber sie tropften ungefähr an der Stelle ihres Auftreffens auf ein Jalousieblatt wieder ab. Bei den schräg gestellten Blättern jedoch lief ein Teil des Regenwassers bis zur nächsten Leiste des Holzrahmens, sammelte sich dort und tropfte von diesen Leisten ab. Durch die zufällige Verteilung gerieten einige

Meßgläser unter solche Tropfstellen und wiesen gegenüber den anderen Gefäßen erheblich höhere Werte auf.

Es konnte vorkommen, daß ein unter einer solchen Tropfstelle stehendes Meßglas im Extrem die hundertfache Regenmenge gegenüber dem Durchschnitt aller lediglich unter die Jalousieblätter platzierten Gläser aufnahm. Solche "Ausreißer" ließen sich natürlich nicht im Rahmen von 18 Gläsern je Beschattungsstufe ausgleichen und zogen daher die Mittelwerte der beiden stärksten Beschattungsgrade entsprechend nach oben (Tab.14). Die angegebenen Mittelwerte lassen somit keinerlei Rückschlüsse über die tatsächliche Interzeption durch die Schattenvorrichtungen zu. Vielmehr muß es als sehr zweifelhaft erscheinen, daß die Gesamtniederschläge tatsächlich so stark vermindert wurden, wie es nach den in von BURSCHEL und SCHMALTZ (1967) angegebenen Werten den Eindruck hatte (vgl. Tab.14).

- Ähnlicher den Meßergebnissen von BURSCHEL und SCHMALTZ sind die 1969 gewonnenen Daten mit den Meßgläsern, die nur unter die Jalousieblätter, nicht aber unter die Holzleisten gestellt worden waren. Auf die Kleinstparzellen gelangten, da auch sie nicht unter dem Trauf der Holzleisten lagen, nicht mehr Niederschläge als sie die Tab.14 ausweist.

Die Beschattungsstufe 2 war bei BURSCHEL und SCHMALTZ mit Fischnetzen versehen, scheidet deshalb als Vergleichsmaßstab aus.

3.32 Verdunstungsmessungen

Für Evaporationsmessungen wird als Standardgerät das Evaporimeter nach Piche verwendet. Die damit gewonnenen Werte sind ein Maß für den sog. Verdunstungsanstoß. Dieser wiederum hängt ab von den Faktoren Strahlung, Luftfeuchtigkeit und Wind.

Gleich hohe Meßwerte können deshalb durch ein sehr unterschiedliches Zusammenwirken dieser Einzelkomponenten zustandekommen. Die Aussagekraft solcher Messungen ist somit stark einge-

schränkt. Ihr Wert verbessert sich jedoch, wenn Daten, die unter denselben Bedingungen gewonnen wurden, miteinander verglichen werden, um lediglich Relationen innerhalb eines Versuchsprojektes aufzuzeigen. Deshalb schien die Verwendung der Evaporimeter hier durchaus zweckmäßig.

Meß-Methode:

In der Zeit vom 23.7. bis zum 7.8.1969 wurden in der Beschattungsanlage jeweils neben die ungedüngten und gedüngten Kästen aller 6 Beschattungsstufen des 1. Blocks Piche-Evaporimeter so angebracht, daß die Verdunstungsflächen (aus einer grünen Filtrierpapierscheibe) etwa 10 cm hoch über dem Erdboden (das entsprach dem oberen Nadelbereich der Pflanzen) zu hängen kamen.

Desgleichen wurden auf der Saum- und der Schirmfläche neben den Pflanzenkästen jeweils bei den Wiederholungen 1-4 je 2 Evaporimeter aufgehängt.

Die je zwei Evaporimeter an jedem Meßplatz stimmten so gut miteinander überein, daß die Meßwerte als sehr verlässlich angesehen werden können. Für die Darstellung der Ergebnisse wurden sie gemittelt.

Die Evaporimeter wurden täglich abends abgelesen. Entsprechend der Verdunstung auf der unbeschatteten Kontrollparzelle (Stufe 0) mußten sie alle 5 Tage neu mit Wasser gefüllt werden.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der 15-tägigen Messungen sind in absoluten sowie relativen Werten in Abb.8 zusammengestellt.

Für die Beschattungskästen lassen sich folgende Zusammenhänge aufzeigen:

- Die Meßwerte der Beschattungsstufen zeigten einen sehr gleichmäßigen Trend und stimmten, auch wenn man die Extremtage mit besonders hoher oder geringer Verdunstung heranzieht, gut überein.
- Die stärkste Verminderung der Evaporation verursachte der Seitenschirm. Durch die senkrechten Rohrmatten allein wurde die Verdunstung um rd. 40 % herabgesetzt.
- Die Schattierungsvorrichtungen verringerten die Verdunstung

nochmals erheblich um 20-30 % . Zwischen den einzelnen Schattierungsgittern ergaben sich nur noch geringe Unterschiede von maximal 13 % . Insgesamt kommt den Schattengittern folglich hinsichtlich der Verdunstungsherabsetzung eine geringere Bedeutung als dem Seitenschutz durch das Rohrgeflecht zu.

Daraus läßt sich folgern, daß die Herabsetzung der Windbewegung in den Mattenhütten die Verdunstung entscheidend verringert hat.

Für die Messungen im Freigelände gelten demgegenüber folgende Feststellungen:

- Auf der Schirmfläche wiesen die Evaporimeter nicht so einheitliche Werte auf. Die in Abb.8 wiedergegebene mittlere Evaporation der Schirmfläche ist also mit einem höheren Standardfehler belastet.
- Die auf der Saumfläche ermittelte Verdunstung pendelte weitgehend um die Freiflächen-Vergleichswerte. Die Werte der Schirmfläche lagen teils über, teils unter denen der unbeschatteten Parzelle mit Seitenschutz (Besch.Stufe 1), im Mittel etwas über diesen (Abb.8). Die Überschirmung durch das Altholz hatte also hinsichtlich der Verdunstung während des Meßzeitraumes eine etwa ebenso große Wirkung wie der Seitenschutz in den Beschattungskästen gehabt. Die Verringerung der Verdunstungsrate durch den Fichtenbestand war also weit schwächer als die Belichtung, vergleicht man mit den entsprechenden Lichtwerten in den Beschattungskästen.

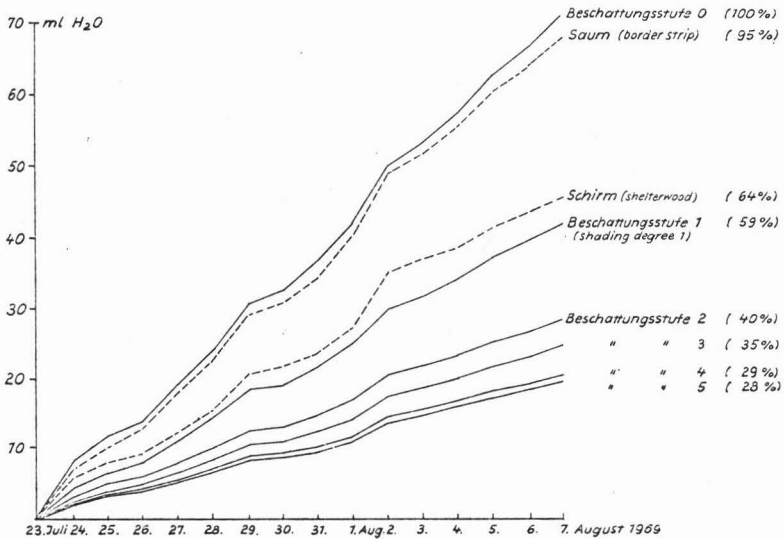


Abb.8: Ergebnisse der Verdunstungsmessungen mit PICHE-Eva-
porimetern in den beiden Versuchsanlagen

Results of measurements evaporation with PICHE-eva-
porimeters in both experimental areas

3.33 Messungen der Luftfeuchtigkeit

Für umfangreichere Messungen der Luftfeuchtigkeiten in den Parzellen des Beschattungs- und des Freiflächenversuchs fehlten die Voraussetzungen (kein Stromanschluß vorhanden). Um immerhin eine Vorstellung von den diesbezüglichen Verhältnissen auf den Versuchsflächen zu bekommen, wurde an mehreren Tagen mit Hilfe zahlreicher Haarhygrometer der Tagesgang der Luftfeuchtigkeit festgestellt (20-30 cm Höhe über dem Erdboden).

Als Beispiel dafür wurde der 5.8.1969 mit starkem Strahlungswetter herausgegriffen und in Abb.9 dargestellt (vgl. dazu auch Abb.11).

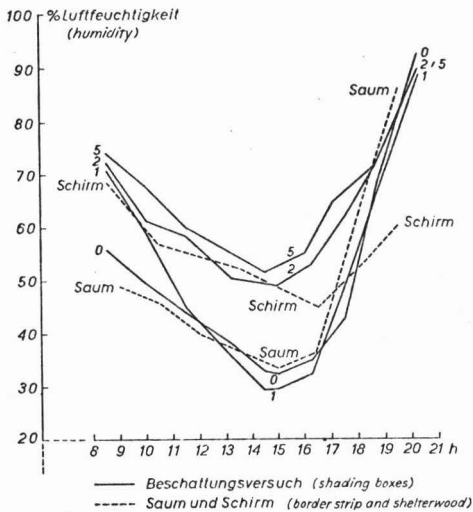


Abb.9: Tagesgang der Luftfeuchtigkeit über den Parzellen des Freiflächenversuchs und der Beschattungskästen an einem Strahlungstag

Variation of humidity during a cloudless day in the open area experiment and in the shading boxes

Insgesamt zeigten sich folgende Zusammenhänge:

- Nur an sonnigen, warmen Tagen konnten deutliche Unterschiede innerhalb der Versuchsanlagen festgestellt werden, bei bedecktem Wetter, insbesondere nach Regenfällen hingegen nicht.
- Bei sonnigem und warmem Wetter hoben sich in den Beschattungskästen die Werte der völlig offenen und der Parzellen mit Seitenschutz (Beschattungsstufen 0 und 1) mit deutlich niedrigeren Werten von denen aller anderen Parzellen mit Bedeckung durch Schattengitter ab (Beschattungsstufe 2-5). Aber auch bei den letztgenannten stieg die Luftfeuchtigkeit noch geringfügig mit zunehmender Beschattung an. In den Abendstunden allerdings erreichten die Feuchtigkeiten in allen Parzellen stets wieder Werte zwischen 85 und 100 % und unterschieden sich dann praktisch nicht mehr. Zwischen den Daten der Messungen in den Wiederholungen der Beschattungsstufen ergaben

sich nur äußerst geringe Abweichungen, die schon fast im Rahmen der Ablesefehler lagen.

- Weniger gut stimmten die Meßergebnisse von den verschiedenen Meßplätzen auf der Saum- bzw. der Schirmfläche der Freiflächenversuchsanlage miteinander überein. Die in Abb.11 eingezeichneten Mittelwerte des Tagesganges der Luftfeuchtigkeit auf der Saum- und der Schirmfläche sind daher weniger eindeutig und repräsentativ für die Gesamtsituation als die in den Beschattungskästen gemessenen.

Trotzdem wird erkennbar, und das gilt gleichfalls für die anderen Meßtage, daß bei sonnigem Wetter die Luftfeuchtigkeit über der Saumfläche etwa der in den offenen Beschattungsstufen (0 und 1) entsprach, die Werte der Schirmfläche aber wesentlich höher lagen und weitgehend denen der abgedeckten Beschattungsvarianten glichen.

Es fiel auf, daß in den Abendstunden die Abkühlung unter dem Schirm der Altfichten langsamer vor sich ging als in den im freien Gelände aufgebauten Mattenhütten und daß sich deshalb auf der Schirmfläche abends höhere Luftfeuchten sehr viel langsamer einstellten. Selbstverständlich gilt auch dies wiederum nur für Tage mit warmem, sonnigem Wetter.

3.34 Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit

Für die Aufzeichnung der Bodenfeuchtigkeit in den Versuchsanlagen konnten 1968 Tensiometer in den Beschattungskästen, 1969 auch in den Parzellen der Saum- und Schirmflächen aufgestellt werden. +)

+) Ich danke Herrn Dr. BENECKE vom Institut für Bodenkunde und Waldernährung für mancherlei Ratschläge bei der Bodenfeuchtmessung.

Meß-Methode:

Für die vorliegende Arbeit wurden Tensiometer im Institut für Bodenkunde gemäß einem Muster von RICHARD gebaut. Durch einen porösen Kontaktkörper (Keramikkzelle) wird in diesen die Saugspannung des Bodens auf die Wasserfüllung eines Kunststoffrohres übertragen und durch den Hg-Manometer angezeigt. Eine detaillierte Beschreibung von Bauweise und Funktion dieser Tensiometer findet sich bei KÜHNEL (1969), die abgesehen von unwesentlichen Änderungen sinngemäß auch hier gilt und auf die deshalb verwiesen werden kann. Die Höhe der Beschattungsjalousien über dem Erdboden von 80 cm erforderte den Bau von gegenüber der üblichen Konstruktion stark verkürzten Tensiometern.

Die Tensiometer wurden entsprechend der Wurzeltiefe der jungen Fichten 1968 in 20 cm tiefe Löcher gesetzt, erfaßten also bei einer Länge der Keramikzellen von 5 cm den Bereich 15-20 cm Bodentiefe, 1969 wurden sie wegen der neugepflanzten kleineren Pflanzen nur 15 cm tief gesetzt und gaben damit Aufschluß über die Saugspannung in 10-15 cm Bodentiefe.

1968 wurden in jeden Beschattungskasten zwei Tensiometer gestellt, insgesamt also 30 Stück, 1969 je Parzelle nur eines, der Rest auf die Saum- und Schirmfläche nach Zufall in die gedüngten oder ungedüngten Kästen. Für die Herleitung der Mittelwerte standen dementsprechend jeweils 3-6 Einzelwerte zur Verfügung. Von einer statistischen Berechnung der Werte wurde abgesehen. Die Mittelwerte zeigten nämlich einerseits genügend klare Trends auf, andererseits fielen verschiedentlich einzelne Tensiometer kurzzeitig aus, so daß an den jeweiligen Aufnahmeterminen die fehlenden Einzelwerte hätten berechnet werden müssen. Die daraus folgende Einschränkung der Aussagefähigkeit der statistischen Tests legte es nahe, den erhöhten Rechenaufwand deshalb zu unterlassen.

Ergebnisse:

- Die feuchte Witterung des Jahres 1968 ließ in keinem Falle die Saugspannungen über maximal 220 Torr auf den unbedeckten Parzellen (Besch.Stufe 1) ansteigen. Dabei erreichten die bedeckten Parzellen Werte zwischen 70 und 120 Torr. Die beschatteten Kästen differenzierten sich allerdings untereinander nicht.

- Nur bei der Beschattungsstufe 1 hatte die Düngung 1968 einen Effekt auf die Saugspannung gehabt. Offenbar hatten in einer kurzen Trockenperiode die stärkeren Pflanzen auf den gedüngten Halbpargellen mehr Wasser verbraucht als die auf den ungedüng-

ten, so daß die Saugspannung dort stieg. Die Streuungen der Meßwerte allerdings aufgrund der Anfälligkeit der Tensiometer schränkten diese Aussage etwas ein.

Etwas eindrucksvollere Zahlen konnten 1969 in der Zeit vom 8. bis 30.7. während einer trockeneren Periode gewonnen werden. Leider standen erst ab 25.7. für alle Parzellen Tensiometer zur Verfügung. Die Mittelwerte aus jeweils 3 Einzelmessungen (je Beschattungsstufe) und je 5 auf der Saum- und Schirmfläche sind in Abb.10 wiedergegeben.

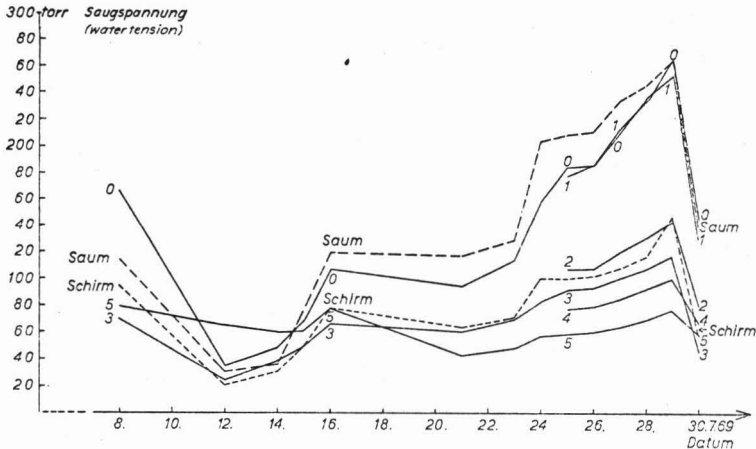


Abb.10: Einfluß der Beschattung auf die Bodenfeuchtigkeit in der Zeit vom 8.-30.7.67 nach Messung mit Tensiometern (durchgezogene Linien: Beschattungskästen, gestrichelte Linien: Freiflächenversuch)

Influence of shading and sheltering on the moisture of soil during the period of 8th to 30th July 1969, according to the readings by tensiometers (full lines: shading experiment; dotted lines: open air experiment)

Sie zeigen folgende Zusammenhänge auf:

- In der Zeit vom 21. bis 30.7. ergab sich eine deutliche Verringerung des Bodenwassers in den "unbeschatteten" Parzellen der Beschattungsanlage (Stufe 0 und 1) und der Saumfläche.

Der Seitenschutz durch Rohrgeflecht hat dabei offenbar keinen verdunstungshemmenden Einfluß gehabt. Der zeitweilig bestehende Unterschied in der Bodenfeuchtigkeit auf der Saumfläche und den unbedeckten Stufen des Beschattungsversuchs könnte durch das unterschiedliche Wasserreservoir der tieferen Bodenschichten bedingt sein.

- Trotz einer klaren Differenzierung der Beschattungsstufen 2-5 untereinander in der zu erwartenden Reihenfolge kann man sie als Gruppe den unbeschatteten Stufen gegenüberstellen. Die Feuchtigkeitsbedingungen der Böden auf der Schirmfläche scheinen dabei denen der Beschattungsstufen mit weniger weit geschlossenen Jalousien zu entsprechen.

- Bei kürzeren Trockenperioden mit wenig ergiebigen Regenfällen differenzierten sich die Feuchtigkeitsverhältnisse unter den verschiedenen Beschattungsbedingungen vielfach weniger eindeutig. Das läßt sich an den dargestellten Werten in der Zeit vom 8. - 12.7. aufzeigen. Nach einem schwachen Regenfall sank die Saugspannung auf fast allen Parzellen ab. Die geschlossenen Jalousien der Beschattungsstufe 5 jedoch verhinderten aufgrund ihrer starken Interzeption eine ebenso kräftige Durchfeuchtung des Bodens. Deshalb wiesen die stark beschatteten Parzellen scheinbar widersinnig kurzzeitig die höchste Saugspannung auf.

3.35 Diskussion der Feuchtigkeitsmeßergebnisse

Verschiedentlich konnten Abweichungen in der Wasserversorgung auf den Versuchsparzellen als Folge der natürlichen und der künstlichen Überschirmung festgestellt werden. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß während der 5 Vegetationszeiten, in denen die verschiedenen Teilversuche liefen, niemals längerdauernde Trockenperioden auftraten und daß die Jungpflanzen deshalb wohl zu keiner Zeit unter Wassermangel litten. Es muß daher bezweifelt werden, daß die nur kurzzeitig nachweisbaren Unterschiede in der Bodenfeuchtigkeit bei den Beschattungsstufen und im Freigelände das Wachstum der Fichten

wesentlich beeinflußt haben. Ebenso dürften die Ungleichmäßigkeiten der Regenverteilung in den Beschattungskästen (vgl. Tab.14) nicht allzu gravierend gewesen sein, weil man sicher davon ausgehen kann, daß innerhalb der Parzellen ein Feuchtigkeit ausgleich im Boden stattfand, denn die Abstände zwischen den Tropfrinnen unter den Holzleisten der Schattengitter betrugen ja nur 80 cm. Außerdem war die Interzeption zweifellos sehr viel geringer, als es die in Tab.14 zusammengestellten Meßwerte auszuweisen schienen. Die genaue Größenordnung kann allerdings aus den bereits genannten Gründen nicht angegeben werden, so daß auch der Vergleich zwischen den beiden Versuchsanlagen hier entfallen muß. Sowohl die Evaporations-, wie die Luftfeuchtheitsmessungen lassen nun aber größere und wahrscheinlich pflanzenphysiologisch bedeutsamere Unterschiede für die Verhältnisse innerhalb der Versuchsanlage wie auch zwischen diesen erkennen. Zwar wirkte die Beschattung grundsätzlich verdunstungshemmend, bzw. wurde die Luftfeuchtigkeit weniger reduziert, auf der Schirmfläche trat dieser Effekt aber augenscheinlich als Folge der dort herrschenden stärkeren Windbewegung weniger deutlich zutage. Die starke windhemmende Wirkung der Rohrgeflechte, wie sie auch NÄGELI (1953) festgestellt hatte, konnte indirekt bestätigt werden, ebenso die verdunstungsmindernde Wirkung der Schattengitter, wie sie HEINRICH (1950) in Versuchen über die Evaporation in Gefäßen ermittelte, die mit unterschiedlich weitleumigen Drahtgittern abgedeckt worden waren.

NEUWIRTH (1965) weist darauf hin, daß die assimilatorische Ausnutzung von Schwachlicht insbesondere durch Senkung der Verdunstung gesteigert wird. Hieraus kann deshalb gefolgert werden, daß die Jungfichten bei vergleichbarer Beschattung also hinsichtlich der Feuchtigkeitsverhältnisse unter den künstlichen Beschattungsvorrichtungen günstigere Wuchsbedingungen als unter dem Schirm der Altfichten gehabt haben.

3.4 Die Luft- und Bodentemperaturen in den Versuchsanlagen

Über den Gang der Temperatur in ihren Beschattungsanlagen haben GAST (1937), BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) sowie RÖHRIG (1967) einige Ausführungen gemacht. BURSCHEL und SCHMALTZ konnten die Erwartung erhärten, daß durch die Beschattungsvorrichtungen die Höchsttemperaturen gesenkt und die Tiefsttemperaturen angehoben werden würden. Die Stärke dieser Zu- bzw. Abnahme richtete sich dabei nach der Wetterlage: Bei starker Sonneneinstrahlung wurden die Tagesmaxima unter den Jalousien erheblich, bei bedecktem Himmel nur unwesentlich reduziert. Sie meinen jedoch, daß nach den Untersuchungen von BOYSEN-JENSEN, PISEK und WINKLER die Veränderungen in einem Bereich lagen, in dem kein wesentlicher Einfluß auf die Stoffproduktion der von ihnen verwendeten Jungbuchen zu erwarten gewesen sei.

RÖHRIG fand keine auffälligen Unterschiede bei dem Versuch, die Lufttemperatur in den Beschattungspartellen an charakteristischen Tagen zu differenzieren. Bei Tagen mit niedriger Lufttemperatur betrugen die Schwankungen nur einzelne Dezi-grade, die sich nicht absichern ließen; bei relativ hohen Temperaturen hingegen kam es zu einer sehr großen Streuung der Werte bei Messung mit einem Aspirationspsychrometer. Seiner Meinung nach lassen sich daher exakte Aussagen wohl nur mit Hilfe einer registrierenden elektrischen Temperaturmessung machen. Außerdem seien nach seinen eigenen und den Ergebnissen von BURSCHEL und SCHMALTZ allenfalls an klaren Tagen für nur einige Stunden Unterschiede durch die Beschattungsvorrichtungen zu erwarten, die aber kaum Werte von 5°C erreichen würden.

Trotz dieser hierin zum Ausdruck kommenden Problematik solcher Messungen ohne Zuhilfenahme von Temperaturschreibern wurden in der Zeit von Anfang Juli bis Anfang August 1969 regelmäßig Messungen der Luft- und Bodentemperaturen durchgeführt. Dabei stand die Absicht, die auf der Saum- und Schirmfläche gewonnenen Daten mit denen der Beschattungsanlage zu vergleichen, im Vordergrund.

Methode:

In je einer Beschattungsparzelle und neben die je 5 Doppelparzellen auf der Saum- und Schirmfläche wurden 5 cm über dem Erdboden je ein Maximum- und ein Minimumthermometer ausgelegt und mit einem Sonnenschutz versehen. In unmittelbarer Nähe zu diesen wurde je ein Bodenthermometer etwa in den Hauptwurzelbereich (10 cm tief) eingesetzt.

An einigen Tagen wurden durch ungefähr stündliches Ablesen die Tagesgänge bei den Luft- und Bodentemperaturen festgehalten. Als Beispiel für einen Tag mit deutlichen Unterschieden wurden die Ergebnisse der Messungen vom 5.8.1969 in Abb.11 dargestellt.

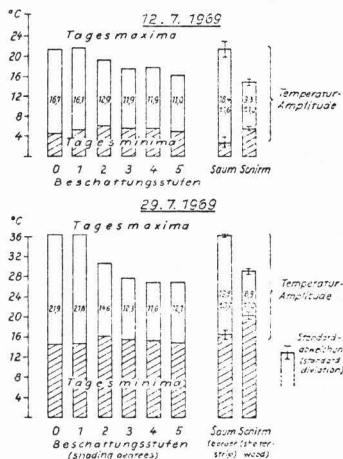
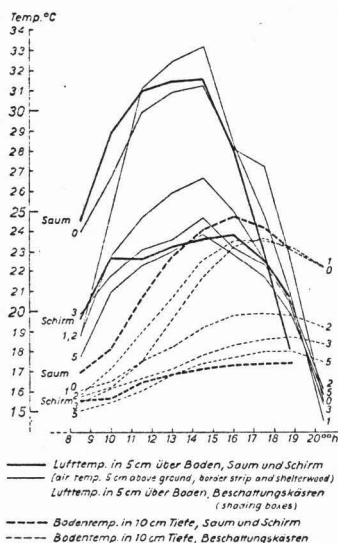


Abb.11: Temperaturverläufe an einem Strahlungstag in den beiden Versuchsanlagen und Tagesmaxima und -minima in den beschatteten Parzellen an zwei ausgewählten Strahlungstagen.

Development of soil and air temperatures at a sunny day in both experimental areas and daily maximal and minimal air temperatures in the shaded plots at 2 sunny days

Für zahlreiche andere Tage konnten nur die maximalen und die minimalen Lufttemperaturen ermittelt werden, die ebenfalls zur Charakterisierung der Wirkung der natürlichen und künstlichen Beschattungsvorrichtungen auf die Temperaturverläufe am Erdboden dienen können. In der Abb.11 sind außerdem deshalb die Werte von zwei unterschiedlich warmen Tagen zusammengestellt worden.

Ergebnisse:

- Die Maxima der Lufttemperaturen differenzierten sich in den Beschattungskästen entsprechend der Stärke der Beschattung eindeutig. Dabei schien eine gewisse Gruppierung eingetreten zu sein: Die Werte der offenen Beschattungspartellen unterschieden sich nämlich von denen der Freifläche nicht. Nahe beieinander lagen meist auch die Maxima der stärker abgeschatteten Partellen 3, 4 und 5. Eine Zwischenstellung nahm, allerdings der zweiten Gruppe näherstehend, die Beschattungsstufe 2 ein. Trotz der z.T. vorhandenen Streuung zwischen den einzelnen Meßplätzen auf der Saum- und der Schirmfläche stimmten die Maxima der Saumfläche gut mit denen der offenen Mattenhütten, die der Schirmfläche mit denen der stark beschatteten (vgl. besonders Abb.11) überein. Die Unterschiede zwischen den Maxima innerhalb der Beschattungskästen und zwischen Saum- und Schirmfläche können, da an mehr als 20 Tagen gleichsinnig und ohne "Ausreißer" festgestellt, als eindeutig bezeichnet werden. Am 29.7.1969 erreichten sie im übrigen Werte von mehr als 9°C Unterschied.

- Ungleich geringere Unterschiede zeigten die Minima in den Beschattungskästen. Das liegt wahrscheinlich daran, daß die Beschattungsvorrichtungen eine nur geringe Isolierwirkung hatten und sich daher letztlich ungefähr den Freiflächentemperaturen anpaßten. Die tiefsten Werte erreichten stets die Freiflächenpartellen - was zu erwarten war. Einen gewissen Wärmeschutz brachten die seitlichen Rohrmatten - wie bei den Werten der Besch.St.1 zu erkennen. Erstaunlicherweise lagen die Minima in Besch.St.2 am höchsten und fielen dann mit weiter zunehmender Beschattung wieder ab. Die Ursache hierfür ist vermutlich darin zu sehen, daß die am stärksten beschatteten Partellen wegen der geringen Erwärmung im Laufe des Tages weniger Wärme im Boden gespeichert hatten, so daß der Ausgleich mit der Freiflächentemperatur deshalb hier eher, als bei den weniger stark beschatteten Partellen erfolgen konnte.

Die Bedeutung dieser Wärmespeicherung bei schlechter Aus-

tauschmodöglichkeit kommt besonders bei den Minima der Schirmfläche heraus, die verschiedentlich weit höher als die entsprechenden Daten in den Beschattungskästen lagen.

- Die geringeren Temperaturamplituden (vgl. Abb.11) bei den stärker beschatteten Parzellen sind also im wesentlichen auf die Absenkung der Maxima zurückzuführen. Bei ihnen wird aber die erwähnte Gruppierung der Werte noch klarer erkennbar als dort: Danach unterschieden sich die unbeschatteten Parzellen (0 und 1) deutlich von allen beschatteten (2 - 5). Aus den unter (2) genannten Gründen war die Amplitude auf der Schirmfläche weit geringer noch als bei den stark beschatteten Parzellen, so daß die Beschattungskästen in dieser Hinsicht trotz sonstiger Parallelen nicht den Verhältnissen bei natürlicher Überschildung voll entsprechen.

- Die Bodentemperaturen in 10 cm Tiefe, wie in Abb.11 für den 5.8.1969 dargestellt, unterstreichen die dargestellten Zusammenhänge hinsichtlich der Gruppierung der Beschattungsstufen und ihrer Zuordnung zu den Werten von Saum- und Schirmfläche und brauchen deshalb nicht mehr besprochen werden. Allerdings waren bei ihnen die Temperaturamplituden erheblich geringer, und die Temperaturverläufe folgten denen der Luft mit zeitlicher Verzögerung.

Diskussion der Ergebnisse

Die mitgeteilten, auch für die übrigen Meßergebnisse repräsentativen Werte unterstreichen die eingangs zitierten Schlussfolgerungen von BURSCHEL und SCHMALTZ hinsichtlich der Auswirkung der Beschattungsvorrichtungen auf die Temperaturverhältnisse in der Beschattungsanlage weitgehend. Jedenfalls können die Unterschiede anscheinend erheblich größer sein als RÖHRIG sie für wahrscheinlich hielt. Auch waren sie mit einer relativ einfachen Geräteausstattung nachweisbar.

Da die Fichte ihre Netto-Assimilation bei ungefähr $+25^{\circ}\text{C}$ einzustellen beginnt (LYR, POLSTER, FIEDLER, 1967), dürften die nur bei höheren Temperaturen größeren Unterschiede zwischen den Beschattungsstufen allerdings nicht allzu bedeutsam ge-

wesen sein. Immerhin variierten sie auch an kühleren Tagen um über 5°C (wie am 12.7.69 - s. Abb. 12). Deshalb erscheint es nicht gerechtfertigt, die Möglichkeit eines differenzierenden Einflusses der Temperaturabweichungen auf die Stoffproduktion so eindeutig auszuschließen, wie SCHMALTZ es tut.

3.5 Die Kohlendioxydgehalte der Luft in den Versuchsanlagen

Die assimilatorische Leistung der pflanzlichen Organismen wird außer durch die Beleuchtungsstärke, die Wasserversorgung und Temperaturverhältnisse auch durch den CO₂-Gehalt der sie umgebenden Luft, bzw. durch die Austauschmöglichkeit mit den Luftschichten oberhalb der Vegetationsdecke beeinflusst. Dabei kann je nach Standortsgüte die Bodenatmung sehr unterschiedlich sein und etwaiger Lichtmangel bei geringen oder zu dichten Beständen durch höheres CO₂-Angebot in gewissem Umfang kompensiert werden.

Es bestand daher die Vermutung, daß die CO₂-Versorgung auf den Freiflächen und in den Beschattungskästen wesentlich verschieden sein und auf das Wachstum der jungen Fichten Einfluß nehmen könnte.

Eine fortlaufende und differenzierte CO₂-Messung ermöglicht nur der URAS. Ein solches Gerät stand jedoch nicht zur Verfügung. Auch wären gleichzeitige Messungen auf der Schirmfläche und in der Beschattungsanlage wegen der räumlichen Entfernung beider Versuchskomplexe voneinander nicht möglich gewesen.

Nach DENEKE (zit. bei WALTER, 1952) ist für die CO₂-Versorgung des grünen assimilierenden Blattes neben der CO₂-Konzentration in vielleicht noch viel höherem Ausmaß die Luftbewegung von Bedeutung. WALTER (1952) arbeitete deshalb eine Methode aus, die sowohl die CO₂-Konzentration als auch die Luftbewegung erfaßt und so einfach und wenig kostspielig ist, daß sie im Gelände und gleichzeitig an zahlreichen Standorten verwendet werden kann. Für ökologische Zwecke genügt es dabei nach WALTER, wenn man vergleichbare Relativwerte erhält, ähnlich wie bei den Evaporationsmessungen mit dem Piche-Evaporimeter. So wie bei diesen das grüne transpirierende Blatt durch

grünes, feuchtes Filtrierpapier ersetzt wird, läßt sich eine CO_2 -absorbierende KalilaugeLösung an Stelle des grünen CO_2 -absorbierenden Blattes verwenden.

WALTER fand bei Verwendung von Flaschen mit einem schaftförmigen Eingang als Standardgefäß eine ähnliche Abhängigkeit der CO_2 -Aufnahme von der Luftbewegung wie beim assimilierenden Blatt.

Bei einer freien KOH-Oberfläche wurde die Absorption von 1 bei völliger Windstille auf 3.65 bei Windgeschwindigkeiten von etwa 1.7 m/sec. gesteigert und blieb dann etwa gleich. Ähnliche Werte fand DENEKE für Thuja gigantea. Bei höheren Windgeschwindigkeiten verringert sich die Assimilationsintensität allerdings wieder (POLSTER und NEUWIRTH, 1958, zit. in LYR, POLSTER, FIEDLER, 1967).

Trotz dieser nur bedingten Übereinstimmung schien es sinnvoll zu sein, Vergleichsmessungen in beiden Versuchsanlagen durchzuführen, um wenigstens eine vage Vorstellung über die CO_2 -Versorgung mittels einiger Relativwerte zu gewinnen.

Methode:

Nach der von WALTER (1952) erprobten Verfahren wurden neben den von ihm verwendeten Standardgefäßen Präparatgläser mit Plastikverschlußkappe und Plastikdosen mit Verschlußdeckeln im Labor mit KOH gefüllt, im Gelände geöffnet aufgestellt, nach 12 oder 24 Std. wieder verschlossen und im Labor titriert. Der Verbrauch an Salzsäure dabei ist ein Maß für die absorbierte Menge CO_2 je Flächen- und Zeiteinheit und wird üblicherweise in $\text{g CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$ angegeben. Eine Korrektur erfolgt durch gleichbehandelte Blindproben.

Die Gefäße wurden für 8 Messerien teils tagsüber, teils nachts in die Beschattungskästen des 1. Blocks und auf der Saum- und Schirmfläche jeweils neben den Parzellen des 1., 3. und 5. Blocks aufgestellt. Als Bezugsbasis für die Darstellung wurde stets die Freifläche (Besch.Stufe 0) benutzt. Den statistischen Berechnungen lagen Varianzmodelle für Versuche ohne Blockanordnung zugrunde.

Weitere Details zur Methodik und Auswertung finden sich bei HUSS (1971).

Ergebnisse:

- Die auf der Freifläche ermittelten Durchschnittswerte von 1,0 - 3,5 $\text{g CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$ entsprechen in der Größenordnung den

von WALTER angegebenen. Die Nachtmessungen erbrachten mit allen Gefäßtypen geringere Werte als die Tagesserien. Dieser Unterschied dürfte auf die nachts geringere Luftbewegung zurückzuführen sein. WALTER fand zwar 1952 ebenfalls öfter etwas tiefere Nachtwerte bei seinen Messungen, über die ganze Vegetationszeit hinweg letztlich aber nur geringe Unterschiede zwischen den Tag- und Nachtwerten.

- In den Beschattungskästen setzten die Beschattungsvorrichtungen die CO_2 -Absorption außer bei einer Nachtmessung höchstgesichert herab.

Bei der Mittelung aller Werte ergab sich zwar eine gleichmäßige Absenkung der CO_2 -Aufnahme mit zunehmender Beschattung, jedoch ließen sich nach der zusammenfassenden statistischen Analyse die beschatteten Parzellen nicht mehr untereinander, wohl aber gegen die offenen Parzellen absichern. Die Verringerung der Absorption auf rd. die Hälfte der Freiflächenwerte kann aber offenbar für alle Beschattungsvorrichtungen als der Durchschnittswert angenommen werden. Der bloße Seitenschutz aus Rohrgeflecht (Besch.Stufe 1) erbrachte demgegenüber eine gesicherte Abnahme um rd. 20 % (Tab.15).

BESCHATTUNGS- STUFE (degree of shading)	CO_2 -Ab- sorption %	POSITION	CO_2 -ABSORPTION (%)	
			AUF SAUM (border strip)	AUF SCHIRM (shelter)
0	100	(replication) 1. BLOCK	102	92
1	82	3. "	102	69
2	55	5. "	103	92
3	51	SIGNIF.: POSIT.	-	+++
4	47	TERMINE (dates)	+++	+++
5	44	FLÄCHEN (areas)	-	-
		POSITION (posit.)	-	-
		FL. x POS. (a x p)	-	-
		TERMINE (dates)	-	-
SIGNIF. BESCH. (shading)	+++	T. x FL. (d x a)	-	+++

Tab.15: Die prozentuale CO_2 -Aufnahme (gemessen mit Präparat-Gläsern) in den Beschattungskästen sowie auf der Saum- und Schirmfläche, bezogen auf die Werte der Freiflächen-Meßstelle (=Besch.St.0) nach 8-tägiger Meßserie

Relative uptake of CO_2 (measured with medical glasses) in the shading boxes as well as in the border strip and the shelterwood, related to the readings in the open (shading degree No.0) after an 8 days series of measurements

- Auf der Saumfläche streuten die Werte der einzelnen Meßstellen zwar erheblich, sie zeigten dabei jedoch keine gleiche Richtung, so daß sich im Durchschnitt kein Unterschied ergab (Tab.15). Etwas anders lagen die Verhältnisse auf der Schirmfläche. Dort zeigte der Meßplatz in der Mitte der Fläche durchweg geringere Werte, die im Mittel aller Messungen höchstsignifikant herauskamen. Die Erklärung hierfür könnte eine Gruppe von Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) nahe dieser Meßstelle sein, die anscheinend die Windgeschwindigkeit und damit die CO_2 -Absorption in seiner unmittelbaren Umgebung herabgesetzt hatte. Derselbe Effekt war nämlich auch schon bei den Verdunstungsmessungen (Kap.3.32) beobachtet worden.
- Vergleicht man beide Flächen miteinander, so lassen sie sich zwar an mehreren Tagen hinsichtlich der CO_2 -Absorption gesichert voneinander unterscheiden, nur liegen dabei einmal die Werte der Saum-, ein anderes Mal die der Schirmfläche höher. So konnten zwar die Meßwerte der einzelnen Aufnahmetermine getrennt für entweder die Saum- oder die Schirmfläche gegeneinander abgesichert werden, aber wegen ihrer z.T. gegenläufigen Tendenz hoben sie sich, über beide Flächen hinweg berechnet, wieder auf und waren lediglich als Wechselwirkung von Terminen und Flächen wiederzufinden (Tab.15).

Diskussion

Die dargestellten Ergebnisse beweisen eindeutig die durchgängig geringere CO_2 -Absorption unter den künstlichen Beschattungsvorrichtungen, während im Freigelände offenbar keine wesentliche Veränderung durch die Überschirmung in dieser Hinsicht eintrat. Dieses Resultat ist nun dazu angetan, die Vermutung, daß in den Beschattungskästen eine CO_2 -Anreicherung durch verstärkte Aktivität der Bodenlebewesen, also höhere Bodenatmung, möglich sei, zu entkräften. Die starke Abhängigkeit der CO_2 -Absorption der Kalilauge von der Windbewegung, die aus den Einzelwerten immer wieder herausgelesen werden kann, läßt eine so klare Schlußfolgerung nämlich wiederum gewagt erscheinen. Vielmehr muß man unterstellen, daß die ange-

wendete Methode eher geeignet ist, über die Windverhältnisse in beiden Versuchsarealen Auskunft zu geben als über die CO_2 -Versorgung. Man hätte also wenigstens Ventilatoren aufstellen müssen, wenn schon URAS-Messungen ausschieden, um die Luftbewegung konstant zu halten. Aber auch hierfür fehlten die Voraussetzungen.

Wenn der anfangs zitierte Versuchsbefund von DENEKE (1931) und anderen Autoren, daß nämlich die CO_2 -Aufnahme der assimilierenden Blätter mit zunehmender Luftbewegung bis zu einem Optimalwert hin ansteigt, allgemeine Gültigkeit besitzt, so bleibt schließlich aber wohl doch die Möglichkeit, die aufgeführten Resultate wenigstens dahingehend zu interpretieren, daß die CO_2 -Versorgung im Freigelände für die jungen Fichten nicht ungünstiger als in den Beschattungskästen war.

3.6 Zusammenfassende Diskussion über die ökologischen Bedingungen in den Versuchsanlagen

In den vorstehenden Einzelbeschreibungen der ökologischen Faktoren konnte die an sich bereits vielfach beschriebene Beobachtung bestätigt werden, daß die Beschattung durch die künstlichen Vorrichtungen wie auch durch die natürliche Überschildung gleichzeitig stark auf die Licht-, bzw. Strahlungsintensitäten, auf die Feuchtigkeitsversorgung, die Temperaturen und die Luftbewegung einwirkte. Wenn in den weiteren Ausführungen also von "Beschattung" als einem auf das Pflanzenwachstum einwirkendem Faktor die Rede ist, so geschieht das lediglich aus Vereinfachungsgründen, gemeint ist stets die Veränderung des gesamten Faktorenkomplexes. Allerdings dürfte dabei angesichts der in den Versuchen sonst nicht extremen Bedingungen die Verringerung des Lichtangebotes das entscheidende Moment gewesen sein.

Über die Bedeutung der Veränderungen z.B. der Einzelfaktoren Temperatur oder Wasserversorgung im Rahmen der Veränderungen

des gesamten Faktorenkomplexes auf das Pflanzenwachstum können mit Hilfe der Versuchsanordnung keine exakten Aussagen gemacht werden. Desgleichen fehlen leider noch weitere Daten bezüglich der Unterschiede, die zwischen den Wachstumsbedingungen unter den verschiedenartigen Beschattungsvorrichtungen bestanden. Dazu gehört vor allem die Frage nach der Lichtqualität und deren Bedeutung für die Substanzerzeugung. Aber auch die Aussagekraft der CO_2 -Meßergebnisse kann nicht eindeutig eingeschätzt werden.

Mit etwas größerer Wahrscheinlichkeit lassen sich aber die geringeren Luftfeuchtigkeiten, die höheren Temperaturminima und die stärkere Windbewegung unter dem Schirm der Altfichten gegenüber den etwa gleich stark beschatteten Mattenhütten als Benachteiligung der Jungfichten unter der natürlichen Beschattung interpretieren. Dabei können die geringeren Luftfeuchtigkeiten die Möglichkeiten der Substanzerzeugung etwas verschlechtern und zusätzlich die höheren Temperaturen während der Nächte die Dissimilation steigern.

Für die als Freiflächenwerte bezeichneten Meßdaten müssen LÜTZKE (1961) zufolge einige Einschränkungen gemacht werden, da sich diese Meßstellen noch in Waldnähe befanden (100-150 m südlich von einem Fichtenaltbestand) und daher gegenüber der freien Feldflur abweichende Temperatur - und Windbedingungen aufwiesen. Es ging in der Darstellung hier aber nur um eine Kennzeichnung der Witterungsverhältnisse, denen die Pflanzen in den verschiedenen Versuchen ausgesetzt waren, nicht um eine allgemeine Charakterisierung des Waldklimas auf dem Versuchsgelände.

4. Ernte, Auswertung und statistische Analyse

=====

4.1 Aufbereitung des Pflanzenmaterials und Methodik der Untersuchungen

An den jungen Fichten war bereits ohne Messung gut erkennbar, daß ihr Höhenwuchs und Habitus, damit also auch die Substanzleistung durch die Versuchsbedingungen verändert worden war.

Die Reaktionen auf Beschattung und Düngung sollten anhand der wichtigsten Kriterien quantitativ festgehalten und das Programm ferner auf Nährstoffanalysen ausgedehnt werden, weil die Forstpflanzen bisher nicht gerade bevorzugtes Objekt solcher Art von Untersuchungen waren, wenig Vergleichszahlen vorliegen und forstlicherseits methodische Arbeiten über die Fichte fast nur unter dem Gesichtspunkt der Pflanzenanzucht in Baumschulen durchgeführt worden sind.

Das Schwergewicht der Erhebungen mußte auf der Ermittlung der Trockengewichtsleistungen als dem aussagekräftigsten Merkmal liegen. Soweit keine Störung der Versuchsanlagen hinsichtlich der weiteren Beobachtung damit verbunden war, wurden deshalb ganze Pflanzen entnommen, andernfalls nur die Sprosse bodengleich abgeschnitten und die Nadel- und Sproßtrockengewichte bestimmt.

In der weiteren Arbeit sind mit der Bezeichnung "Sprosse" stets die Sproßachsen sowie die Holz- und Rindenteile der Seitentriebe gemeint. Mit den Nadeln addiert ergeben sie die gesamte oberirdische Trockensubstanzproduktion, Abweichend hiervon wurde lediglich das Wurzel: "Sproß"-Verhältnis, internationaler Gepflogenheit folgend, als Quotient der unter- zur oberirdischen Substanzerzeugung errechnet.

Bei den Ernteterminen jeweils Anfang Oktober der Jahre 1966 bis 1969 - das Ernteprogramm für die einzelnen Versuchsprojekte ist bereits in Kap. 2 umrissen worden - wurden die zu entnehmenden Pflanzen so sorgfältig wie irgend möglich ausgehoben, um die Wurzeln nicht zu beschädigen. Bei den größeren Pflanzen mit stark ineinander verfilzten Wurzeln mußten gewisse Verluste hingenommen werden, doch dürften die Fehler vom technisch zu Verwirklichenden her minimal gewesen sein. Die nach dem Ausheben sofort eingetüteten Pflanzen wurden dann anschließend im Labor sorgfältig unter Leitungswasser gewaschen und der weiteren Verarbeitung zugeführt.

4.11 Die Bestimmung der Trockengewichte

Alle Proben wurden etwa 24 Stunden (stärkere Sprosse länger) bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrennt nach Sproßachsen, Nadeln und Wurzeln getrocknet.

Ein Teil des Pflanzenmaterials war dabei z.T. parzellenweise zusammengefaßt worden, z.T. erfolgte die Trockengewichtsbe-

stimmung aber auch für jede Pflanze einzeln getrennt nach Nadeln, Sprossen und Wurzeln.

Die Größe und Zahl der Pflanzenproben zwang dazu, auf eine Abkühlung in Exsikkatoren bei der Trockengewichtsbestimmung zu verzichten. Daraus resultiert, wie Vergleichsmessungen ergaben, eine durchschnittliche Differenz von - 0,5 % bei den angegebenen Trockengewichten.

In der Literatur werden fast ausnahmslos Trockengewichtsangaben gemacht, die nach Trocknung im Trockenschrank gewonnen wurden. Deshalb - und zugleich aus Gründen des Arbeitsaufwandes - wurde nicht einem Hinweis von BASKERVILLE (1965) nachgegangen. So soll nämlich (nach unveröffentlichten Untersuchungen von CLARK) die Trocknung im Trockenschrank gegenüber dem Verfahren der Wasserentfernung durch Destillation bei Fichten - und Tannennadeln einen rd. 30 % größeren Gewichtsverlust als Folge der Verflüchtigung von Ölen und anderen Substanzen haben.

Die stets aus je drei Wiederholungen mit je etwa 20 Pflanzen hergeleiteten Mittelwerte der Trockengewichte wurden getrennt nach ungedüngten und gedüngten Beschattungsvarianten dargestellt und zusätzlich die durch Düngung hervorgerufene Mehrleistung in den einzelnen Beschattungsstufen in einer weiteren Rubrik ausgewiesen (vgl. z.B. Tab.21).

Da die Gewichte der jungen Fichten zu Versuchsbeginn bekannt waren (Tab.9), konnten auch die jährlichen Gewichtszunahmen berechnet werden. Sie sind zur Veranschaulichung der Reaktionen der Fichten hinsichtlich ihres Wachstums z.B. in der Tab.22 angegeben und zwar bezogen auf die Leistung jeweils der unbeschatteten Parzellen. Für die Werte der Produktionssteigerung durch Düngung (in den Tabellen "Diff.durch Düngung" bezeichnet) bildete stets der Zuwachs der ungedüngten Variante in jeder Beschattungsstufe die Bezugsbasis.

4.12 Morphologische Messungen

An den Pflanzen wurden zusätzlich zu den Trockengewichten die umseitig aufgelisteten Merkmale gemessen, wozu Folgendes hinsichtlich Aufnahmemethodik und -Genauigkeit zu bemerken ist:

Merkmal	Meßmethodik
Gesamtlängen	Messung in 1 cm-Klassen, Erd-Luft-Trennstelle 1 cm oberhalb der letzten Seitenwurzel
Länge der Terminaltriebe	Messung in 1 cm-Klassen
Sproßbasisdurchmesser	Messung in 0,1 mm-Klassen mit Uhr-schnellmesser 0,5 cm oberhalb der Erd-Luft-Trennstelle
Wurzellängen	Messung der jeweils längsten Wurzel in 1 cm-Klassen (geringfügige Wurzelverluste auf den unbeschatteten Parzellen können eine unbedeutende Verminderung dieser Werte verursacht haben, nicht jedoch bei den stärker beschatteten Parzellen).
Wurzeloberflächen	Ermittlung der Flächendeckung zerschnittener und plan in einem Gerät ausgelegter Wurzeln zur Bestimmung der Absorptionsrate des durchfallenden Lichtes (nach MORRISON und ARMSON, 1968, gebaut von v.LÜPKE, 1969, im Göttinger Waldbau-Institut.
Zahl der Zweige 1. und höherer Ordnung	Berücksichtigung nur der Zweige von ≥ 1 cm Länge.

4.13 Methodik der Nährstoffanalysen

1. Termin der Gewinnung des Pflanzenmaterials

Für die Nährstoffanalysen werden ausgereifte Pflanzenorgane benötigt, die ihr Wachstum voll abgeschlossen haben. Aus Gründen der Vergleichsmöglichkeit hat man sich deshalb auf die Monate November-Februar für die Entnahme des Materials geeinigt (HÖHNE, 1964). Die Verfügbarkeit von Hilfskräften im Oktober zwang aber zur Ernte des gesamten Pflanzenmaterials bereits im Oktober. Angesichts der Höhenlage der Versuchsflächen von 600 m ü.NN dürfte sich dieser Umstand auf die Ergebnisse der Pflanzenanalysen wegen der dort eher beendeten Vegetationszeit kaum verfälschend ausgewirkt haben.

2. Aufarbeitung

Nach der Trocknung bei 105°C und der Trennung von Nadel, Sproß und Wurzeln wurden die Nadeln in einem Starmix, alle holzigen Teile in einer Schlagmühle zermörsert. Das Veraschen erfolgte in Quarzschalen. Aus technischen Gründen war es nicht möglich, alle Pflanzen mit Aqua dest. abzuwaschen. Da keine methodischen Untersuchungen beabsichtigt waren, wiegt dieser Fehler nicht allzu schwer. Für die Fe-Bestimmungen hätte das Material außerdem in einer Porzellanmühle zerkleinert werden müssen. Dem standen auch hier die technischen Probleme (viel zu hartes und zu starkes Material) entgegen.

3. Analysengang für die einzelnen Elemente

Die Auswahl der zu untersuchenden Elemente und die Analysengänge wurden mit dem Institut für Bodenkunde der Universität Göttingen abgestimmt (vgl. REEMTSMA, 1964) und folgendermaßen durchgeführt:

Die Bestimmung des Stickstoffs erfolgte an Hand von 1 g Mischproben (in Ausnahmefällen 0,5 g) als Gesamt-N nach Kjeldahl-Aufschluß in der Büchi-Destillationsapparatur. Für die Bestimmung aller anderen Nährstoffgehalte wurden Mischproben von 2,5 g (in wenigen Ausnahmefällen 1,0 g) je aus Nadeln, Sprossen oder Wurzeln bei 650°C ca. 5 Std. lang verascht, gewogen und mit HCl aufgeschlossen. Durch Division des Glühverlustes mit 1,724 wurde der Kohlenstoffgehalt berechnet und dieser wiederum zur Herleitung des C:N-Verhältnisses herangezogen.

Phosphor, Eisen und Aluminium wurden kolorimetrisch bestimmt, Kalium, Calcium und Magnesium flammenphotometrisch, z.T. nach entsprechender Vorbehandlung der Stammlösung.

Da über die Maßeinheit, in der die Nährstoffe in der Pflanzensubstanz anzugeben sind, nach REEMTSMA offenbar noch keine allgemeine Übereinstimmung erzielt ist, wurde die Angabe von Gewichtsprozenten der Element-Form, als der z.Z. bei Düngungsuntersuchungen noch gebräuchlichsten Form der Vorzug gegeben. Die Umrechnung in mmol oder mval zum Vergleich der verschiedenen Elementmengen und der Bewertung ihrer chemischen Aktivität ist an Hand der bei REEMTSMA angegebenen Faktoren leicht möglich. Da es hier aber vor allen Dingen um die Frage der Veränderung der Nährstoffgehalte durch die Beschattung und die zusätzlich durch Düngung erreichten Abweichungen bei den einzelnen Nährstoffen, also genau genommen um Relativwerte geht, ist der Maßeinheit keine fundamentale Bedeutung hinsichtlich der Aussagekraft der Ergebnisse beizumessen.

4.2 Statistische Auswertungsverfahren und die Form ihrer Darstellung

4.21 Berechnung der Ergebnisse aus der Freiflächenversuchsanlage

Die Platzierung der Einzelparzellen auf der Saum- und der Schirmfläche ermöglichte eine statistische Auswertung nach folgenden Gesichtspunkten:

- Untersuchung des Beschattungseffektes getrennt für die ungedüngten und gedüngten Parzellen von Saum und Bestand mit Hilfe je einer einfachen Varianzanalyse.
- Untersuchung des Düngungseffektes getrennt für Saum und Bestand mit je einer 2-Wege-Varianzanalyse, in die die Düngungsvarianten und die Wiederholungen (Blöcke) als versuchsbedingte Streuungsursachen eingingen.
- Zusammenfassende Untersuchung des Beschattungs- und Düngungseffektes, sowie der Interaktion beider mit einer 3-Wege-Varianzanalyse.

Die Ergebnisse der in den Varianzanalysen durchgeführten F-Tests wurden stets zusätzlich zu den jeweiligen Mittelwerten in die entsprechenden Tabellen aufgenommen und durch die üblicherweise benutzten Symbole gekennzeichnet:

- | | | | | |
|-----|---|---------------------------|----------------|---------------------------------|
| - | : | Irrtumswahrscheinlichkeit | $p > 0,05$ | = nicht gesicherte Unterschiede |
| + | : | " | $p \leq 0,05$ | = gesicherte Unterschiede |
| ++ | : | " | $p \leq 0,01$ | = hochgesicherte Unterschiede |
| +++ | : | " | $p \leq 0,001$ | = höchstgesicherte Unterschiede |

Da für das Versuchsziel weitgehend unerheblich und fast niemals gesichert, wurde auf die Angabe der für die Blocks errechneten Signifikanzwerte stets verzichtet.

4.22 Berechnung der Ergebnisse aus der Beschattungsversuchsanlage

Der Beschattungsversuch, aus technischen Gründen in Form einer Spaltflächenanlage aufgebaut, erlaubt eine statische Auswertung in folgender Art:

- Untersuchung des Beschattungseffektes jeweils getrennt für die ungedüngten und die gedüngten Halbpzellen mit Hilfe je

einer 2-Wege-Varianzanalyse mit den Beschattungsstufen und den Wiederholungen (Blöcke) als versuchsbedingte Streuungsursachen.

- Zusammenfassende Untersuchung von Beschattungs- und Düngungseffekt, sowie der Wechselwirkung von Beschattung und Düngung mit Hilfe einer Spaltflächen-(Splitplot-) Analyse, bei der die Beschattungen als zufällige, die Düngung als fixe Effekte unterstellt wurden.

Abweichend von STEEL und TORRIE (1960) wurde bei der Streuungszerlegung der Untereinheiten das mittlere Abweichungsquadrat (MQ) der Düngung nur dann gegen das MQ des Fehlers getestet, wenn das MQ der Wechselwirkung: Düngung x Beschattung nicht signifikant war.

1. Darstellung der Ergebnisse der F-Tests

Aus Gründen einer übersichtlichen Darstellung der durch die Versuchsbedingungen: Beschattung oder Düngung erzielten Unterschiede bei den jeweils untersuchten Meßwerten wurden die Ergebnisse der F-Tests aus den genannten Analysen stets in einer gesonderten Tabelle aufgeführt. Auf die Angabe der für die Blocks errechneten Signifikanzwerte wurde wiederum verzichtet. Die Tabellen (vgl. z.B. Tab. 20) enthalten daher nur die Angaben der durch die Beschattung verursachten Streuung bei den ungedüngten (aus 2-Wege-Varianzanalyse), bei den gedüngten (ebenfalls aus 2-Wege-Varianzanalyse) und schließlich zusammenfassend bei ungedüngten und gedüngten Halbparzellen, sowie die Angaben der durch Düngung oder Wechselwirkung verursachten Streuung (aus Splitplot-Analyse).

2. Darstellung der Mittelwerte und ihrer statistischen Unterschiede

Die Ergebnisse der F-Tests besagen lediglich, ob generell Unterschiede zwischen den jeweiligen Mittelwerten eingetreten sind oder nicht. Sie geben aber bei Vorliegen von mehr als 2 Varianten nicht darüber Auskunft, welche von ihnen sich gesichert unterscheiden, sofern der F-Wert überhaupt Signifikanz nachweist. Bei allen Varianzanalysen für die ungedüngten und die gedüngten Halbparzellen wurden deshalb stets DUNCAN-Tests, unter Zugrundelegung einer Überschreitungswahrscheinlichkeit

von 5 %, angeschlossen. Bei den Auswertungen zeigte sich, daß der DUNCAN-Test etwas eher Signifikanzen errechnen läßt als die Varianzanalyse. Gelegentlich ließen sich nämlich noch gesicherte Unterschiede zwischen den Mittelwerten aufzeigen, wenn beim F-Test die 5 %-Signifikanzgrenze knapp verfehlt wurde.

Sobald es sinnvoll erschien, eine beginnende Differenzierung in dem Zahlenmaterial anzudeuten, wurden diese nach konventionellen Maßstäben nicht ganz korrekten Grenzdifferenzen in die Tabellen aufgenommen, aber durch eckige Klammern kenntlich gemacht (vgl. Tab.21, Sprosse, ungedüngte 1+1j.Pflanzen). Eine übersichtliche Darstellung der Versuchsergebnisse und der Signifikanzgrenzen wäre in graphischen Darstellungen nicht zu verwirklichen gewesen. Daher wurden die Mittelwerte in einheitlich gestaltete Tabellen in der Reihenfolge der Beschattungsstufen getrennt nach ungedüngten und gedüngten Varianten eingetragen und die Ergebnisse der DUNCAN-Tests durch Unterstreichungen der aufgrund der ermittelten Grenzdifferenzen statistisch nicht voneinander verschiedenen Mittelwerte gekennzeichnet.

Eine einwandfreie Darstellung dieser Ergebnisse macht eine Ordnung der Mittelwerte in auf- oder absteigender Reihenfolge notwendig. Stimmt aber diese Reihenfolge einmal nicht mit den Beschattungsabstufungen überein, so mußten zur Erhaltung einer durchgängig einheitlichen Tabellenform Unterstreichungen, die statistisch gleichrangige Mittelwerte verbinden, an den Stellen durch punktierten Linien unterbrochen werden, wo signifikant abweichende Werte in der Reihe zu überspringen waren. Das ist an folgendem Beispiel verdeutlicht (Tab.16 - P-Gehalte der Nadeln von 1+1j. ungedüngten Fichten, 1967):

REIHENFOLGE BEI DUNCAN-TEST (Sequence according to DUNCAN-test)					REIHENFOLGE IN TAB. 44 (Sequence in tab. 44)				
BESCHATTUNGSSTUFE (degree of shading)					BESCHATTUNGSSTUFE (degree of shading)				
2	3	4	1	5	1	2	3	4	5
P - GEHALTE (content of P) mg/100g TM									
131	150	164	174	205	174	131	150	164	205

Tab.16: Darstellung der Grenzdifferenzen bei DUNCAN-Tests und der Wertereihung in den nachfolgenden Tabellen

Sequence of means as used in DUNCAN-tests and their alteration in the following tables

3. Berechnung der Düngungsunterschiede und ihre Darstellung

Neben der grundsätzlich wichtigen Antwort auf die Fragestellung, ob die Düngung direkt oder in Wechselwirkung mit der Beschattung wirksam wurde, interessierte besonders, zu erfahren, wie stark sie jeweils bei den einzelnen Beschattungsgraden anschluss.

Deshalb wurde die Differenz zweier Untereinheitenmittelwerte (ungedüngt und gedüngt) auf jeder einzelnen Beschattungsstufe (Haupteinheit) mit einem t-Test mit einseitiger Fragestellung, E.WEBER (1967) folgend, geprüft. Dieser t-Test wurde, stets unter Zugrundelegung des MQ vom Fehler der Untereinheiten durchgeführt, gleichgültig, ob die Düngung oder nur die Wechselwirkung $B \times D$ signifikant waren. Dabei wurde die Argumentation und das Vorgehen diesbezüglich von STEEL und TORRIE (1960) akzeptiert, obwohl von anderen Seiten Bedenken gegen die Anwendung des t-Tests vorgebracht werden, wenn nur die Wechselwirkung signifikant ist. Nach einer vom Rechenaufwand her umfangreichen und problematischen Zerlegung der WW in die linearen und quadratischen Komponenten wäre wahrscheinlich ohnehin in solchen Fällen Signifikanz für die Düngung allein zu errechnen. Unberücksichtigt dieser statistischen Detailfragen ist aber im übrigen festzustellen, daß die Anwendung des t-Tests biologisch sinnvoll auch in all den Fällen erscheint, in denen nur die Wechselwirkung Signifikanz ergeben hatte.

Die Werte der Differenz zwischen ungedüngten und gedüngten Varianten auf jeder Beschattungsstufe wurden gleichfalls in die Tabellen mit den Mittelwerten als gesonderte Rubrik genommen ("Differenz durch Düngung") und die Ergebnisse der t-Tests hinter jeder einzelnen Differenz mit den auf S. 80 angegebenen Signifikanzsymbolen vermerkt.

4. Transformation von Meßwerten

Die z.T. zwischen den Beschattungsstufen erheblichen Unterschiede in der Größenordnung der Meßwerte, besonders bei den Trockengewichten, ließen es zweifelhaft erscheinen, ob in allen Fällen Varianzenhomogenität bestand und die Anwendung der Varianzanalysenmodelle mithin vertretbar war. Deshalb wurden einige Proberechnungen zum Vergleich der Ergebnisse aus Berechnungen von unveränderten und logarithmisch transformierten Meßwerten durchgeführt.

Nachfolgend wird ein besonders deutliches Beispiel gegeben (Tab.17):

BESCH.- STUFE (degree of shading)	BLOCK (replication)			$\bar{x}$ (%)		$\bar{x}_{log}$ (%)	
	1	2	3				
1	4243	2514	4012	3590	100	10,46	100
2	2137	1966	1986	2030	57	9,92	95
3	1540	1966	1873	1793	50	9,79	94
4	883	442	914	747	21	8,87	85
5	107	121	91	106	3	6,96	67

VARIANZTABELLE

STREUUNGSURSACHE (source of variation)	FG df	ORIGINALDATEN		LOG.TRANSFORM DATEN	
		MQ	F	MQ	F
GESAMT (total)	14	-	-	-	-
BESCHATTUNG (shad.)	4	5344,6	27,63 ⁺⁺⁺	5,63	96,61 ⁺⁺⁺
BLOCK (replication)	2	236,8	1,22 ⁻	0,54	0,92 ⁻
FEHLER (error)	8	193,4	-	0,59	-

Tab.17: Die Auswirkung der logarithmischen Transformation auf die Ergebnisse der F-Tests am Beispiel der Wurzelgewichte von 1+3j. gedüngten Fichten (mg/Pfl) (vgl. Tab. 21)

Effect of logarithmical transformation on the results of F-tests shown at the dry weights of roots of the 1+3 years old spruces (mg per plant) (see table 21 also)

Es zeigt sich, daß der errechnete F-Wert nach der logarithmischen Transformation erheblich größer wird, d.h. die Absicherung des Beschattungseffektes besser und daraus folgend die per DUNCAN-Test errechneten Grenzdifferenzen relativ kleiner, die Unterscheidung der Mittelwerte gegeneinander also einfacher. Außerdem änderte sich das Größenverhältnis der Mittelwerte zueinander.

Weder nach Durchsicht der einschlägigen Literatur noch durch mündliche Fragen konnte geklärt werden, wann und ob eine Transformation vorgenommen werden müsse. Deshalb wurde der

konventionelle Standpunkt eingenommen, stets das weniger gute Ergebnis zu akzeptieren und für die Interpretation heranzuziehen. Da die Berechnungen mit logarithmisch transformierten Werten in allen durchgerechneten Beispielen "bessere" Ergebnisse lieferten, wurden folglich stets die Ergebnisse der Rechnung mit unveränderten Daten verwendet.

5. Ergebnisse: Die Reaktion der jungen Fichten auf Beschattung ===== und Düngung =====

Die Wertung der Versuchsergebnisse soll im wesentlichen unter dem Gesichtspunkt des Vergleiches der im freien Gelände (Freiflächenversuch) und unter den künstlich veränderten Bedingungen (Beschattungskästenversuch) gewonnenen Daten erfolgen.

Es erscheint deshalb zweckmäßig, als Gliederungsgrundsatz die verschiedenen Meßkriterien zugrundezulegen, statt die einzelnen Versuchsobjekte getrennt abzuhandeln. Dabei muß allerdings der Nachteil in Kauf genommen werden, daß die Reaktion der Pflanzen der jeweiligen Versuchsprojekte an mehreren Stellen beschrieben wird.

5.1 Die Trockensubstanzerzeugung

Es war bereits darauf hingewiesen worden, daß den Trockengewichtswerten die größte Bedeutung für Aussagen hinsichtlich der Substanzerzeugung der jungen Fichten unter den Versuchsbedingungen zukommt. Deshalb werden diese nachfolgend eingehender als alle anderen Ergebnisse besprochen.

5.11 Ergebnisse der Trockengewichtsbestimmungen im Freiflächenversuch

1. Freiflächenversuch 1965

Im Herbst 1966 wurden nach Ablauf von 2 Vegetationszeiten 20 Pflanzen je Parzelle mit Wurzeln, im Herbst 1967 von wei-

teren 20 Pflanzen die oberirdischen Teile entnommen. Die Ergebnisse der Gewichtsbestimmungen und der statistischen Berechnungen sind in Tab.18 wiedergegeben und zeigen folgende Zusammenhänge auf:

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	ALTER (age) JAHRE (years)	SAUM (border strip)		F-TEST	SCHIRM (shelterwood)		F-TEST	ÜBERSCHIRMUNG (sheltering)		DÜNGUNG (fertilization)		Σ × D
		UNGED.	GED.		UNGED.	GED.		UNGED.	GED.	UNGED.	UNGED.	
		$\bar{x}$	$\bar{x}$		$\bar{x}$	$\bar{x}$		(unfert.)	(fert.)	(unf-fert)		
FREIFLÄCHENVERSUCH 1965, ERNTE HERBST 1966 + 1967 (open air experiment 1965)												
GESAMT (total)	1+2	1600	6370	***	430	480	-	***	***	-	-	***
NADELN (needles)	1+2	590	2220	***	130	140	-	***	***	-	-	***
	1+3	2500	5950	***	320	380	-	***	***	-	-	***
SPROSSE (shoots)	1+2	470	2470	***	170	200	-	++	***	-	-	***
	1+3	2210	6620	***	360	440	-	++	***	-	-	***
WURZELN (roots)	1+2	540	1620	***	130	150	-	***	***	-	-	***
FREIFLÄCHENVERSUCH 1969, ERNTE HERBST 1969 (open air experiment 1969)												
GESAMT (total)	1+1	1068	1470	+	320	352	-	***	***	***	-	+
NADELN (needles)	1+1	448	608	+	136	154	-	***	***	***	-	+
SPROSSE (shoots)	1+1	288	422	+	94	110	-	***	***	***	-	+
WURZELN (roots)	1+1	332	440	-	90	90	-	***	***	***	-	+

Tab.18: Die Wirkung von Überschirmung und Düngung auf die Trockensubstanzleistung (mg/Pfl) bei den 2-bis 4-jährigen Fichten in den Freiflächenversuchen von 1965 und 1969

Effect of sheltering and fertilization on the production of dry weights (mg per plants) of the 2 to 4 years old spruces in the open air experiments of 1965 and 1969

- Bei allen in den Jahren 1966 und 1967 ermittelten Trockengewichten hatte sich die Überschirmung sehr stark wachstumsmin-dernd ausgewirkt. Es ist dabei gleichgültig, ob man hierzu die ungedüngten oder die gedüngten Varianten beider Flächen miteinander vergleicht. Der Zuwachs der ungedüngten Fichten lag 1965/66 auf der Schirmfläche um über 80 % niedriger als der der Fichten auf der Saumfläche. Besonders drastisch wurde der Nadelzuwachs reduziert. In der folgenden Vegetationszeit vergrößerte sich dieser Unterschied noch weiter. Das ist zur Verdeutlichung anhand der Zuwachswerte nochmals in Tab.19 dargestellt. Die Beschattung zeigte sich damit als das die

Entwicklung der jungen Fichten am stärksten beeinflussende Moment.

PFLANZENTEIL (part of plant)	ZUWACHSLEISTUNG NACH (dry weight increment in relation to)			
	DÜNGUNG (fertilization)		ÜBERSCHIRMUNG (sheltering)	
	IM		IM	
	1. + 2.	3.	1. + 2.	3.
	JAHR (year)		JAHR (year)	
GESAMT (total)	435 %	-	18 %	-
NADELN (needles)	425 %	265 %	8 %	13 %
SPROSSE (shoots)	565 %	240 %	30 %	17 %
WURZELN (roots)	320 %	-	16 %	-

Tab.19: Durchschnittlicher prozentualer Trockengewichtszuwachs im Freiflächenversuch 1965 nach Düngung und Überschirmung, bezogen auf die ungedüngten und nicht überschirmten Varianten (=100 %) (hergeleitet aus den Tab.9 und 16).

Mean percental increment of dry weight of the spruces in the open air trial 1965 dependet on fertilization and overshadowing (related to the unfertilized and unshaded variables = 100 %; derived from tables 9 and 16)

- Demgegenüber trat eine sehr unterschiedliche Düngungswirkung auf den beiden Versuchsflächen - Saum und Schirm - ein:
- Auf der Saumfläche war bereits nach den ersten beiden Vegetationszeiten der Zuwachs an Gesamtsubstanz auf mehr als das Vierfache gesteigert. Diese Gewichtszunahme betraf allerdings die einzelnen Pflanzenteile in verschieden starkem Maße: Das Sprosswachstum wurde weit über-, das Wurzelgewicht -unterproportional gefördert. Dadurch veränderte sich der Aufbau der Pflanzen erheblich (vgl.Tab.19). Auf diese Auswirkung der Düngung wird in Kap.5.15 noch genauer eingegangen werden (vgl.Tab.32).

Die prozentuale durch die Düngung verursachte Mehrleistung fiel im dritten Untersuchungsjahr bei den Nadel- und Sproßtrockengewichten merklich ab.

Dies dürfte jedoch ausschließlich eine Folge der starken Steigerung der absoluten Zuwachsmengen auch auf den ungedüngten Parzellen sein, die ja die Bezugsbasis bilden, und sich damit lediglich als ein rechnerisches Problem darstellen.

- Unter dem Schirm der Altfichten wirkte sich dagegen die Düngung in keinem Fall statistisch gesichert zuwachssteigernd aus. Die Wuchsbedingungen müssen unter dem Altbestand also bereits so ungünstig gewesen sein, daß die verbesserte Nährstoffversorgung nicht mehr ausgenutzt werden konnte. Mit diesem Ergebnis war nicht gerechnet worden, da einerseits die Lichtintensitäten mit durchschnittlich 18 % (nach den Kugelpyranometermessungen) noch nicht als extrem niedrig erschienen, andererseits eine gewisse Kompensation des Lichtmangels durch die Nährstoffgaben erwartet wurde.

Auch nach drei Vegetationszeiten änderte sich an diesem Sachverhalt nichts. Ebenso wie beim Gesamttrockengewicht ließ sich die Düngung an den beiden Aufnahmeterminen (Herbst 1966 und 1967) bei den Gewichten der Pflanzenteile Nadeln, Sprosse und Wurzeln auf der Saumfläche höchstsignifikant, auf der Schirmfläche jedoch in keinem Fall nachweisen.

Daraus folgt, daß der durch die Überschirmung bedingte Leistungsabfall bei den gedüngten Varianten beider Teilflächen verständlicherweise noch erheblich größer war. So produzierten die gedüngten Fichten auf dem Saum bereits in den ersten beiden Vegetationszeiten rund die zwanzigfache Gesamtmenge an Trockensubstanz gegenüber den im Schatten erwachsenen gedüngten Fichten.

- Da die Düngung auf der Saumfläche die erwähnte starke Wachstumssteigerung brachte, auf der Schirmfläche aber nicht, verwundert es nicht zu sehen, daß die beiden Faktoren Überschirmung und Düngung in der zusammenfassenden Analyse nicht einzeln, dafür aber als Wechselwirkung höchstsignifikant nachweisbar waren.

2. Freiflächenversuch 1969

Die im Frühjahr 1969 gepflanzten einjährigen Fichtensämlinge wurden bereits im Herbst 1969 wieder geerntet und aufgemessen.

Die dabei erzielten Ergebnisse sind ebenfalls in Tab.18 dargestellt. Sie bilden eine gute Ergänzung zu denen des 1965 begründeten Freiflächenversuchs, auch wenn die statistischen Tests zunächst einige Widersprüche zu enthalten scheinen.

- Die Düngewirkung trat auf dem Saum bereits innerhalb der ersten Vegetationszeit ein. Sie äußerte sich allerdings sehr viel schwächer mit nur rd. 45 % Mehrzuwachs und bei den Wurzel-trockengewichten noch nicht gesichert. Nach einer weiteren Vegetationszeit hätten sich die gedüngten Fichten dann wahrscheinlich ebenso stark von den ungedüngten differenziert wie beim Freiflächenversuch 1965. Auf der Schirmfläche war auch diesmal die Düngung nicht abzusichern.

Es hätte nun sein können, daß bei einer zusammenfassenden statistischen Analyse ("Spaltflächen über die Zeit hinweg") beider Versuchsanlagen 1965 und 1969 der in den Einzeljahren schwache Düngungseffekt signifikant nachweisbar geworden wäre. Diese Vermutung bestätigte sich jedoch nicht, die F-Werte waren so klein, daß eine Düngewirkung auf der Schirmfläche mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

- Die Überschirmung hatte sich bei den ungedüngten wie bei den gedüngten Fichten mit einem 5- bzw. 6-mal höheren Zuwachs auf der Saumfläche bereits in der ersten Vegetationszeit höchst-signifikant ausgewirkt. Die Interaktion zwischen Überschirmung und Düngung war nur signifikant.

Bei den um 1 Jahr älteren Fichten des Freiflächenversuchs 1965 hatte sie dagegen bei der Aufnahme im Herbst 1966 höchst-signifikante Unterschiede aufgezeigt. Dieser Sachverhalt ist leicht einsichtig, da sich die gedüngten Fichten auf dem Saum erst wenig von den ungedüngten differenziert hatten. Des-gleichen mußte die Düngung im Gesamtversuch - also bei der zusammenfassenden Auswertung von Saum- und Schirmfläche - als nicht gerichtete Streuungsursache erscheinen, da ihre Wirkung völlig von den Lichtverhältnissen abhängig war, unter denen die Pflanzen aufwuchsen.

Zusammenfassend läßt sich also feststellen, daß die Ergebnisse des Freiflächenversuchs 1969 die des Freiflächenversuchs 1965 gut vervollständigen, da sie den Gang der Differenzierung als Folge der verschiedenen Aufwuchsbedingungen bei den jungen Fichten gerade während der ersten Zeit deutlich machen.

5.12 Ergebnisse der Trockengewichtsbestimmungen in den Beschattungsversuchen

1. Beschattungsversuch 1967

1967 wurde die oberirdische Substanz der damals 1+1j. Fichten, 1968 die Gesamsubstanz der 1+2j. Fichten und 1969 die Gesamsubstanz der noch verbliebenen 1+3j. Fichten (Randpflanzen) geerntet. Hinsichtlich des Beerntungsschemas und aller sonstiger Angaben wird auf die Kap.2 und 4 verwiesen. Der folgenden Besprechung werden zunächst die Tabellen 20 und 21 mit den Signifikanz- und den Mittelwerten zugrundegelegt. Zusätzlich wurden die jährlichen Gewichtszunahmen aus den in den Tabellen 9 und 21 wiedergegebenen Werten errechnet und in Tab.22 zur weiteren Verdeutlichung der Reaktionen der jungen Fichten zusammengestellt.

Nach den in Tab.20 wiedergegebenen Testergebnissen können für die Trockengewichte zunächst einige generelle Zusammenhänge herausgestellt werden:

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	ALTER (age)	BESCHATTUNG (shading)		DÜNGG. (fertil.)		B * D (s * f)
	JAHRE (years)	UNGED. (unfert.)	GEDÜNGT (fertilized)	UNGED. (unf.)	GED. (fert.)	
GESAMT (total)	1+2	+++	+++	+++	+	++
	1+3	+++	+++	+++	-	++
NADELN (needles)	1+1	++	+++	+++	-	+
	1+2	+++	+++	+++	+	++
	1+3	+++	+++	+++	+	+
SPROSSE (shoots)	1+1	-	+++	+++	-	+
	1+2	++	+++	+++	-	++
	1+3	++	+++	+++	-	++
WURZELN (roots)	1+2	++	+++	+++	+++	-
	1+3	+++	+++	+++	-	+
1000 NADELN (1000-needles)	1+1	+++	++	+++	-	-
	1+2	+++	+++	+++	-	+++

Tab.20: Die Ergebnisse der Signifikanztests bei den Trockengewichten der zwei-bis vierjährigen Fichten im Beschattungsversuch 1967, nach den Aufnahmen von Okt.1967 bis Okt.1969.

Results of F-tests concerning the dry weights of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

- Die Beschattung hat die Trockengewichtsentwicklung bei den ungedüngten und den gedüngten Pflanzen sehr stark beeinflusst. Verschiedentlich lagen die F-Werte weit oberhalb der Signifikanzgrenze von $p \leq 0,001$. Bei den gedüngten Parzellen zeigte sich die Beschattungswirkung rascher und im weiteren Verlauf des Wachstums auch stärker als bei den Fichten der ungedüngten Parzellen. In beiden Fällen war sie aber gleichgerichtet und erschien deshalb im Gesamtversuch als das durchschlagende streuungsverursachende Moment.

- Demgegenüber ließ sich die Düngung fast niemals als unabhängiger Effekt nachweisen. Stets beeinträchtigt durch die Beschattung konnte sie daher nur in Wechselwirkung mit dieser nachgewiesen werden.

- Unterschiede zwischen den Wiederholungen, die auf uneinheitliche Standortbedingungen innerhalb der Versuchsanlagen hingewiesen hätten, waren nach den Testergebnissen ohne Ausnahme zufällig, also mit Sicherheit kein Störfaktor.

Das Gesamttrockengewicht (Tab.20 - 22)

Das Gesamttrockengewicht konnte erst nach Ablauf von zwei Vegetationszeiten ermittelt werden. Die Fichten hatten damals ein Gesamtalter von 3 Jahren. Zu diesem Zeitpunkt waren bereits sehr große Unterschiede als Folge der Beschattung entstanden.

- Mit zunehmender Beschattung nahm die Trockensubstanzerzeugung nahezu kontinuierlich ab und erreichte bei den am stärksten beschatteten Fichten (Besch.St.5) der ungedüngten Variante nur noch 10 % des Zuwachses der Pflanzen in den offenen Parzellen (Besch.St.1). Bei den gedüngten Fichten war diese Spanne zwischen den im "Hellen" und im "Dunkeln" aufgewachsenen Pflanzen noch größer. Die Leistung der beschatteten Pflanzen betrug nur noch 4 %.

Die Streuungen zwischen den Mittelwerten der Einzelparzellen jeder Beschattungsstufe waren trotz der Abstände zwischen den Extremen "volles Licht" und "stark beschattet" erheblich. So kommt es auch, daß sich im Bereich der mittleren Abschattungen die Mittelwerte bei den ungedüngten Varianten z.T. nicht gegeneinander absichern ließen. Die Abnahme der durchschnittlichen Substanzleistung mit zunehmender Beschattung ist aber trotzdem eindeutig. Bei den ungedüngten Beschattungsvarianten ist der Verlauf dieser Abnahme etwas dadurch gestört, daß der Wert der Beschattungsstufe 2 geringer als der der Besch.St.3 liegt. Unter Berücksichtigung der Streuungen der Mittelwerte jeder Einzelparzelle jedoch ist dieser Sachverhalt unwesentlich, da diese Abweichung noch im Bereich der zufälligen Variation liegt.

TROCKEN- GEWICHTE (dry weight)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)															DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilization)				
		UNGEDÜNT (unfertilized)					GEDÜNT (fertilized)														
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
GESAMT (total)	1+2	2017	1157	1247	903	337	5347	3437	2883	1697	347	3330***	2280***	1636***	794*	10-					
	1+3	5617	2874	3385	1678	582	15206	9278	7759	3546	570	9589***	6404***	4347***	1868-	-12-					
NADELN (needles)	1+1	194	146	139	121	89	405	253	219	184	89	211***	107**	80*	63*	0					
	1+2	790	443	470	347	153	1843	1217	1007	613	160	1053***	774***	537***	266*	7-					
	1+3	2090	1034	1289	673	255	5330	3296	3052	1316	251	3240***	2262***	1763**	643-	-4-					
SPROSSE (shoots)	1+1	99	81	79	68	46	312	186	163	129	52	213***	104**	84**	61*	6-					
	1+2	637	400	447	337	17	2433	1523	1267	720	123	1796***	1123***	820***	383*	6-					
	1+3	1864	1048	1250	629	215	6286	3953	3248	1482	215	4422***	2905***	1998***	853*	0					
WURZELN (roots)	1+2	590	310	330	220	67	1073	700	617	363	63	484***	390***	287**	143-	-4-					
	1+3	1663	794	839	376	112	3590	2030	1793	747	106	1927***	1236***	964**	371-	-6-					
1000 NADELN (1000 needles)	1+1	854	737	676	623	471	896	705	774	695	442	KEINE SIGNIF. DÜNGEWIRK. (norsignif.)									
	1+2	742	659	629	483	329	1706	824	680	519	333	364***	165***	51*	36-	4-					
	1+3	810	-	620	446	-	860	689	595	528	-	NICHT BERECHNET (not calculated)									

Tab.21: Die durchschnittlichen Trockengewichte (mg/Pfl) der 2- bis 4-j.Fichten im Beschattungsversuch 1967 nach den Herbstaufnahmen 1967-69

Mean dry weights (mg per plant) of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967 according to measurements at October 1967-69

Bei den gedüngten Varianten waren die Mittelwerte der einzelnen Beschattungsstufen wegen der größeren Amplitude der Extreme statistisch leichter zu trennen. Die Verringerung der Substanzleistung erfolgte hier im übrigen ganz kontinuierlich.

Ein Jahr später ließen sich bei den gedüngten vierjährigen Fichten - ebenso wie bei den ungedüngten - die mittleren Trockengewichte aus den einzelnen Beschattungsstufen 1969 etwas schlechter als im Vorjahr gegeneinander absichern. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich in der bereits vermuteten größeren Uneinheitlichkeit des Pflanzenmaterials.

Die Zuwachsgrößen aus beiden Aufnahmejahren haben bei den ungedüngten und den gedüngten Parzellen (Tab.22), entsprechend der Verstärkung der Beschattung eine klar gestufte Verringerung der Trockengewichte ergeben. Die prozentuale Zuwachsleistung scheint dabei mit zunehmendem Alter unter den Schattierungsvorrichtungen abzunehmen.

TROCKEN- GEWICHT (dry weight)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)															DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilization)										
		UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)																				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5											
GESAMT (total)	1+2	100	55	60	41	10	100	63	53	30	4	178	226	149	105	5											
	1+3	100	47	59	21	7	100	59	49	19	2	271	340	228	239	-9											
NADELN (needles)	1+1	100	60	54	39	12	100	54	44	33	4	177	151	125	137	0											
	1+2	100	50	56	38	11	100	67	55	30	5	141	225	138	90	11											
	1+3	100	45	63	25	8	100	60	59	20	3	168	252	150	116	-11											
SPROSSE (shoots)	1+1	100	75	72	57	26	100	56	46	36	9	296	194	162	149	32											
	1+2	100	59	68	50	13	100	63	52	28	3	294	319	200	120	0											
	1+3	100	53	65	22	8	100	63	51	15	2	214	275	147	120	-6											
WURZELN (roots)	1+2	100	49	52	32	4	100	64	56	31	2	89	147	101	82	-18											
	1+3	100	45	47	15	4	100	53	47	15	2	135	175	131	146	-4											

Tab.22: Jährlicher prozentualer Zuwachs an Trockenmasse (bezogen auf die offenen Parzellen = Besch.St.1) bei den 2- bis 4-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967 (hergeleitet aus den Tab.9 und 21 - Signifikanzen vgl.Tab.21)

Tab.22: Annual percentage of increment of dry weight (related to the open boxes = grade 1) of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

Es wäre nun jedoch sehr interessant gewesen, den Bereich zwischen den Beschattungsstufen 3 und 5 durch feinere Abstufungen noch weiter aufzufächern, um die relativ großen Abstände zwischen der Substanzproduktion der Fichten in den Beschattungsstufen 3, 4 und 5 feiner untergliedern zu können.

- Ebenso wie die gesamte Substanzerzeugung nahm auch der durch die Düngung verursachte Mehrzuwachs gleichmäßig mit der Beschattung ab und fiel bei der Besch.Stufe 5 auf den Wert 0. Bei den dreijährigen Fichten war er noch bei stärkerer Beschattung (Besch.Stufe 4) statistisch gesichert, bei den vierjährigen aus den schon erwähnten Gründen der Streuung des Zahlenmaterials allerdings nicht mehr.

Dies Ergebnis dürfte das wichtigste des ganzen Versuchs sein. Es besagt nämlich, daß die Verbesserung der Nährstoffversorgung von den jungen Fichten nur bei gleichzeitig ausreichender Helligkeit ausgenutzt werden kann. Gerät die verfügbare Lichtmenge jedoch in den Bereich des Minimums, so wird die assimilatorische Tätigkeit anscheinend derart gedrosselt, daß die Menge der bereits vorhandenen Nährstoffe den geringen Bedarf voll zu decken vermag und jede weitere Zufuhr folglich keine Ertragssteigerung mehr erbringen kann. Unter den gegebenen Verhältnissen lag die Grenze der nachweisbaren Ertragssteigerung nun im Bereich von 15-20 % der Außenhelligkeit (bezogen auf Kugelpyranometermessungen), bei Helligkeitsgraden also, bei denen eine stärkere Düngungswirkung eigentlich noch erwartet worden war.

Betrachtet man statt der absoluten Zuwachswerte die relative, durch die Düngung verursachte Steigerung der Substanzerzeu-

gung in jeder Beschattungsstufe, so zeigt sich, daß sie auch bei den tieferen Beschattungen noch überraschend hoch war und erst zwischen den Beschattungsstufen 4 und 5 offenbar abrupt auf den Wert 0 fiel.

Besonders im Hinblick auf die genaue Bestimmung der Lichtschwelle, bei der die Düngung noch nachweisbar ausgenutzt werden konnte, wäre ebenfalls die feinere Untergliederung der Abschattung zwischen den Beschattungsstufen 3 bis 5 wünschenswert gewesen.

Das Nadelrockengewicht (Tab.20 - 22)

Beim Nadel- wie beim Sproßrockengewicht stehen gegenüber dem Gesamtrockengewicht auch aus dem ersten Versuchsjahr 1967 Daten über die Zuwachsleistung zur Verfügung, so daß die Reaktion der Fichtensämlinge auf die Versuchsbedingungen hier noch differenzierter hergeleitet werden kann.

- Das gegenüber dem bisher Gesagten wichtigste Ergebnis ist die Feststellung, daß die Fichten sehr rasch auf die Beschattung und die Düngung reagierten. Bereits nach der ersten Vegetationszeit hatte sich eine klare und statistisch eindeutig zu gliedernde Staffelung der Mittelwerte entsprechend der Reihenfolge der Abschattungen ergeben. Die Zuwachswerte der Nadelrockensubstanz auf den dunkelsten Parzellen erreichten schon in dieser ersten Vegetationszeit nur noch 12 % bei den ungedüngten und 4 % bei den gedüngten Varianten und verringerten sich, prozentual gesehen, in den folgenden Vegetationszeiten nicht mehr allzu gravierend. Dieses Ergebnis ist m.E. bemerkenswert. Auch die Sämlinge der beschatteten Parzellen stammten ja aus einer Baumschule, waren also im Vorjahr frei aufgewachsen und hatten dementsprechend Reservestoffe einlagern können. Trotzdem ging davon keine stärkere Beeinflussung des Wachstums im Folgejahr aus.

- Ebenso rasch wie die Beschattungswirkung beeinflusste auch die Düngung schon im ersten Jahr die Substanzproduktion. Die prozentuale Mehrleistung veränderte sich in den beiden folgenden Vegetationszeiten zwar verschiedentlich, jedoch läßt sich kein Trend ablesen, demzufolge die Düngewirkung sich prozentual im weiteren Versuchsablauf generell verstärkte oder abschwächte.

Der durch die Düngung ausgelöste Mehrzuwachs konnte bereits nach der ersten Vegetationszeit bis einschließlich der Beschattungsstufe 4 abgesichert werden. Nach der 2. Vegetationszeit verbesserten sich die statistischen Aussagen noch. Die Uneinheitlichkeit des Randpflanzenmaterials erschwerte dann im dritten Jahr allerdings die Auswertung wieder etwas. Immerhin schienen, wenn man die Ergebnisse der beiden Vorjahre zum Vergleich nimmt, auch diesmal in Beschattungsstufe 4 die Düngung noch effektiv gewesen zu sein.

- Die Verwendung von 1-jährigen Sämlingen ebenso wie die durch Beschattung und Düngung veränderten Zuwachsraten bei der Nadelproduktion führten dazu, daß die Pflanzen in den verschiedenen Beschattungsstufen einen unterschiedlich großen Anteil der einzelnen Jahrgänge an der Gesamtnadelmasse aufwiesen. In Tab.23 sind zunächst die Prozentanteile aller 4 Nadeljahrgänge am Nadelgewicht der 4-jährigen Fichten zum Zeitpunkt der Aufnahme im Herbst 1969 angegeben. Dies Vorgehen erscheint möglich, da bis zum Alter 4 Jahre, soweit erkennbar, noch keine Nadeln abgestoßen wurden.

Bei den jungen Pflanzen vergrößerte sich die Nadelmasse von Jahr zu Jahr erheblich. Deshalb war der neue Nadeljahrgang prozentual stets stärker am Nadelgewicht beteiligt als die einzelnen vorangegangenen. Das zeigt sich auch am Anteil, den der letzte Jahrgang (1969) am Nadelgewicht der vierjährigen Fichten hatte. Während er aber nun bei den in Beschattungsstufe 1 aufgewachsenen Fichten rd. 2/3 ausmachte, fiel er mit zunehmender Beschattung auf rd. 2/5 bei den stark beschatteten Pflanzen. Demgegenüber nahm der Anteil der Nadelmasse

aus dem Sämlingsjahr, die die Pflanzen bei Versuchsbeginn gleichmäßig aufwiesen (vgl.Tab.23) prozentual bei den beschatteten Pflanzen erheblich zu. Die Nadeljahrgänge 1967 und 1968 hingegen zeigten keinen Trend einer prozentualen Zu- oder Abnahme mit zunehmender Beschattung bzw. als Folge der Düngung. Die Zahlenverhältnisse ändern sich hinsichtlich der daraus ableitbaren Schlußfolgerungen nicht sehr, wenn man nur die Nadelzuwachsmenge seit Versuchsbeginn berücksichtigt, das Nadelgewicht der Sämlinge also vernachlässigt.

NADEL- JAHRGANG	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)									
	UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1966	4	7	6	11	30	2	3	2	6	30
1967	6	7	5	7	5	6	5	5	8	6
1968	28	29	26	34	25	27	29	26	33	28
1969	62	57	63	48	40	65	63	67	53	36
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tab.23: Prozentualer Anteil der Jahrgänge am Nadelgesamtgewicht bei den 1+3j.Fichten des Beschattungsversuchs 1967 im Herbst 1969

Percentage of needle dry weight of each year of the 1 + 3 years old spruces in the shading experiment 1967, according to inventory of Oct.1969

Das Sproßtrockengewicht (Tab.20 - 22)

- Anders als beim Nadelzuwachs reagierten die ungedüngten Fichten beim Sproßwachstum anfangs sehr viel langsamer auf die Beschattung. Nach der ersten Vegetationszeit, legt man lediglich die Mittelwerte zugrunde, verringerte es sich allerdings schon deutlich mit zunehmender Beschattung. Trotzdem ließ sich die Beschattungswirkung in der statistischen Analyse nicht absichern.

Führt man - wider die allgemeine Konvention - trotz nicht signifikanten F-Tests jedoch einen DUNCAN-Test durch, so lassen sich immerhin die Extreme: "nicht, bzw. wenig beschattet" und "stärker beschattet" voneinander abgrenzen - ein Zeichen dafür, daß die Beschattung schon wirksam zu werden begann und

daß die errechneten F-Werte nur knapp unter der Signifikanzschwelle von $p = 0.05$ lagen.

Auch in den beiden folgenden Vegetationszeiten sprach das Sproßwachstum der ungedüngten Fichten nicht so stark auf die Beschattung an wie das der Nadeln. Nach der dritten Vegetationszeit 1969 stimmte dann allerdings der jährliche Zuwachs der verschiedenen Beschattungsstufen bezogen auf die offenen Parzellen gut mit dem der Nadeln überein.

- Bei den gedüngten Fichten war die Reaktion des Sproßwachstums auf die Beschattung wie bei den anderen Pflanzenteilen gleichfalls erheblich ausgeprägter als bei den ungedüngten, jedoch weniger prägnant als die des Nadelzuwachses. Bei den schwächeren Abschattungen (Besch.St.2 und 3) verringerte sich der jährliche Zuwachs verglichen mit dem der offenen Parzellen (Besch.St.1) im Verlauf der Versuchsjahre fast nicht, fiel aber bei der stärkeren Abschattung prozentual erheblich ab.

- Der durch die Düngung verursachte Zuwachs im Sproßtrockengewicht lag bereits im ersten Jahr erheblich höher als der der Nadeln. Das blieb auch so in den beiden Folgejahren. Das Sproßgewicht wurde also durch die Düngung, wie auch bei den Fichten des Freiflächenversuchs (vgl.Tab.19), am kräftigsten gefördert. Auf diese Zusammenhänge soll allerdings noch an anderer Stelle näher eingegangen werden (vgl. Kap.5.15).

Das Wurzeltrockengewicht (Tab.20 - 22)

- Am stärksten von allen hier besprochenen Pflanzenteilen wurde das Wurzelgewicht durch die Beschattung beeinflusst. Verglichen mit den entsprechenden Werten des Zuwachses bei Nadeln und Sprossen lag die Wurzel-Substanzproduktion bei allen Beschattungsstufen, wenn man sie zu den offenen Parzellen (Besch.St.1) in Beziehung setzt, meist etwas niedriger. Dies gilt gleichermaßen für die ungedüngten wie für die gedüngten Fichten. Bei den vierjährigen gedüngten Fichten betrug der Wurzelzuwachs 1969 in der Beschattungsstufe 5 nur noch 2 % von dem der Beschattungsstufe 1. Das aber ist die stärkste in diesem Versuchsprojekt verursachte Minderung der Zuwachseleistung als Folge von Beschattung.

- Sowohl absolut als auch relativ wurde das Wurzelwachstum außerdem am geringsten durch die Düngung gefördert. Weiterhin ließ sich die Mehrleistung durch die Düngung bei der Beschattungsstufe 3 bereits etwas weniger gut statistisch sichern als das bei den Nadeln und Sprossen der Fall gewesen war. Deshalb lag bei der Beschattungsstufe 4 dann auch der immerhin noch erhebliche Mehrzuwachs bereits im Rahmen der zufälligen Abweichungen.

Der Grund für dieses an sich unbefriedigende Ergebnis dürfte in der größeren Streuung im Material der Wurzelproben zu suchen sein. Wenn man an die Schwierigkeiten beim Ausheben der Pflanzen, allerdings gab es die nur bei den offenen Parzellen, und ihrer exakten Säuberung denkt, wird das verständlich. Wieweit hier also trotz der aufgewendeten Sorgfalt Fehlerquellen verborgen sind, läßt sich im Einzelnen nicht nachweisen. Wurzelverluste beim Ausheben auf den offenen Parzellen könnten nun, da diese ja für die Berechnungen die Bezugsbasis bildeten, die Prozentwerte höchstens erhöht haben, so daß sich der oben dargestellte Sachverhalt einer starken Verminderung des Wurzelzuwachses als Folge der Beschattung im Grundsatz nicht ändert.

Das 1000-Nadel-Gewicht (Tab.20 und 21).

Zur weiteren Kennzeichnung der Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Pflanzenteile erschien es sinnvoll, über das 1000-Nadelgewicht Vorstellungen von den Reaktionen der Pflanzen hinsichtlich der Ausprägung der einzelnen Nadeln zu erhalten. Ein Weg dazu war die Bestimmung ihres Gewichtes.

Der Arbeitsaufwand beim Bestimmen der 1000-Nadelgewichte führte zwangsläufig zur Einschränkung des wünschenswerten Umfangs der Erhebungen. Zwar ließ sich 1967 an den 1+1j. und 1968 an den 1+2j. Fichten eine vollständige Aufnahme ermöglichen, doch konnten die Proben nur als Mischung aus allen Nadeljahrgängen genommen werden. Eine sorgfältige Trennung aller Nadeln nach Jahrgängen wäre, wie bereits ausgeführt, unmöglich gewesen. Weiter wurde leider eine Bestimmung des 1000-Nadelgewichtes bei den einjährigen Fichtensämlingen, die die Ausgangssituation diesbezüglich charakterisiert hätte, versäumt. Bei den 1+3j. Fichten schließlich konnte die Zählung erst zwischen andere Arbeiten eingeschoben werden, als ein Teil des Nadelmaterials bereits für Nährstoffanalysen verwertet worden war. Deshalb ist die Zusammenstellung in diesem Punkt unvollständig.

- Bei den ungedüngten wie den gedüngten Fichten nahm das Gewicht der Einzelnadeln bereits nach der ersten Vegetationszeit mit zunehmender Beschattung deutlich ab. Die Reaktion war auch im nächsten Jahr schärfer als bei der gesamten Nadel-trockenmasse, jedenfalls ließen sich die Mittelwerte der einzelnen Beschattungsstufen stets besser gegeneinander ab-sichern, als die der Nadel-trockengewichte. Dieser Sachverhalt ist insofern bemerkenswert, als in den 1000-Nadelproben der einzelnen Beschattungsstufen ja ein unterschiedlich großer An-teil von ursprünglich nicht differenzierten Nadeln aus dem Sämlingsstadium enthalten war (vgl. Tab.23), die die Ergeb-nisse folglich unterschiedlich stark belasten mußten. Die Unterschiede im Gewicht der Einzelnadeln als Folge der Be-schattung sind also bei den unter den Versuchsbedingungen gebildeten Nadeljahrgängen offenbar noch viel stärker ge-wesen. Dieser Eindruck bestätigt sich, wenn man die Durch-schnittswerte des 1000-Nadelgewichts der folgenden Jahre von den in stärkerem Schatten erwachsenen Fichten heranzieht. So fiel nämlich das Gewicht der Nadeln mit zunehmendem Alter der Fichten anscheinend entsprechend dem prozentual sinkenden An-teil der Nadeln aus dem Sämlingsjahr.

Ein solcher Trend der Veränderung des Gewichts der Einzelnadeln mit zunehmendem Pflanzenalter konnte dagegen weder bei den im vollen Licht erwachsenen ungedüngten noch den gedüngten Fichten aus dem Zahlenmaterial herausgelesen werden. Es ist daher wahrscheinlich, daß sich die Gewichte der Einzelnadeln von Jahr zu Jahr bei gleichbleibenden ökologischen Be-dingungen nicht allzu rasch ändern.

- Im Gegensatz zu der starken Reaktion auf das unterschied-liche Lichtangebot war die Düngewirkung auf das Einzelnadelge-wicht nur mäßig: Nach dem ersten Versuchsjahr ließ sie sich gar nicht nachweisen, lag im zweiten Jahr weit unter den ent-sprechenden Werten der Steigerung bei Nadel-, Sproß- oder Wurzelgewichten und war nach der dritten Vegetationszeit - soweit das unvollständige Untersuchungsmaterial diesen Schluß zuläßt - abermals nicht nachweisbar.

- Aus den vorhandenen Werten: Nadelmasse je Einzelpflanze und 1000-Nadelgewicht läßt sich nun die durchschnittliche Nadelzahl je Pflanze berechnen (vgl.Tab.24).

NADEL- JAHRGANG (year of needle production)	MASS- EINHEIT unit	BESCHATTUNGSSTUFE (degree of shading)									
		UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1967		230	200	210	190	190	450	360	280	260	200
1968		1.065	670	750	720	470	1.670	1.480	1.480	1.180	480
1969		2.570	-	2.080	-	-	6.280	4.780	4.570	2.480	-
1967	%	100	87	91	85	83	100	79	62	58	44
1968	"	100	63	70	67	44	100	89	89	71	29
1969	"	100	-	81	-	-	100	76	73	39	-

Tab.24: Die durchschnittliche Nadelzahl bei den 2-bis 4-jährigen Fichten im Beschattungsversuch 1967

Mean number of needles of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

Hier zeigt sich nun, daß sich die Gesamtzahl der Nadeln je Pflanze mit zunehmender Beschattung weit weniger verminderte, als es nach der Abnahme der Nadel Trockengewichte zu erwarten gewesen wäre. Der Grund dafür liegt in der gleichgerichteten Abnahme des Gewichtes der Einzelnadeln. Außerdem ergibt sich, daß die Erhöhung des Nadel Trockengewichtes als Folge der Düngung in stärkerem Maße über eine Vermehrung der Nadelzahl als über eine Anhebung der Trockengewichte der einzelnen Nadeln erfolgt ist.

2. Beschattungsversuch 1969

Eine weitere und wesentliche Überprüfungsmöglichkeit der bisher dargestellten Ergebnisse boten die in der Versuchsanlage 1969 gewonnenen Trockengewichtsbestimmungen nach der allerdings kurzen Laufzeit des Versuchs von nur einer Vegetationszeit.

Die Einzelheiten der Versuchsanlage sind in Kap. 2.32 dargestellt. Trotzdem seien die wichtigsten - vorteilhaften - Unterschiede gegenüber dem ersten Beschattungskästenversuch kurz skizziert:

- Das in die Kästen eingefüllte Bodensubstrat war einheitlich und für die Pflanzenanzucht geeigneter als der ursprüngliche in der Versuchsanlage vorhandene Boden,
- die ausgeglichene Witterung des Jahres 1969 begünstigte das Wachstum der jungen Fichten offenbar gegenüber der des Jahres 1967 erheblich,
- die Beschattungsstufen schlossen jetzt auch eine "echte" Kontrolle (Besch.St.0) ein und gaben damit exakte Vergleichsmöglichkeiten zum Wachstum der Fichten in den Beschattungspartellen.

Die Ergebnisse der Trockengewichtsbestimmungen sind in den Tabellen 25 und 26 enthalten und zeigen folgende Reaktionen der zweijährigen Fichten auf die Versuchsbedingungen:

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	BESCHATTUNG (shading)		DÜNGG. (fertil.)	B x D (s x f)
	UNGED. (unfert.)	GEDÜNGT (fertilized)		
GESAMT (total)	+++	+++	+++	-
NADELN (needles)	+++	+++	+++	-
SPROSSE (shoots)	+++	+++	+++	-
WURZELN (roots)	+++	+++	+++	-

Tab. 25: Ergebnisse der Signifikanztests bei den Trockengewichten der 1+1j. Fichten im Beschattungsversuch 1969

Results of the F-tests at the dry weights of the 1+1 year old spruces in the shading experiment 1969

- Bei den ungedüngten und den gedüngten Fichten verursachte die Beschattung bereits im Verlaufe dieser einen Vegetationszeit höchstsignifikante Unterschiede und zwar bei allen Pflanzenteilen. Sogar die Sprosse, die im ersten Versuchsjahr des Beschattungsversuchs von 1967 keine statistisch nachweisbare Reaktion gezeigt hatten, wiesen in diesem Fall höchstgesicherte Unterschiede aus.

- Bereits der Seitenschirm aus den Schilfrohrmatten (Vergleich der Beschattungsstufen 0 und 1) führte zu einer erheblichen und statistisch signifikanten Wachsminderung um über 25 %.

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	BESCHATTUNGSTUFEN (degree of shading)																	
	UNGEDÜNGT (unfertil.)						GEDÜNGT (fertilized)						DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilization)					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
GESAMT (total)	1280	970	<u>546</u>	<u>520</u>	<u>377</u>	<u>167</u>	2004	1540	<u>730</u>	<u>643</u>	363	154	724***	570***	184**	123*	-74*	-13*
NADELN (needles)	520	400	<u>240</u>	<u>217</u>	<u>167</u>	<u>90</u>	857	650	<u>330</u>	<u>267</u>	<u>170</u>	<u>87</u>	337***	250***	90***	50*	3*	-3*
SPROSSE (shoots)	337	243	<u>143</u>	<u>133</u>	<u>100</u>	<u>40</u>	620	477	<u>230</u>	<u>193</u>	<u>100</u>	<u>37</u>	283***	233***	87***	60***	0	-3
WURZELN (roots)	423	327	<u>163</u>	<u>170</u>	<u>110</u>	<u>37</u>	527	413	<u>170</u>	<u>183</u>	<u>93</u>	<u>30</u>	103***	87**	7*	13*	-17*	-7*

Tab.26: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die durchschnittliche Trockensubstanzerzeugung (mg/Pfl) der 1+1j. Fichten im Beschattungsversuch 1969 nach 1 Vegetationsperiode

Effects of shading and fertilization on the mean dry weight production (mg per plant) of the 1+1 year old spruces in the shading experiment 1969 after 1 vegetation period

- Wie beim Versuch 1967 lagen die Unterschiede zwischen den Wuchsleistungen der Fichten in den Beschattungsstufen 2 und 3 im Bereich der zufälligen Streuung, obwohl die Absenkung der Strahlungsintensität (von ca.44 auf 25 %) nicht unwesentlich erschien.

- Am stärksten war wiederum die Beschattungswirkung auf die Wurzeln. Die im tiefen Schatten gezogenen Fichten wiesen sogar geringfügig niedrigere Trockengewichte auf als die im Frühjahr repräsentativ entnommenen Probepflanzen.

Diese Verminderung kann noch im Fehlerahmen liegen, sie kann aber auch die folgenden Beobachtungen bestätigen: LYR, HOFFMANN und ENGEL (1965), stellten bei ihren Beschattungsversuchen ebenfalls ein Absinken der Wurzelgewichte bei stärkster Beschattung unter das Ausgangsgewicht fest und führten es auf ein Absterben und auf mikrobiellen Abbau eines Teiles der Wurzeln zurück.

- Wie bei den 1967er Werten ließ sich die gleichmäßige Verminderung der Mittelwerte mit zunehmender Beschattung bei den gedüngten Varianten etwas besser als bei den ungedüngten absichern.

- Die Mehrleistung durch Düngung lag absolut gesehen etwa in derselben Größenordnung wie beim Beschattungsversuch 1967. Wegen der 1969 jedoch ungleich höheren Wuchsleistung der ungedüngten Fichten mußten die Relativwerte als sehr viel niedrigere prozentuale Mehrleistung gegenüber 1967 erscheinen (Tab.27). Bei den Wurzeln war die gleiche starke Beeinflussung der Düngewirkung durch die Beschattung wie bei den Nadeln und Sprossen erkennbar. Von der Düngung hatten sie insgesamt aber erst so wenig profitiert, daß sich hieraus keine Signifikanz ableiten ließ.

TROCKENGEWICHT (dry weights)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)																	
	UNGEDÜNGT (unfertilized)						GEDÜNGT (fertilized)						DIFF. DURCH DÜNGUNG (diff. caused by fertilization)					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
GESAMT (total)	138	100	49	45	28	3	133	100	42	36	16	0,6	64	69	46	33	()	()
NADELN (needles)	137	100	51	44	29	5	136	100	45	34	17	2	75	76	54	35	3	()
SPROSS (shoots)	144	100	54	49	34	6	141	100	48	40	17	2	91	108	75	57	0	()
WURZELN (roots)	134	100	42	44	23	-2	131	100	34	38	13	-4	28	30	6	10	()	()

Tab.27: Prozentualer Trockengewichtszuwachs bei den 1+1j.

Fichten nach 1 Vegetationszeit (bezogen auf die offenen Parzellen mit Seitenlichtabschattung =Besch.St.1) im Beschattungsversuch 1969

Percental increment of dry weight of the 1+1 year old spruces after 1 vegetation period in the shading experiment 1969 (related to the open boxes with side-mats = shading degree 1)

- Entgegen den Ergebnissen aus dem Beschattungsversuch 1967 wirkte sich die Düngung bei der Beschattungsstufe 3 deutlich schwächer und bei Beschattungsstufe 4 überhaupt nicht mehr aus. Eine Erklärung für die auch in diesem Punkt nachweisbar geringere Wirksamkeit der Düngung läßt sich jedoch aus den Versuchsunterlagen nicht herleiten.

3. Vergleich der Trockensubstanzleistung in den beiden Beschattungsversuchen

Bei der Einzeldarstellung der Versuchsergebnisse des Merkmals Trockengewicht in den beiden Beschattungsversuchen wurden be-

reits einige Vergleiche vorgenommen. Es erscheint aber doch sinnvoll, dies noch einmal zusammenfassend zu tun,

In beiden Versuchen wurde die oberirdische Substanzleistung nach der ersten Vegetationszeit bestimmt, sie kann deshalb als einheitliches Vergleichsmerkmal herangezogen werden. Da das Ausgangsgewicht der Pflanzen zu Versuchsbeginn bekannt ist (vgl.Tab.9), läßt sich weiterhin der Zuwachs bestimmen, der zweckmäßigerweise, wiederum aus Vergleichsgründen, denn 1967 fehlte ja die "echte" Kontrolle, auf die Werte der Beschattungsstufe 1 bezogen wird.

In Tab.28 sind die Ergebnisse der Signifikanztests und die Zuwachswerte als absolute und prozentuale Größen eingetragen.

BESCHATTUNGS- VERSUCH (shad. exper.)	BESCHATTUNG (shading)		DÜNGE (fertiliz.)		B x D (s · f)
	UNGED. (unfert.)	GEDÜNGT (fertiliz.)	UNG U GED. (unf. + fertil.)		
1967	+	+++	+++	-	+
1969	+++	+++	+++	-	+++

BESCHATTUNGSVERSUCH (shading experiment)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)																	
	UNGEDÜNGT(unfertilized)						GEDÜNGT (fertilized)						DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilizator)					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
1967	-	197	125	106	87	33	-	615	337	280	271	39	-	424	212	164	124	6
1969	757	543	283	250	167	30	1377	1027	460	360	170	23	620	483	177	110	3	7
1967	-	100	65	55	46	17	-	100	55	46	34	6	-	222	170	155	143	18
1969	139	100	52	46	31	6	134	100	45	35	17	2	82	89	63	44	18	23

Tab.28: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf den durchschnittlichen absoluten und prozentualen Zuwachs an oberirdischer Trockensubstanz (Nadeln + Sprosse) der 1+1j. Fichten in den Beschattungsversuchen 1967 und 1969 nach jeweils einem Beobachtungsjahr

Effects of shading and fertilization on the mean absolute and percental increment of above ground dry weight (needles and shoots) of the 1+1 year old spruces in the shading experiments 1967 and 1969 after 1 vegetation period each.

Die 1967 und 1969 verwendeten Sämlinge waren weitestgehend vergleichbar (vgl. Tab.9). Das betrifft einerseits den Einfluß von Reservestoffen aus dem Vorjahr auf das Wachstum im Folgejahr, in dem die Pflanzen dann den Versuchsbedingungen ausgesetzt wurden. Das betrifft andererseits aber auch die gleichartige Behandlung der jungen Fichten vom Zeitpunkt des Aushebens der Sämlinge aus dem Saatbeet an. Sie entstammten außerdem demselben Herkunftsgebiet.

Die Unterschiede der mit 2-Jahres-Abstand in den beiden Versuchsanlagen ermittelten Zuwachswerte sind deshalb sowohl als Reaktion dieser Pflanzen auf die jeweiligen Witterungsverhältnisse, wie auch als Folge, jedenfalls bei den Fichten des Beschattungsversuchs 1969, des dort verwendeten günstigen Bodensubstrates zu verstehen.

Im Einzelnen sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- Die Beschattung wirkte eindeutig und stark auf das Wachstum der Fichten in den Versuchen von 1967 und 1969. Die Reaktion der Pflanzen erfolgte außerdem rasch. Die Reservestoffe aus dem Vorjahr haben bei diesen kleinen Pflanzen für die Zuwachsleistung im ersten Versuchsjahr offenbar keine oder nur eine untergeordnete Rolle gespielt, jedenfalls legt der geringe Zuwachs der Fichten aus der Beschattungsstufe 5 diesen Schluß nahe.
- Die Größenordnung der Zuwächse variierte zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren erheblich. Die Ursache dafür war anscheinend sowohl das unterschiedliche Bodensubstrat wie die Witterung innerhalb der jeweiligen Vegetationszeiten. Bei den ungedüngten Fichten der Beschattungsstufe 1 lag nämlich 1969 der Zuwachs um rd. 180 % höher als der der Fichten in der Beschattungsanlage 1967.
- Die besseren Boden- und Witterungsbedingungen führten dazu, daß die ungedüngten Fichten 1969 etwa denselben Zuwachs leisteten, wie die gedüngten Fichten 1967 und zwar in allen Beschattungsstufen. Dementsprechend stimmten ihre prozentualen Zuwachsmengen in den verschiedenen Beschattungsstufen weitgehend mit diesen überein. Dasselbe gilt für die Signifikanzen (Tab.28).

Die gedüngten Fichten hatten 1967 also noch keineswegs den

maximal möglichen Zuwachs erreicht, da 1969 eine weitere beträchtliche Wuchssteigerung durch Düngung erreicht wurde. Allerdings bestand insofern ein gewisser Unterschied zwischen den Wertepaaren beider Jahre, als die Düngewirkung mit zunehmender Beschattung 1969 rascher abfiel als 1967. Wie bereits erwähnt, trat 1967 bei der Beschattungsstufe 4 noch eine gesicherte Mehrleistung durch Düngung ein, 1969 jedoch nicht. Diese nicht ganz einheitliche Wirkung der Düngung spiegelt sich außerdem in den hinsichtlich der Wechselwirkungen errechneten Signifikanzen. 1967 ließ sich die Düngung als Einzelfaktor fast, die Wechselwirkung gerade eben absichern, 1969 die Düngung überhaupt nicht mehr, die Wechselwirkung aber mit mehr als 0.1 % Irrtumswahrscheinlichkeit.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden: Die Wiederholung des Beschattungsversuchs unter anderen Witterungsbedingungen und auf unterschiedlichen Bodensubstraten erhärtete die grundsätzlichen Feststellungen über die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die jungen Fichten. Zugleich ermöglichte die Wiederholung auch, die Amplitude dieser Reaktionen bei jeweils abgewandelten ökologischen Bedingungen abzuschätzen und damit die Ergebnisse der einzelnen Versuchsanlagen etwas zu relativieren.

5.13 Vergleich der Trockensubstanzerzeugung in den Freiflächen- und Beschattungsversuchen

Die im vorigen Abschnitt dargestellten Unterschiede in der oberirdischen Trockensubstanzerzeugung lassen den Einfluß der Witterung in den einzelnen Vegetationszeiten auf das Wachstumsverhalten der jungen Fichten erkennen. Deshalb ist das Unterfangen, in verschiedenen Jahren gewonnenes Zahlenmaterial unter dem Gesichtspunkt des Vergleichs von unter Freiflächen- und experimentell veränderten Bedingungen erhobenen Daten miteinander in Beziehung setzen zu wollen, etwas problematisch. Dies gilt jedenfalls für einen Vergleich der Meßwerte aus dem Freiflächenversuch 1965 mit denen des Beschattungsversuchs 1967.

Es kommt hinzu, daß sich die Düngergaben in diesen beiden Versuchen nicht exakt entsprachen (vgl. S. 28).

Diese Bedenken gelten nicht für die Gegenüberstellung der entsprechenden Trockengewichte aus dem kombinierten Freiflächen- und Beschattungsversuch 1969, der eigens für diesen Zweck angelegt wurde. Leider stand diese Anlage aber nur für den sehr begrenzten Zeitraum von einer Vegetationszeit zur Verfügung. Daher bleibt ihre Aussage zwangsläufig ebenfalls etwas eingeschränkt.

Um trotzdem einen Überblick über die Gesamtsituation zu erhalten, wurden in Abb.12 die Zuwachsleistungen der oberirdischen Trockensubstanz von den genannten Versuchseinheiten dargestellt. Zugrundegelegt wurden dabei die in den Tabellen 18, 21 und 26 getrennt für die Nadel- und Sproßgewichtserzeugung angegebenen Werte.

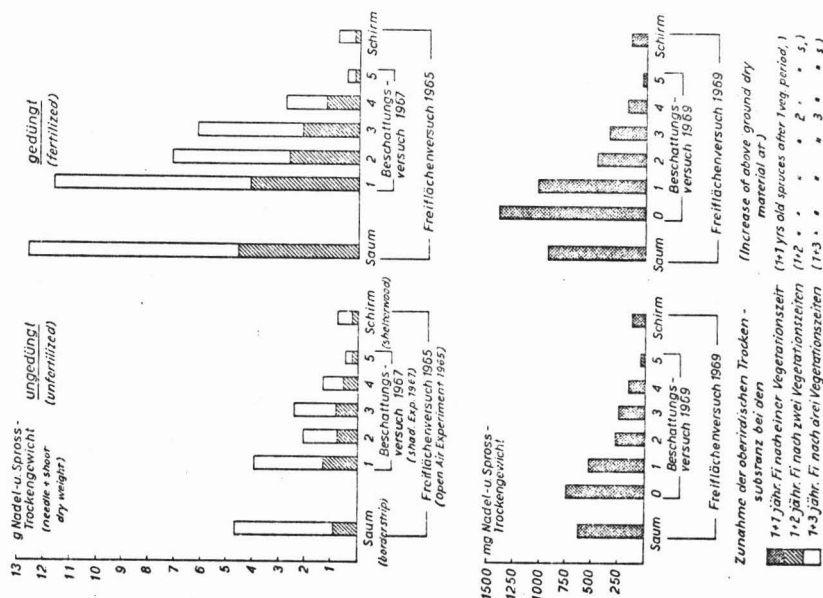


Abb. 12: Oberirdische Substanzproduktion der Fichten in den Freiflächen- und Beschattungsversuchen

Production of above ground dry matter of the spruces in the open air- and the shading experiments

Wie im vorigen Abschnitt wurden die Zuwachswerte an oberirdischer Trockenmasse errechnet.

1. Zunächst sollen die Ergebnisse der Versuchsanlage von 1969 besprochen werden:

.1 Vergleich auf den ungedüngten Parzellen

- Die oberirdischen Trockengewichte der Fichten auf der Saumfläche ordnen sich etwa in die Mitte zwischen die der Beschattungsstufen 0 und 1.

Diese auf dem Saum und stärker noch in Beschattungsstufe 1 gegenüber der Freifläche (Besch.Stufe 0) verminderte Wachstumsleistung läßt sich an Hand der Ergebnisse der Lichtmessungen mit den Bellani-Kugelpyranometern nicht erklären. Denn die mit ihnen festgestellte Reduktion der Einstrahlung lag ja lediglich im Bereich des Meßfehlers (vgl. Tab.11).

Wie schon erörtert, könnte die Einstrahlung bei Beschattungsstufe 1 allerdings wegen des gerätebedingten Abstandes zwischen der eigentlichen Meßstelle und dem Assimilationsraum der jungen Fichten in Wirklichkeit aber geringer gewesen sein. Für die Saumfläche jedoch ist eine solche aus der Meßtechnik erklärbare Unstimmigkeit nicht aufzeigbar.

Weitere nur schwer interpretierbare Abweichungen zwischen den Ergebnissen der beiden Versuchsanlagen ergaben sich dadurch, daß die Substanzproduktion der einzelnen Pflanzenteile Nadeln, Sproß und Wurzel unterschiedliche Reaktionen der Pflanzen erkennen läßt: Während sowohl die Nadel-, wie die Sproßgewichte der Fichten auf der Saumfläche fast genau in der Mitte zwischen den Werten der Beschattungsstufe 0 und 1 lagen, entsprachen die Wurzelgewichte der Saumpflanzen denen der Beschattungsstufe 1.

Wegen der Lichtmeßprobleme läßt sich nicht beurteilen, ob die Verminderung der Wachstumsleistung der Saumpflanzen auf die Reduktion der Sonneneinstrahlung in den späten Nachmittagsstunden (durch das im Westen vorgelagerte Fichten-Altholz) zurückzuführen ist oder ob sie durch Veränderungen bei anderen ökologischen Faktoren verursacht wurde. Man könnte daran denken,

daß die stärkere Windbewegung auf dem Saum oftmals niedrigere Luftfeuchtigkeiten (vgl. Abb.9) zur Folge hatte, die wiederum die Assimilationsleistung benachteiligte. Die überproportional starke Verminderung der Wurzelgewichte legt aber den Schluß nahe, daß die Lichtreduktion auf dem Saum der entscheidende Faktor war.

- Auf der Schirmfläche lagen die oberirdischen Trockengewichte der ungedüngten Fichten um rd. $1/3$ unter denen der Beschattungsstufe 4. Diese Minderleistung läßt sich an Hand der Lichtmeßwerte ebenfalls nicht schlüssig erklären. 1969 waren die in Besch.St.4 gemessenen Werte der Globalstrahlung deutlich niedriger als die unter dem Altholzschirm gemessenen Werte. Aus diesem Grunde wäre also eine höhere Wuchsleistung auf der Schirmfläche als in Beschattungsstufe 4 zu erwarten gewesen. Diese Abweichung ist aber etwas zu groß, als daß man sie als im Bereich des Versuchsfehlers liegend akzeptieren könnte. Deshalb bleiben die ungünstigeren Luftfeuchtigkeitsverhältnisse am Boden des Altholzes gegenüber den Beschattungskästen wiederum die plausibelste Erklärung für die geringere Wuchsleistung der Fichten auf der Schirmfläche gegenüber denen in den Beschattungskästen.

.2 Vergleich auf den gedüngten Parzellen

- Bei den gedüngten Parzellen ergaben sich gegenüber den ungedüngten Fichten noch zusätzlich abweichende Zuordnungsverhältnisse. So lagen die Werte der Saumfläche noch unter denen der Beschattungsstufe 1, d.h. also, daß die Düngewirkung auf dem Saum weniger stark als im Beschattungsversuch war. Hierfür können weder die Faktoren: Licht, Bodensubstrat noch Konkurrenz durch Unkraut verantwortlich gemacht werden. Es bleibt abermals nur zu vermuten, daß die auf dem Saum ungünstigeren Luftfeuchtigkeits- und Windverhältnisse die Assimilation und damit die Ausnutzung der verbesserten Nährstoffversorgung weniger begünstigten als in der Beschattungsanlage. Dieser Deutungsversuch findet eine gewisse Rechtfertigung darin, daß im Gegensatz zu den Nadel- und Sproßgewichten die Wurzelgewichte der gedüngten Saumpflanzen knapp oberhalb der Besch.Stufe 1

lagen, also den Ergebnissen der ungedüngten Parzellen entsprachen. Man kann hierin eine Bestätigung der bekannten Tatsache sehen, daß das Wurzelwachstum bei sonst gleichen Bodenverhältnissen hauptsächlich von den Lichtverhältnissen beeinflusst wird, während die oberirdische Substanzproduktion in stärkerem Maße auch von anderen ökologischen Bedingungen bestimmt wird.

- Die oberirdische Substanzleistung der Fichten auf der Schirmfläche entsprach nahezu der der Fichten in Beschattungsstufe 4, war also besser als die der ungedüngten Fichten. Bei den Wurzelgewichten galt dasselbe. Diese zwischen den ungedüngten und den gedüngten Fichten jedoch nicht erheblichen Abweichungen könnten noch im Bereich des Meßfehlers liegen, so daß sich eine weitere Erörterung erübrigt.

2. Vergleich der jeweils gleichalten Fichten aus dem Freiflächenversuch 1965 und denen des Beschattungsversuchs 1967

- Die oberirdische Substanzproduktion der Fichten auf der Saumfläche zeigte bei den 1+2j. Fichten der ungedüngten und gedüngten Parzellen des Freiflächenversuchs 1965 gegenüber den 1+2j. Fichten des Beschattungsversuchs 1967 das umgekehrte Verhältnis, wie es bei den Fichten des kombinierten Freiflächen- und Beschattungsversuchs 1969 ermittelt worden war. Die ungedüngten Fichten erzeugten also auf dem Saum weniger, die gedüngten mehr oberirdische Trockensubstanz als die der Beschattungsstufe 1. Im folgenden Jahr allerdings lagen die Werte der Saumfichten bei den ungedüngten wie den gedüngten Varianten höher als die in Beschattungsstufe 1 festgestellten.

Die Minderleistung der ungedüngten Saumpflanzen 1965/66 gegenüber der der ungedüngten Fichten der Stufe 1 im Beschattungsversuch 1967/68 erklärt sich ohne Schwierigkeiten aus der ungünstigeren Witterungslage in den beiden erstgenannten Vegetationszeiten.

Eine indirekte Bestätigung dieser Feststellung kann man außerdem darin sehen, daß die Standortbedingungen im Beschattungsversuch 1967 schlechter gewesen sind als im Freiflächenversuch

1965. Die Bodengüte hätte also - wenn überhaupt - die Wachstumsleistungen nur in der entgegengesetzten Richtung beeinflussen können.

Gegenüber den 1969 beobachteten Reaktionen der Fichten auf die Düngungsgabe verwundert es zu sehen, daß die gedüngten Fichten der Saumparzellen im Zeitraum 1965/66 bessere Leistungen erzielten als die gedüngten Fichten der Beschattungsstufe 1 in den Vegetationszeiten 1967/68. Die Saumfichten hatten mithin trotz klimatisch schlechterer Bedingungen die Düngungsgabe besser ausgenutzt als die Fichten des Düngungsversuchs 1969.

Wiederum eine indirekte Bestätigung dieser Schlußfolgerung kann darin gesehen werden, daß wegen der im Beschattungsversuch 1967 gegenüber der im Freiflächenversuch 1965 versehentlich um 10 % erhöhten Düngergabe eine Mehrleistung hätte eintreten müssen. Tatsächlich jedoch wurde eine Minderleistung festgestellt.

Nach einer weiteren Vegetationszeit zeigten die Fichten der Saumfläche (Freiflächenversuch 1965), jetzt 1+3jährig, sowohl bei den ungedüngten wie den gedüngten Varianten eine deutliche Überlegenheit gegenüber den Fichten der Beschattungsstufe 1 (Beschattungsversuch 1967). Während nun die unterschiedlichen Reaktionen der Fichten auf den ungedüngten Parzellen der beiden Versuchseinheiten ganz allgemein durch die abweichende Witterung verständlich gemacht werden können, bleibt die nicht übereinstimmende Reaktionsnorm der gedüngten Fichten nicht erklärbar. Wahrscheinlich wird man diese Art Widersprüche nur unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus oder Phytotron auflösen können. Damit liegt die Berechtigung für diese ausführlich dargestellte Gegenüberstellung also darin, daß diese Ungereimtheiten der Düngewirkung aufgezeigt werden und daß versucht werden müßte, sie in neuen Versuchsanlagen zu klären.

- Die oberirdische Substanzleistung der ungedüngten und der gedüngten Fichten auf der Schirmfläche lag bei den dreijährigen fast so niedrig wie das der Fichten von Beschattungsstufe 5. Hierin kann eine Bestätigung der Feststellung gesehen werden, daß die ungünstigeren Witterungsbedingungen erheblich günsti-

gere Belichtungsverhältnisse unwirksam werden ließen. Bei den vierjährigen Fichten erhöhte sich dann wiederum auf Grund besserer Witterungsverhältnisse die Wuchsleistung auf den Schirmparzellen gegenüber denen der dunkelsten Beschattungsstufe (Nr.5).

Abschließend kann deshalb festgestellt werden, daß die Aussagen aus den beiden Gegenüberstellungen: Freiflächenversuch 1965 zu Beschattungsversuch 1967 und Freiflächenversuch 1969 zu Beschattungsversuch 1969 sich hinsichtlich der Werte von der Schirmfläche in der Tendenz gleichen und die Wuchsleistung der jungen Fichten auf der Schirmfläche etwas geringer war als unter den Bedingungen im Beschattungsversuch bei Zugrundelegung derselben Lichtintensität.

5.14 Das Verhältnis der Trockensubstanzerzeugung zur Lichtintensität

Die in den Freiflächen- und Beschattungsversuchen gewonnenen Ergebnisse waren bisher mehr unter dem Gesichtspunkt der grundsätzlichen Reaktionsweise der jungen Fichten auf die Veränderung der ökologischen Bedingungen abgehandelt worden. Wegen der Hinzufügung der statistischen Signifikanzgrenzen zwischen den einzelnen Mittelwerten mußten sie statt in anschaulicheren Graphiken tabellarisch zusammengefaßt werden. Die graphische Darstellung einzelner Trockengewichtskriterien, bezogen auf die in den Versuchsanlagen gemessene Lichtintensität, gibt jedoch erst einen richtigen Eindruck von dem Maß der Trockengewichtsverminderung mit abnehmender Lichtintensität. Im Folgenden sollen daher einige Ansätze hierzu zunächst an Hand der in den beiden Beschattungsversuchen 1967 und 1969 ermittelten Trockengewichtsleistungen und der gemessenen Lichtwerte erörtert werden.

Das umfangreichste Zahlenmaterial liegt für die oberirdische Substanzproduktion (Nadel- und Sproßgewichte) aus dem Beschattungsversuch 1967 vor, nämlich für die 3 Vegetationszeiten 1967, 68 und 69. Als brauchbare Bezugsbasis für die Lichtver-

hältnisse in den einzelnen Beschattungsstufen können, wie im vorigen Kapitel erörtert, nur die Meßergebnisse mit den Bellani-Kugelpyranometern also Werte der Globalstrahlung herangezogen werden. In Abb. 13 finden sich die oberirdischen Trockensubstanzmengen der gedüngten Fichten aufgetragen über den 1968 gemessenen prozentualen Globalstrahlungsmengen, die auf die Meßergebnisse aus Beschattungsstufe 1 bezogen wurden.

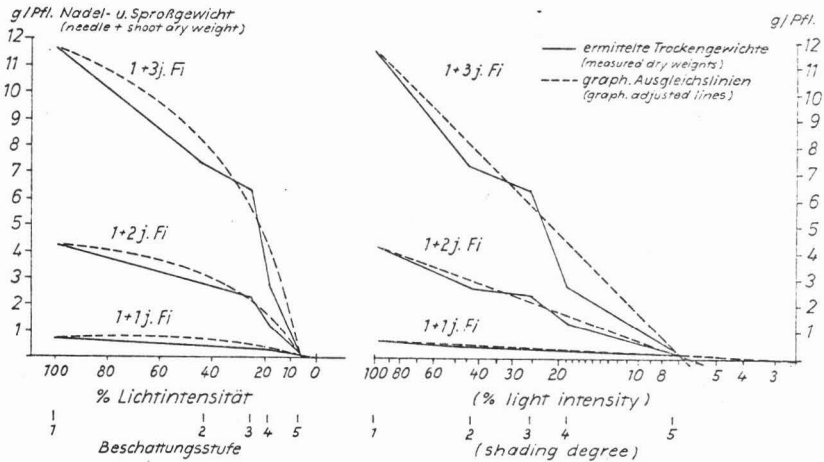


Abb. 13: Die Verringerung der oberirdischen Trockensubstanzgewichte mit abnehmender Lichtintensität, dargestellt mit linearem und halblogarithmischem Maßstab am Beispiel der gedüngten Fichten aus dem Beschattungsversuch 1967

Reduction of above ground dry matter related to decreasing light intensity, delineated in linear and semi-logarithmic scale with fertilized spruces in the shading experiment 1967

- Es zeigt sich, daß bei den ungedüngten, wie den gedüngten Pflanzen der Zuwachs an oberirdischer Trockensubstanz mit zunehmender Beschattung zunächst fast linear abnahm, bei stärker werdender Beschattung sich aber dann weit überproportional ver-

minderte und im Kompensationspunkt von Assimilation und Atmung auf Null fiel.

Die Form dieser in Abb.13 dargestellten Wachstumskurven ließ vermuten, daß die Verminderung der Trockensubstanzerzeugung mit der Abnahme der Lichtintensität in einem logarithmischen Zusammenhang stand. Die Darstellung der oberirdischen Trockengewichte über dem Logarithmus der Lichtintensität ergab Kurvenbilder, die diese Vermutung als offenbar richtig erscheinen lassen. Jedenfalls folgen die Kurvenverläufe ungefähr den eingezeichneten Ausgleichsgeraden.

Diese Ausgleichsgeraden wurden allerdings willkürlich gezogen und sind nur als Orientierungshilfe gedacht. Für ihre rechnerische Herleitung wären, wie gesagt, sehr viel umfangreichere Lichtmessungen - und zwar gleichzeitig in allen Wiederholungen - nötig gewesen.

- Als Material wurden die gedüngten Pflanzen des Beschattungsversuchs deshalb herangezogen, weil sie die klarsten Unterschiede zwischen den Beschattungsstufen ergeben hatten. Derselbe Zusammenhang gilt anscheinend ebenso für die ungedüngten Pflanzen, nur daß die Ausgleichsgeraden dann flacher verlaufen.

Schwierigkeiten bereitete allerdings die verlässliche Bestimmung der mittleren Lichtintensität in jeder einzelnen Beschattungsstufe. Sie lagen in der genauen Herleitung der mittleren Lichtintensität während der einzelnen Vegetationszeiten, der begrenzten und daher nicht unbedingt repräsentativen Zahl von Messungen in jeder Beschattungsstufe und der unterschiedlichen Bezugsbasis (1968 Beschattungsstufe 1 = 100 %, 1969 Beschattungsstufe 0 = 100 %). Die Herleitung von Mittelwerten für die beiden Vegetationszeiten 1968 und 1969 ist in der Abb.7 belegt und in Kap. 3.22 begründet.

Bei Vornahme entsprechender Korrekturen würden sich die in Abb.13 dargestellten Trockengewichtskurven wohl noch besser der Ausgleichsgeraden annähern lassen. In der wiedergegebenen Graphik wurde allerdings auf alle Korrekturen verzichtet.

- In der Abb.13 wurden die graphischen Ausgleichslinien außerdem über den Wert der Beschattungsstufe 5 hinweg bis zum Kompensationspunkt von Atmung und Assimilation verlängert. Sie schneiden die Abszisse an verschiedenen Stellen. Wenn nun

die Trockengewichtszunahme tatsächlich mit dem Logarithmus der Lichtintensität abnimmt und die graphische Extrapolation mithin zulässig ist, würde der Kompensationspunkt bei den gedüngten 1+1j. Fichten bei einer Lichtintensität von 3,5 % des "Freiflächen"-Lichtes, bei den 1+2j. Fichten bei 6 %, bei den 1+3j. Fichten bei 6,5 % gelegen haben. Das heißt also, daß dieser Kompensationspunkt altersabhängig ist und die Pflanzen mit steigendem Alter einen höheren Lichtbedarf haben. Diese Zusammenhänge sind in der Praxis grundsätzlich bekannt und in der Literatur oftmals aufgeführt (z.B. NEUWIRTH, 1965), sie scheinen hier also eine weitere Bestätigung zu erfahren.

- Weniger gut paßt aber die graphische Darstellung der im Beschattungsversuch 1969 gewonnenen Werte in dieses Bild. Der nur mit 1 % gemessene Unterschied zwischen den Strahlungsintensitäten der Beschattungsstufen 0 (=100 %) und 1 findet nicht seine Entsprechung in einer ähnlich geringen Abnahme der Trockensubstanz. Vielmehr hatten sich sehr erhebliche und statistisch gesicherte Unterschiede ausgebildet, die bereits auf S.102 erörtert worden waren. Nimmt man aber wieder wie beim Beschattungsversuch 1967 die offenen Mattenhütten (Beschattungsstufe 1) als Bezugsbasis für die Strahlungsmessungen und läßt die Werte der Beschattungsstufe 0 völlig unberücksichtigt, so weichen auch die über dem Logarithmus der Strahlungsintensität aufgetragenen Trockengewichte der 1+1j. Fichten nicht mehr allzu stark von einer Geraden ab.

5.15 Die Abhängigkeit des Aufbaus der jungen Fichten von Beschattung und Düngung

Wie bereits ausgeführt, verringern junge Pflanzen, die unter Beschattungsdruck stehen, ihre unterirdische Substanzproduktion im Verhältnis zur oberirdischen überproportional. Solche Pflanzen weisen also gegenüber im Freiland erwachsenen ein anderes Verhältnis ihrer einzelnen Pflanzenteile innerhalb des Gesamtgewichts auf. Sie sind also, wenn man gleich schwere Pflanzen miteinander vergleicht, unterschiedlich aufgebaut.

Das vorliegende detaillierte Material und die Beeinflussung der Beschattungswirkung durch die zusätzliche Düngungsvariante rechtfertigt m.E., etwas genauer auf die Veränderungen des Aufbaus der jungen Fichten als Folge der im Versuch veränderten Umweltbedingungen einzugehen.

Als besonders informativ wird im Allgemeinen das Gewichtsverhältnis von der unterirdischen zur oberirdischen Trockensubstanz, kurz das Wurzel:Sprossverhältnis angesehen. (Als "Sprosse" werden in diesem Falle, abweichend von der sonst üblichen und auch in dieser Arbeit angehaltenen Nomenklatur, die gesamten oberirdischen Pflanzenteile, also einschließlich der Nadeln, bezeichnet).

Geeigneter aber noch für Aussagen über die Veränderungen des Aufbaus der jungen Pflanzen ist m.E. der Prozentsatz der Nadel-, Spross- und Wurzelgewichte am Gesamttrockengewicht. Diese Relationen werden deshalb den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt.

Alle diesbezüglichen Relativwerte konnten wiederum für jede Parzelle einzeln bestimmt und mithin nach dem bisherigen Schema mathematisch-statistisch berechnet und dargestellt werden. Die Ergebnisse dieser Analysen sind abermals in zwei Tabellen 29 und 30 zusammengefaßt worden.

ANTEILE (%) DER PFLANZEN- TEILE AM GESAMTGEWICHT (weight of part of plant in % of total)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNG (shading)		DÜNGG. UNG.+GED (fertiliz) (unf.+fert)	B x D (s x f)
		UNGED. (unfert)	GED. (fertil)		
NADELN (needles)	1+1	+++	+++	+++	-
	1+2	+++	+++	+++	+++
	1+3	+++	+++	+++	-
SPROSSE (shoots)	1+1	-	+	++	+
	1+2	-	+++	-	+++
	1+3	-	++	-	++
WURZELN (roots)	1+1	+++	+	+++	-
	1+2	+	+	+	++
	1+3	++	+	++	+
WURZEL:SPROSS- VERHÄLTNIS (root:shoot-ratio)	1+1	+++	+	+++	-
	1+2	+	-	-	-
	1+3	++	+	++	+

Tab.29: Die Ergebnisse der Signifikanztests bei den Berechnungen der Pflanzenanteile am Gesamttrockengewicht im Beschattungsversuch (1+1-j.Fi aus dem Versuch 1969, 1+2 und 1+3-j.Fi aus dem Versuch 1967)

Results of F-tests after computing the percentage of part of plants to the total dry weight of the spruces in the shading experiments (1+1 year old spruces)

ANTEILE (IN %) AM GESAMTGEWICHT (percentage of the total dry weight)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)																		DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilization)
		UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)													
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
NADELN (needles)	1+1	41	41	44	42	45	53	43	42	45	42	46	56	+2*	+1*	+1*	0	+2*	+3**	
	1+2	-	38	38	38	38	45	-	34	35	35	38	47	-	-4***	3**	-3**	-2*	+2*	
	1+3	-	37	36	38	40	44	-	35	35	35	37	44	-	-2***	-1*	-3**	-3**	0	
SPROSSE (shoots)	1+1	26	25	26	26	27	24	31	31	31	30	27	24	+4***	+6***	+5***	+4***	0	0	
	1+2	-	32	34	36	37	35	-	45	44	44	42	35	-	+13***	+10***	8***	+5***	+1*	
	1+3	-	33	36	37	37	37	-	41	43	42	42	38	-	+8***	7***	+5***	+4***	+1*	
WURZELN (roots)	1+1	33	33	30	33	29	21	26	26	23	29	25	19	-7***	-7**	-7***	4**	-4*	-2*	
	1+2	-	29	27	27	24	20	-	20	20	21	21	18	-	-9***	7***	-6***	-3**	-2*	
	1+3	-	30	28	25	23	19	-	24	22	23	21	19	-	-6***	-6***	-2*	-2*	0	
WURZEL : SPROSS- VERHÄLTNISS (root : shoot-ratio)	1+1	49	51	43	49	41	28	36	37	30	40	35	24	-14***	-14***	-13***	9**	-6*	-4*	
	1+2	-	42	37	36	32	25	-	25	26	27	27	22	-	-17**	-17**	-11*	-5*	-3*	
	1+3	-	42	39	33	30	24	-	31	28	30	27	23	-	-17***	-17***	-3*	-3*	-1*	

Tab.30: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Ge-
wichtsanteile der einzelnen Pflanzenteile am Gesamt-
gewicht (in %) der Fichten in den Beschattungsversuchen
(1+1-j.Fi aus dem Versuch 1969, Ernte Okt.1969;
1+2-j. und 1+3-j.Fi aus dem Versuch 1967, Ernte 1968
und 1969)

Effects of shading and fertilization on the portion of
the different parts of the plants to the total dry
weight of the spruces in the shading experiments
(1+1 years old spruces in the shading experiment 1969,
1+2 and 1+3 years old spruces in the shading experi-
ment 1969)

Obwohl es grundsätzlich richtiger erscheint, für diese Berechnungen die Zuwachswerte herzuleiten, wurden die tatsächlichen Gewichte verwendet. Die Zuwachswerte der im tiefen Schatten (Beschattungsstufe 5) lagen nämlich wegen ihres geringen Umfangs noch im Bereich des Meßfehlers, hatten z.T. negative Werte und ergaben bei der Umrechnung in Relativwerte Übergroße und absurde Streuungen. In der Tendenz zeigte sich jedoch kein wesentlicher Unterschied zwischen den auf die Gesamt-trockengewichte und den auf die Zuwachswerte basierten Berechnungen.

Da es bei der Erörterung der Veränderungen, die die Gewichtsrelationen der einzelnen Pflanzenteile zueinander durch Beschattung und Düngung erfahren, zunächst mehr um grundsätzliche Tendenzen geht, werden die Ergebnisse aus der Beschattungsanlage zuerst dargestellt und anschließend die Werte der

Freiflächenversuche damit verglichen.

1. Die Trockengewichtsrelationen bei den Fichten in den Beschattungsversuchen (Tab.29 und 30)

Die genannten Berechnungen waren nur nach den Ernten von Pflanzen mit Wurzeln möglich. Das war beim Beschattungsversuch 1967 im Herbst 1968 (1+2j. Pflanzen) und 1969 (1+3j. Pflanzen), sowie beim Beschattungsversuch 1969 im Oktober 1969 (1+1j. Pflanzen) der Fall. Somit ließen sich entsprechende Berechnungen für drei Altersstufen durchführen.

Diese sind, obwohl das vorliegende Datenmaterial von Fichten gewonnen wurde, die zwar in derselben Versuchsanlage, aber z.T. auf unterschiedlichem Bodensubstrat aufgewachsen waren, in einer Tabelle zusammengefaßt worden. Eine vergleichende Beurteilung ist daher auf Grund der in Kap.5.124 aufgezeigten Divergenzen zwischen den Ergebnissen aus den einzelnen Versuchsanlagen nur mit den entsprechenden Vorbehalten möglich.

.1 Der Nadelanteil am Gesamttrockengewicht

Nach den Signifikanztests wurde der Nadelanteil durch die Beschattung eindeutiger als die der anderen Pflanzenteile beeinflusst.

- Mit zunehmender Beschattung erhöhte sich der prozentuale Nadelanteil zunächst nur unwesentlich, bei der stärksten Stufe stieg er dann jedoch erheblich an. Bei den schwächeren Beschattungsgraden ließen sich wegen der zu großen Abweichungen zwischen den Wiederholungen die nur geringen Differenzen von Beschattungsstufe zu Beschattungsstufe nicht absichern. In der Tendenz unterstrichen die Mittelwerte aber gleichfalls den Trend der Zunahme des Nadelanteils.

Der Beschattungseffekt äußerte sich bereits bei den 1+1j. Fichten sehr stark.

Während die gedüngten Fichten bei der statistischen Analyse ihrer absoluten Trockengewichte die Beschattungswirkung stets stärker wiedergegeben hatten als die ungedüngten, war das hier bei den Kenndaten des Nadelanteils nicht der Fall.

- Der Düngungseffekt wurde erst mit zunehmendem Pflanzenalter

ausgeprägter. Bei den 1+1j. Fichten waren trotz insgesamt signifikanter Düngewirkung die durch Düngung verursachten Differenzen in den einzelnen Beschattungsstufen nicht interpretierbar. An den älteren Fichten jedoch zeigte sich dann, daß die Düngung zu einer prozentualen Verminderung des Nadelanteils geführt hatte, die sich allerdings mit zunehmender Beschattung verlor. Daraus läßt sich auch die schlechtere Absicherung des Beschattungseffektes bei den gedüngten Fichten erklären.

.2 Der Sproßanteil am Gesamttrockengewicht

- Bei den ungedüngten Fichten veränderte sich der Sproßanteil am Gesamtgewicht durch die Beschattung bei allen drei untersuchten Altersstufen nicht. Bei den gedüngten Fichten hingegen äußerte sich insgesamt gesehen eine gesichert überproportionale Verringerung des Sproßanteils, umgekehrt also wie bei den Nadeln. Die entscheidende Verminderung trat jedoch wiederum erst bei den tieferen Beschattungsstufen ein.

- Weit stärker als der Nadel- und auch der Wurzelanteil wurde der Sproßanteil durch die Düngung begünstigt. Die Erhöhung des Sproßanteils am Gewicht der gedüngten Gesamtpflanzen nahm jedoch mit zunehmender Beschattung kontinuierlich ab, - daher auch die bei allen drei Altersstufen signifikante Wechselwirkung.

.3 Der Wurzelanteil am Gesamtgewicht

- Auf den ungedüngten und den gedüngten Parzellen bewirkte die Beschattung eine ebenfalls eindeutige und z.T. erhebliche Reduktion des Wurzelanteils am Gesamtgewicht. Umgekehrt wie beim Sproßanteil hatte sie bei den ungedüngten Fichten allerdings größere Unterschiede zwischen den im Hellen und Dunkeln erwachsenen Pflanzen erbracht und war folglich dort auch besser abzusichern. Dieser Unterschied zwischen der Reaktion der ungedüngten und der gedüngten Pflanzen war nur auf die starke Verminderung zurückzuführen, die die Düngung bereits bei den 1+1j. Fichten hinsichtlich des Wurzelanteils verursacht hatte.

- Wie beim Nadel- und Sproßanteil war die Düngewirkung auch beim Wurzelanteil durch die Beschattung überlagert worden.

Zusammenfassend kann man also feststellen, daß die Fichten zur Verbesserung ihrer Überlebenschancen unter starken Konkurrenzbedingungen, die sich ja oft in Form von Beschattung äußert, sehr zweckmäßig reagieren, indem sie die Nadeln, d.h. ihren Assimilationsapparat am wenigsten reduzieren, dafür jedoch ihren Sproß- und Wurzelanteil überproportional vermindern. Eine sehr gute Nährstoffversorgung fördert den Sproßzuwachs überproportional zu ungunsten besonders des Wurzelanteils, so daß sich dieser bei stärkerer Beschattung nicht mehr in dem Maße vermindern kann, wie bei ungedüngten Pflanzen. Diese Feststellung bestätigt den Hinweis von SCHMIDT-VOGT (1966), daß ein erhöhtes Stickstoffangebot mehr das Sproßgewicht und weniger das Wurzelgewicht fördert.

Wenn also nach der Tab.30 im Beschattungsversuch 1967 die 1+2j. gedüngten Fichten ziemlich genau das Gesamtrockengewicht der 1+3j. ungedüngten Pflanzen erreichten, und das sogar übereinstimmend in allen Beschattungsstufen, so unterschieden sich die insgesamt gleich schweren Pflanzen in ihrem Aufbau doch wesentlich. Bei gleichzeitig stark vermindertem Wurzel- und etwas reduziertem Nadelanteil wiesen die gedüngten Fichten nämlich einen erheblich höheren Sproßanteil auf als die ein Jahr älteren ungedüngten Fichten, mit Ausnahme allerdings der im tiefsten Schatten (Besch.St.5) erwachsenen.

.4 Veränderungen der Anteile mit steigendem Alter

Zieht man die Gewichtsanteile der in den Beschattungsanlagen 1967 und 1969 verwendeten 1+0j.Fichtensämlinge heran (Tab.31), so scheint sich der Nadelanteil mit zunehmendem Alter bei den Versuchspflanzen verringert zu haben, offenbar unabhängig davon, ob die Fichten beschattet oder gedüngt worden waren (vgl. Tab.30).

Demgegenüber stieg der Sproßanteil stetig mit steigendem Alter. Zusammengenommen allerdings zeigten Nadeln und Sprosse,

also die oberirdischen Teile, gegenüber den Wurzeln keine Tendenz der Veränderung. Folgt man einer weiteren Feststellung SCHMIDT-VOGTS, daß nämlich mit längerem Sproß die Benadelungsdichte sich verringert, so könnten die obigen Aussagen als zutreffend angesehen werden. Insgesamt reicht das Material aber wohl nicht für eindeutige Ableitungen.

	1967	1969
GESAMT- (total dry GEWICHT weight)	100%	100 %
NADELANTEIL (needles)	51 } 69%	50 } 69%
SPROSS " (shoots)	18 }	19 }
WURZEL " (roots)	31 %	31 %

Tab.31: Prozentanteile von Nadel-, Sproß- und Wurzelgewicht am Gesamttrockengewicht bei den 1967 und 1969 in den Beschattungsversuchen verwendeten 1+0j.Fichtensämlingen

Percentage of dry weight of needles, shoots and roots to the total of the 1+0 year old spruces used in the shading experiments 1967 and 1969

.5 Das Wurzel:Spross-Verhältnis

Gegenüber den bereits gemachten Ausführungen bringt das Wurzel:Spross-Verhältnis keine wesentlich neue Information. Im Gegenteil zeigt sich, daß der prozentuale Wurzelanteil am Gesamtgewicht die Reaktion der Fichten hinsichtlich ihres Wurzelwachstums besser und differenzierter wiedergibt.

2. Die Trockengewichtsrelationen bei den Fichten in den Freiflächenversuchen

.1 Ergebnisse aus dem Freiflächenversuch 1969 (Tab.32)

Anders als im gleichzeitig gelaufenen Beschattungsversuch 1969 bewirkten die Versuchsfaktoren die deutlichsten Veränderungen beim Wurzelanteil, nicht bei den Nadeln. Sowohl die Überschirmung wie die Düngung konnte in der zu erwartenden Wirkungsrichtung signifikant nachgewiesen werden. Dasselbe gilt, je-

doch nicht ganz so auffällig, für das Wurzel:Spross-Verhältnis. Auch der Sprossanteil am Gesamtgewicht ließ eine deutlichere Reaktion der Fichten im Düngungsversuch erkennen. Die in beiden Versuchsanlagen gewonnenen Daten entsprachen sich zwar in ihrer Größenordnung, eine exakte Zuordnung auf der Grundlage der Strahlungsmeßergebnisse ist jedoch wegen der Fehlerstreuung im Material nicht möglich.

ANTEIL(%) DER PFLANZENTEILE AM GESAMTGEWICHT (Weight of part of plant in % of total)	ALTER (age) JAHRE (years)	SAUM (border strip)		SCHIRM (shepherdwood)		ÜBERSCHIRMUNG (sheltering)		DÜNGUNG Ü×D	
		UNGED. (unfert.)	GED. (fertil.)	UNGED. (unfert.)	GED. (fertil.)	UNGED. (unfert.)	GED. (fertil.)	UNG.+GED. (unf.+fert.)	(fertilization)(s×f)
NADELN (needles)	1+1	42	43	43	44	-	-	+	-
	1+2	37	36	37	28	++	+++	+++	+ -
SPROSSE (shoots)	1+1	27	29	29	31	+	+	++	+ -
	1+2	33	39	39	47	+++	-	-	- +
WURZELN (roots)	1+1	31	28	28	25	++	+	++	+ -
	1+2	30	23	30	37	-	- +	-	- +
WURZEL:SPROSS- VERH. (root:shoot ratio)	1+1	46	42	39	34	++	+	++	- -
	1+2	52	35	44	44	-	- +	-	- +

Tab.32: Die Wirkung von Überschirmung und Düngung auf die Ausformung der 1+1-j. Fichten aus dem Freiflächenversuch 1969 und der 1+2-j.Fichten aus dem Freiflächenversuch 1965

Effects of sheltering and fertilization on the shape of the 1+1 year old spruces in the open-air experiment 1969 and of the 1+2 year old spruces in the open-air experiment 1965

.2 Ergebnisse aus dem Freiflächenversuch 1965 (Tab.32)

Wegen der andersartigen Aufwuchsbedingungen für die 1+2j. Fichten im Beschattungsversuch 1967 und im Freiflächenversuch 1965 ist ein Vergleich der entsprechenden Werte wiederum grundsätzlich schwieriger. Immerhin scheint die Reaktionsnorm aber besser übereingestimmt zu haben, denn in beiden Fällen zeigten diesmal wieder die Nadeln die auffälligsten und am besten absicherbaren Unterschiede. Auch die Größenordnung der Werte kann als überwiegend gleich bezeichnet werden, lediglich die Wurzelanteile der Fichten auf der Schirmfläche liegen unerklärlich hoch und stören das Bild.

5.16 Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Streuung der Trockengewichte innerhalb der einzelnen Stichproben

Um eine Vorstellung über die statistischen Verteilungsformen der Merkmale von Einzelpflanzen innerhalb der untersuchten Stichproben und ihrer Beeinflussung durch die beiden Versuchsfaktoren Beschattung und Düngung zu erhalten, wurden im Herbst 1969 die 1+3j. Fichten einzeln aufgemessen und ihre Pflanzenteile getrennt ausgewogen. Somit konnte das in dieser Arbeit verwendete Pflanzenmaterial zusätzlich auf die Streuungen der Trockengewichte innerhalb der einzelnen Stichproben (je eine Halbpazelle im Beschattungsversuch) und auf Abweichungen von der Normalverteilung hin gesichtet werden.

Nach der Ernte im Herbst 1969 standen für jede ungedüngte, bzw. gedüngte Halbpazelle 18-22 Pflanzen mit den Meßwerten: Nadel-, Sproß-, Wurzelgewicht, Sproßdurchmesser und -länge jeder Einzelpflanze für entsprechende Berechnungen zur Verfügung. Da nun die Standardabweichung vom Umfang der jeweiligen Stichprobe abhängig ist, war es notwendig, den Umfang der Stichproben im Hinblick auf den Vergleich der Varianzen gleich groß zu machen. Die Verkleinerung der Kollektive hätte durch eine zufallsverteilte Entnahme einzelner Pflanzen, bzw. ihrer Meßwerte erfolgen können. Besser erschien es jedoch, das Datenmaterial dadurch zu vereinheitlichen, daß alle stark abweichenden Werte, also Ausreißer, eliminiert wurden. Eine Hilfe für das Auffinden solcher Ausreißer bietet die stets sehr hohe Korrelation von Sprossdurchmesser und dem Trockengewicht. Werte mit nur sehr geringer Übereinstimmung in dieser Hinsicht konnten deshalb nach einer Regressionsrechnung zwischen den Trockengewichten und dem Sprossdurchmesser ermittelt werden. Nach ihrer Entnahme wurden dann alle weiteren und im Folgenden dargestellten Berechnungen mit einheitlich 15 Pflanzen je Halbpazelle durchgeführt.

1. Die Abweichungen von der Normalverteilung

Die Ergebnisse der Prüfung auf Normalität der verschiedenen Trockengewichtskriterien innerhalb der untersuchten Stichproben sind in Tab.33 zusammengefaßt. In ihr ist angegeben, wieviele der je drei Stichproben von den ungedüngten und gedüngten Halbpazellen jeder Beschattungsstufe Abweichungen von der Normalverteilung zeigten. Dabei wurde der Signifikanzgrad dieser Abweichung nicht weiter berücksichtigt.

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)										
	UNGEDÜNGT (unfertilized)						GEDÜNGT (fertilized)				
	1	2	3	4	5	Sa.	1	2	3	4	5
GESAMT (total)	2	1	1	-	2	6	-	-	-	-	1
NADELN (needles)	-	1	2	2	2	7	-	2	-	-	2
SPROSSE (shoots)	2	2	3	1	1	9	-	-	-	1	1
WURZELN (roots)	2	-	-	-	3	5	-	2	-	-	1

Tab.33: Zahl der Stichproben (bezogen auf 3 Wiederholungen je Beschattungsstufe), die in dem jeweiligen Trockengewichtskriterium Abweichung von der Normalverteilung zeigten (1+3-j.Fichten des Beschattungsversuchs 1967, nach der Aufnahme Herbst 1969).

Number of samples (derived from 3 replicates per shading grade) that showed normal distribution at the different dry weight criteria (1+3 years old spruces of the shading experiment 1967, as measured in Oct.1969)

Eine varianzanalytische Berechnung dieser Abweichungen ist, da es sich um Häufigkeiten bei nur geringem Stichprobenumfang handelt, nicht möglich. Stattdessen kommt nur die Anwendung nicht-paramatischer Tests, hier z.B. der Vierfelder-Chi-Quadrat-Test, infrage, der weniger differenzierte Aussagen zuläßt als die Varianzanalyse.

Aus den in Tab.33 zusammengestellten Ergebnisse und den genannten Tests scheinen sich die folgenden Schlüsse im Hinblick auf die Beeinflussung der statistischen Verteilungsform der Trockengewichte durch die Versuchsfaktoren Beschattung und Düngung ableiten zu lassen:

- Abweichungen von der Normalverteilung sind mehrfach vorgekommen. Sie traten bei den Nadel- und Sprosstrockengewichten häufiger als bei den Wurzel- und den Gesamttrockengewichten auf. Daraus kann abgelesen werden, daß der Trend dieser Abweichungen bei den Nadel- und Sprosstrockengewichten nicht gleichsinnig gewesen ist, sonst hätten sie bei den Gesamttrockengewichten ebenso häufig sein müssen.
- Die Beschattung hat offenbar keine Wirkung auf die Verteilungsform innerhalb der jeweiligen Pflanzenkollektive gehabt, und zwar bei keinem der untersuchten Merkmale. Der Stichprobenumfang reicht aber nicht für statistische Berechnungen aus.

- Demgegenüber fällt auf, daß die Abweichungen bei den unge-
düngten Stichproben weit häufiger waren als bei den gedüngten.
Dieser Unterschied ist bei den Sprosstrockengewichten statistisch gesichert. Er ist es auch bei den Gesamttrockengewichten, wenn man bei der Festlegung der Signifikanzgrenzen einseitige Fragestellung zugrundelegt. Bei den Nadel- und Wurzeltrockengewichten traten weniger eindeutige Wirkungen der Düngung auf, bzw. der Umfang der untersuchten Stichproben reichte nicht aus, um eine Absicherung des festgestellten Trends auch bei ihnen zu ermöglichen. Trotzdem dürfte der generelle Schluß zulässig sein, daß das Pflanzenmaterial als Folge der Homogenisierung des Standortes durch die Düngung in sich einheitlicher geworden ist.

Man kann ferner generell folgern, daß die untersuchten Trockengewichtskriterien grundsätzlich innerhalb gleichbehandelter Pflanzenkollektive normalverteilt auftreten. Die Verteilung kann jedoch durch ungleichmäßige Wuchsbedingungen, wie sie unter "Freiflächen"-Bedingungen zu erwarten sind - gestört werden. Je mehr diese standörtlichen Ungleichmäßigkeiten nivelliert werden, wie hier durch die Düngung, desto weniger Abweichungen von der Normalverteilung treten demnach auf.

2. Die Streuung innerhalb der einzelnen Stichproben

Zur Kennzeichnung der Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert innerhalb eines Kollektivs wird die Standardabweichung benutzt und diese im Hinblick auf den Vergleich der Streuung mehrerer Kollektive als Variabilitätskoeffizient in Prozent des Mittelwertes angegeben.

Eine erste Sichtung der für alle Halbparzellen ermittelten Variabilitätskoeffizienten legte den Schluß nahe, daß die Streuung in den Stichproben durch die Beschattung gerichtet verändert worden war. Es erschien deshalb zweckmäßig, die Variabilitätskoeffizienten mit den bei allen Meßkriterien bisher durchgeführten statistischen Analysen (2-Wege-Varianz- und Split-Plot-Analyse) auf den Einfluß der Versuchsfaktoren hin zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Tests sind in den Tabellen 34 und 35 zusammengestellt. Sie lassen folgende Ten-

denzen erkennen:

TROCKEN- GEWICHTE (dry weights)	BESCHATTUNG (shading)		DÜNGG.	B×D
	UNGED. (unfertil.)	GED. (fertil.)	UNG.+GED. (unf.+fertil.)	(s×f)
GESAMT (total)	-	+	+	-
NADELN (needles)	-	++	+	-
SPROSSE (shoots)	-	+	-	-
WURZELN (roots)	+	-	-	-

Tab.34: Ergebnisse der Signifikanztests bei den Variabilitätskoeffizienten der Trockengewichte von den 1+3j. Fichten im Beschattungsversuch 1967, Aufnahme Okt.1969

Results of tests of significance at the coefficients of variation of the dry weights of the 1+3 years old spruces of the shading experiment 1967, as measured in Oct.1969

TROCKEN- GEWICHTE (dry weight)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)									
	UNGEDÜNGT (unfertil.)					GEDÜNGT (fertil.)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
GESAMT (total)	39	42	33	50	67	34	30	39	48	55
NADELN (needles)	36	41	32	49	70	34	28	36	48	56
SPROSSE (shoots)	43	49	40	57	67	36	34	43	51	57
WURZELN (roots)	44	38	33	47	70	36	32	39	46	55

Tab.35: Die Streuung der Trockengewichte innerhalb der untersuchten Stichproben in Abhängigkeit von der Beschattung, ausgedrückt durch die mittleren Variabilitätskoeffizienten für jede Beschattungsstufe.

Dispersion of dry weights within the samples analysed related to shading, expressed by the mean percental coefficients of variation for every shading degree:

- Mit zunehmender Beschattung vergrößerte sich die Streuung innerhalb der Stichproben. Bei den ungedüngten Pflanzen ließ sich diese bei den Mittelwerten der Trockengewichte aller Pflan-

zen ließ sich diese bei den Mittelwerten der Trockengewichte aller Pflanzenteile anscheinend durchgängige Tendenz nur bei den Wurzeltrockengewichten sichern. Demgegenüber war das bei den gedüngten Fichten für die Gesamt-, Nadel- und Sproßgewichte möglich, kurioserweise jedoch nicht für die Wurzelgewichte.

- In keinem Falle konnte nachgewiesen werden, daß die Düngung die Streuung gesichert vermindert hätte (Tab.34), wie es die Variabilitätskoeffizienten (Tab.35) vermuten ließen. Ein gewisser Einfluß der Düngung kann aber zumindest indirekt daraus abgeleitet werden, daß die Variabilitätskoeffizienten der gedüngten Fichten den Beschattungseinfluss statistisch besser absichern ließen als die der ungedüngten Fichten. Diese Feststellungen bedürfen jedoch noch einer kritischen Beurteilung. Die im vorigen Abschnitt aufgezeigten Abweichungen von der Normalverteilung hätten die Herleitung der Variabilitätskoeffizienten bei allen diesbezüglichen Stichproben grundsätzlich verboten. Die Berechnung der Standardabweichung als Parameter der Normalverteilung hätte erst nach Herstellung der Normalität durch Transformation der Werte, und zwar wahrscheinlich durch eine logarithmische Transformation, die einen in solchen Fällen üblichen linksschiefen Exzess beseitigt, erfolgen dürfen. Mangels eines hierfür vorhandenen Programms, bzw. des andernfalls allzu großen Arbeitsaufwandes mußte eine solche Transformation unterbleiben.

Tatsächlich zeigt sich auch, daß die Stichproben, bei denen Abweichung von der Normalverteilung festgestellt worden war, durchweg sehr viel größere und aus dem allgemeinen Niveau herausfallende Variabilitätskoeffizienten aufwiesen. Man kann deshalb mit Recht vermuten, daß durch die Transformation eine Vereinheitlichung erreicht worden wäre, die den Beweis des Trends einer Vergrößerung der Streuung mit zunehmender Beschattung und einer generellen und gleichmäßigen Verringerung der Streuung durch Düngung eindeutig erbracht hätte.

Während nun das gleichmäßigere Aufwachsen bzw. die Verzögerung einer frühzeitigen Differenzierung von Pflanzenbeständen nach Düngung verschiedentlich festgestellt (z.B. im Kieferndüngungs-

versuch Dudenhofen - BAULE und GUSSONE, o.J.) und erörtert worden ist, läßt sich m.E. die Wirkung der Beschattung auf die Variation in den Pflanzenbeständen in diesem Fall nicht bedenkenlos verallgemeinern. Die Ursache für die größere Streuung in den stärker abgeschatteten Versuchsparzellen könnte nämlich durch die Konstruktion der Beschattungskästen bedingt sein, bei denen die Pflanzen an den Außenrändern gegenüber denen der Mitte mehr Seitenlicht erhielten. Es könnte ferner sein, daß die verwendeten Pflanzen, da nicht nach genetischen Gesichtspunkten ausgelesen, eine Variabilität der Reaktionsnorm aufwiesen, die zu stärkerer Differenzierung führt, je weiter sich die Wuchsbedingungen vom Optimum entfernen. Genauere Aufschlüsse über diese Zusammenhänge werden sich wahrscheinlich erst nach Wiederholung der Versuchsanstellung unter genau kontrollierten Bedingungen (z.B. im Phytotron) und unter Heranziehung einklonigen Pflanzenmaterials erzielen lassen. In dem Hinweis auf solche weiterhin notwendigen Exaktversuche und der darin eingeschlossenen Kritik an den bisherigen Beschattungsversuchen wird daher die Rechtfertigung für die relativ ausgedehnte Erörterung der hier dargestellten und für diesbezügliche Aussagen in vieler Hinsicht unzureichenden Versuchsergebnisse gesehen.

5.2 Morphologische Meßwerte

Wie bereits ausgeführt, sind zwar die Trockengewichte das beste Maß für die Substanzerzeugung und damit die brauchbarsten Weiser für die Reaktion junger Pflanzen auf die Wuchsbedingungen in ihrer Umwelt. Verschiedentlich können aber morphologische Messungen, so z.B. von Triebhöhen oder -durchmessern, zur Charakterisierung des Pflanzenwachstums unter Versuchsbedingungen von ähnlicher Aussagekraft sein, insbesondere wenn dabei praxisorientierte Fragestellungen beantwortet werden sollen. Sie wurden in diese Arbeit aufgenommen, um die bisher dargestellten Sachverhalte zu ergänzen und um außerdem eine Vergleichsmöglichkeit für ähnliche Untersuchungen auf diesem Gebiet zu bieten.

Der Sproßdurchmesser in Bodenhöhe gilt nach mehreren Autoren (RUTTER, 1956; HANSCHKE, 1964; SCHMIDT-VOGT, 1966) dabei als das am besten mit dem Trockengewicht korrelierte Meßkriterium. Die Sproßlänge wiederum wird von der forstlichen Praxis im allgemeinen als der wichtigste Ausdruck für das Gedeihen von Forstkulturen angesehen, da sie am besten erkennen läßt, wie bald die jungen Pflanzen der "Gefahrenzone", d.h. der Unkrautkonkurrenz und dem Wildverbiss entwachsen sind. Beide Kriterien wurden deshalb durchgängig berücksichtigt, im Laufe der Untersuchungen dann allerdings durch die Erhebung weiterer Meßwerte zu noch eingehenderer Interpretation der Sachverhalte ergänzt.

5.21 Ergebnisse im Freiflächenversuch

1. Freiflächenversuch 1965

.1 Sproßdurchmesser

Bei den Sproßdurchmessern zeigten die in zwei Vegetationszeiten aufgewachsenen Fichten dieselbe Reaktion wie bei ihrer Trockensubstanzerzeugung, d.h. auf der Saumfläche hatte die Düngung sehr stark, auf der Schirmfläche hingegen nicht gewirkt. Die Überschirmung verminderte das Wachstum auf den ungedüngten wie den gedüngten Parzellen gleichermaßen, so daß wegen der Überlagerung des Düngungseffektes durch den Überschirmungseffekt in der zusammenfassenden Analyse beider Teilflächen zwangsläufig eine sehr starke Wechselwirkung beider Versuchsfaktoren nachweisbar sein mußte (Tab.36). Nach einem weiteren Versuchsjahr zeigten die Sproßdurchmesser abweichend von den Ergebnissen bei den Trockengewichten jedoch auf der Saumfläche etwas weniger klar absicherbare durch die Düngung hervorgerufene Unterschiede. Wiederum verglichen mit den entsprechenden Trockengewichtskriterien (vgl. Tab.18) waren die durch Überschirmung oder Düngung verursachten Zu- oder Abnahmen bei den Sproßdurchmessern prozentual erheblich niedriger (Tab.37). Die Regression zwischen den Sproßdurchmessern und den Trockengewichtskriterien - es spielt dabei keine Rolle, welches

man wählt, -obwohl die Anpassung naturgemäß bei den Sproß-trockengewichten am besten ist -, verläuft nicht linear, sondern in Form eines Parabelastes. Deshalb läßt sich auch kein mittlerer Prozentwert angeben, der die relative Änderung des Trockengewichtes bei Änderung des Sproßdurchmessers für den Durchschnittsfall kennzeichnet.

MERKMAL (criterion)	ALTER (age) JAHRE (years)	MASS- EIN- HEIT (unit)	SAUM (border strip)			SCHIRM (shelterwood)			ÜBERSCHIRMUNG (sheltering) DÜNGE D=U					
			UNGED. (unfert.) $\bar{x}$	GEDÜNGT (fertilized) $\bar{x}$	F-TEST	UNGED. (unfert.) $\bar{x}$	GEDÜNGT (fertilized) $\bar{x}$	F-TEST	UNGED. (unfert.)	GEDÜNGT (fertilized)	UNG+GED. (fertil.)	S×F		
FREIFLÄCHENVERSUCH 1965, AUFNAHMEN UND ERNTEN OKT. 1965 BIS 1967 (Open air experiment 1965)														
SPROSS- DURCHMESSER (diam. of shoot at basis)	1+2	mm	2,8	5,0	+++	1,8	1,8	-	+++	+++	-	-	+++	
	1+3	"	4,7	6,5	++	2,3	2,5	-	+++	+++	-	-	++	
SPROSSLÄNGE (length of shoot)	1+1	cm	6,0	11,1	+++	6,0	6,7	-	-	+++	-	-	+++	
	1+2	"	12,5	28,2	+++	10,4	11,5	-	-	+++	-	-	+++	
	1+3	"	22,4	38,6	+++	13,5	15,4	-	+++	+++	-	-	+++	
FREIFLÄCHENVERSUCH 1969, ERNTE OKT. 1969 (Open air experiment 1969)														
SPROSSDURCHM. (diam. of shoot)	1+1	mm	2,3	2,7	+	1,5	1,7	-	+++	+++	+++	++	-	
SPROSSLÄNGE (length of shoot)	1+1	cm	15,0	18,1	+	10,3	11,2	-	+++	+++	+++	++	-	
ZWISCHENLÄNGE (branch length)	1+1	Stck	5,5	8,3	+	2,3	2,7	-	+++	+++	+++	-	+	
WURZELLÄNGE (length of root)	1+1	cm	25,3	25,5	-	15,6	16,8	-	+++	+++	+++	-	-	
WURZELBEREICH (surface of root)	1+1	cm²	17,9	21,6	-	6,6	7,2	-	+++	+++	+++	-	-	

Tab.36: Die Wirkung von Überschirmung und Düngung auf einige morphologische Merkmale (Durchschnitt je Pflanze) bei den 2- bis 4-j. Fichten in den Freiflächenversuchen von 1965 und 1969

Effects of sheltering and fertilization on various morphological criteria (mean per plant) of the 2 to 4 years old spruces in the open air experiments 1965 and 1969

MERKMAL (criterion)	<u>ZUWACHSLEISTUNG NACH</u> (increment caused by)					
	<u>DÜNGUNG IM</u> (fertilization)			<u>ÜBERSCHIRMUNG IM</u> (sheltering)		
	1. JAHR (year)	2. JAHR (year)	3. JAHR (year)	1. Jahr (year)	2. Jahr (year)	3. Jahr (year)
SPROSSDURCHMESSER (diameter of shoot)	-	220	80	-	45	25
SPROSSLÄNGE (length of shoot)	185	240	105	0	70	30

Tab.37: Durchschnittlicher prozentualer Zuwachs der jährlichen Sproßdurchmesser- und -längenentwicklung durch Düngung und Überschirmung bei den Fichten des Freiflächenversuchs 1965 (ungedüngte Pflanzen auf dem Saum = 100 %).

Mean percental increment of the annual development of diameter and length of shoots caused by fertilization and sheltering, open area experiment 1965 (unfertilized plants in the border strip = 100 %)

Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen wird auch verständlich, weshalb im dritten Beobachtungsjahr der prozentuale Durchmesserzuwachs bei den gedüngten Fichten um 20 % geringer als der der ungedüngten sein konnte (Tab.37), obwohl die Sprosse der gedüngten Pflanzen im selben Jahr rd. 140 % mehr an Trockensubstanz produziert hatten als die ungedüngten Fichten (vgl. Tab.19).

Dies widersprüchliche Ergebnis läßt sich offenbar aufklären, wenn der Sproßflächenzuwachs statt des Sproßdurchmesserzuwachses herangezogen wird. Mit diesem nämlich wird der quadratischen Beziehung der beiden Meßgrößen zueinander näher gekommen.

Die Interpretation von entsprechenden Versuchsergebnissen allein auf der Basis von Sproßdurchmesserwerten ist also nicht unproblematisch.

.2 Sproßlängen

Die Sproßlängenentwicklung kann im Freiflächenversuch 1965 für alle drei Vegetationszeiten angegeben werden (Tab.36).

- In der ersten Vegetationszeit wurde durch die Düngung ein kräftiger Höhenzuwachs erzielt, während die ungedüngten Pflanzen auch auf der Saumfläche überhaupt keinen Höhentrieb schoben. Demnach müssen die Wuchsbedingungen für die jungen Fichten 1965 sehr schlecht gewesen sein. Umso erstaunlicher ist es daher, daß die Düngung derart durchschlagend wirkte. Am Ende der zweiten Vegetationszeit (1966) hatte sich der Unterschied zwischen den ungedüngten und gedüngten Pflanzen auf dem Saum noch vergrößert. Erst im 3. Jahr überstieg der Höhenzuwachs der gedüngten Pflanzen den der ungedüngten nicht mehr. Hieraus darf allerdings wohl kaum auf ein völliges Nachlassen der Düngewirkung geschlossen werden, da der Trockengewichtszuwachs ja noch immer erheblich über dem der ungedüngten Fichten lag.

- Wegen des anfangs völlig unterbliebenen Höhenzuwachses bei den ungedüngten Fichten der Saumfläche ließ sich zunächst die Überschirmung nicht als Streuungsursache nachweisen. Auch nach der zweiten Vegetationszeit (1966) hatten sich bei den Sproßlängen noch immer keine sicherbaren Unterschiede zwischen den Fichten der ungedüngten Parzellen von Saum- und Schirmfläche eingestellt, obwohl die oberirdische Trockensubstanzerzeugung der Fichten auf dem Saum inzwischen rd. viermal so hoch wie die der Fichten unter dem Schirm war.

Diese Zahlen sind deshalb als eine Bestätigung der bekannten Tatsachen aufzufassen, daß das Sproßlängenwachstum selbst bei stärkeren Beschattungsgraden noch unvermindert anhalten kann, obwohl die Substanzproduktion bereits empfindlich beeinträchtigt wurde.

In den folgenden Vegetationszeiten verminderte sich der Höhenzuwachs dann zwar erheblich, trotzdem blieb diese Verminderung prozentual weit hinter der der Substanzerzeugung zurück.

2. Freiflächenversuch 1969

Die in Tab.36 zusammengestellten Meßwerte verdeutlichen das 1969 andersartige Wuchsverhalten der jungen Fichten gegenüber dem der Pflanzen im Düngungsversuch 1965 fast noch besser, als es die Trockengewichte taten.

- Bei den Sproßdurchmessern ist noch am ehesten dieselbe Reaktion wie bei den Trockengewichten ablesbar. Das gilt besonders für die geringe Wirkung der Düngung auf der Saumfläche. Da aber die absoluten Unterschiede zwischen den Durchmessern der Pflanzen auf den beiden Teilflächen noch klein blieben und die Düngung auch auf der Schirmfläche einen geringen, dort allerdings einzeln nicht absicherbaren Zuwachs verursacht hatte, erschien die Düngung im Gesamtversuch als hochsignifikanter Effekt (Tab.36) und äußerte sich noch nicht - wie bei den Trockengewichten (vgl. Tab.18) - in einer gesicherten Wechselwirkung. Auch hierin ist wiederum eine Bestätigung dafür zu sehen, daß die Sproßdurchmesser nur bedingt als Weiser für die tatsächliche Substanzproduktion aufgefaßt werden können.

- Die Sproßlängenentwicklung weicht völlig von der im Freiflächenversuch 1965 festgestellten ab. Die Fichten erreichten 1969 in einer Vegetationszeit eine größere Gesamthöhe als die des Freiflächenversuchs 1965 in zwei Vegetationszeiten. Gering blieb allerdings der Mehrzuwachs durch Düngung. Andererseits führte wiederum eine geringe Überlegenheit der gedüngten Fichten auch auf der Schirmfläche zu demselben statistischen Ergebnis, wie es eben bei den Sproßdurchmessern erörtert worden war.

- Die Zahl der Zweige 1.Ordnung verdeutlicht, daß die Veränderung der Sproß-Trockensubstanzleistung nicht nur im wesentlichen über die Zunahme des Sproßlängen- und -dickenwachstums erfolgte, sondern in mindestens ebenso starkem Maße über die Vermehrung der Seitentriebe. Zweige 2. Ordnung hatten die Fichten am Ende ihres zweiten Lebensjahres noch nicht gebildet. Bei dem vorgelegten Material ist die Übereinstimmung der statistischen Aussagen mit denen der Sproßtrockengewichtsergebnisse sogar besser als die mit Sproßdurchmessern und -längen.

- Auf die Entwicklung der Wurzellängen und -oberflächen wirkte nur die Überschirmung ein. Im Gegensatz zu den Daten der Wurzelgewichtsproduktion ließ sich die Düngung bei ihnen überhaupt nicht, auch nicht als Wechselwirkung zwischen Beschattung und Düngung nachweisen. Auf die Frage der Übereinstimmung dieser Meßgrößen miteinander soll noch bei der Besprechung der

Ergebnisse des Beschattungsversuchs eingegangen werden.

5.22 Ergebnisse im Beschattungsversuch

1. Beschattungsversuch 1967

Entsprechend der bisherigen Handhabung wurden die Ergebnisse in zwei Tabellen zusammengefaßt. In Tab.38 sind die Signifikanzgrenzen der F-Tests, in Tab.39 die Durchschnittswerte und die Kennzeichnung ihrer statistisch gesicherten Unterschiede aufgeführt. Außerdem wurde versucht, graphisch (Abb.14) einen Anhalt dafür zu finden, ob sich die ermittelten Meßkriterien in derselben Weise wie anscheinend die Trockengewichte (vgl. Abb.13), nämlich linear mit dem Logarithmus der Lichtintensität bezogen auf die Freiflächenhelligkeit, veränderten.

<u>MERKMAL</u> (<i>criterion</i>)	<u>ALTER</u> (<i>age</i>)	<u>BESCHATTUNG</u> (<i>shading</i>)		<u>DÜNG.</u> (<i>fertil.</i>)		<u>B x D</u> <i>s x f</i>
	<u>JAHRE</u> (<i>years</i>)	<u>UNGED.</u> (<i>unfert.</i>)	<u>GEDÜNGT</u> (<i>fertiliz.</i>)	<u>UNG.u.GED.</u> (<i>unf.+fert.</i>)		
SPROSS- DURCHMESSER (<i>diam.of shoot</i>)	1+1	++	+++	+++	-	+
	1+2	++	+++	+++	+	++
	1+3	+++	+++	+++	+	++
SPROSSLÄNGE (<i>length of shoot</i>)	1+1	-	++	++	+	++
	1+2	++	+++	+++	+	++
	1+3	++	+++	+++	++	++
ZAHL DER ZWEIFE 1. ORDNUNG (<i>number of branches 1st order</i>)	1+1	+	+++	+++	-	++
	1+2	++	+++	+++	+	++
	1+3	+++	+++	+++	++	+
WURZELLÄNGE (<i>length of roots</i>)	1+2	++	++	+++	+	+
	1+3	++	+++	+++	++	-

Tab.38: Ergebnisse der Signifikanztests bei den Meßwerten der 2- bis 4-j.Fichten im Beschattungsversuch 1967 (Aufnahmen Okt.1967-69)

Results of F-tests from the morphological criteria of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

- Allen vier in den Tabellen 38 und 39 dargestellten Meßwerten ist die nahezu identische Charakterisierung der Reaktion der jungen Fichten auf die Beschattung gemeinesam, wie sie bereits durch die Trockengewichte wiedergegeben worden war. Bei den Sproßdurchmessern ergab sich eine noch bessere Absicherung der Beschattungsstufen untereinander.

MERK- MALE (criterion)	MASS- EIN- HEIT (unit)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)															DIFF. DURCH DÜNGUNG (diff. caused by fertil.)				
			UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)														
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
SPROSS- DURCHMESSER (diameter of shoots at basis)	mm	1+1	1,64	1,50	1,45	1,43	1,24	2,19	1,85	1,79	1,58	1,21	0,55***	0,35***	0,34***	0,15+	-0,03-					
		1+2	3,02	2,54	2,66	2,37	1,63	4,76	4,14	3,88	3,12	1,62	1,75***	1,60***	1,21***	0,75***	-0,01-					
		1+3	4,55	3,70	3,83	2,93	1,97	6,88	5,72	5,42	3,86	1,96	2,34***	2,02***	1,59***	0,93**	-0,01-					
SPROSS- LÄNGE (length of shoots)	cm	1+1	9,0	8,4	9,0	8,8	8,5	16,3	13,6	13,5	12,4	8,9	7,3***	5,3***	4,5***	3,6***	0,3-					
		1+2	18,6	16,5	17,7	16,0	13,2	32,0	28,5	26,4	21,5	13,5	13,4***	12,0***	8,7***	5,5***	0,3-					
		1+3	24,1	21,7	23,8	20,1	15,6	42,3	38,3	35,6	27,5	17,1	18,2***	16,6***	11,8***	7,4***	1,5-					
ZAHL DER ZWEIGE 1. ORDNUNG (number of bran- ches of 1st ord.)	Stück	1+1	1,8	1,2	1,3	1,2	0,8	6,9	4,0	2,4	2,0	0,8	5,1***	2,8***	1,2+	0,8-	0,01-					
		1+2	6,9	4,8	5,9	5,0	3,5	15,4	11,8	11,4	8,3	3,8	8,6***	7,0***	5,5***	3,3**	0,3-					
		1+3	17,9	10,8	13,0	8,9	5,3	27,5	22,7	22,4	16,2	5,8	9,6***	11,9***	9,4***	7,3***	0,6-					
WURZEL- LÄNGE (length of roots)	cm	1+2	23,7	18,3	17,5	15,1	11,7	27,1	27,0	27,3	21,8	10,8	3,5+	8,7***	9,8***	6,7**	-7,0-					
		1+3	35,2	26,3	26,4	19,2	14,0	47,7	37,3	36,3	24,0	13,3	12,5**	11,1**	9,9**	4,8-	-0,7-					

Tab.39: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die morphologischen Merkmale der 2- bis 4-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967 (Aufnahme Okt.1967-69)

Effects of shading and fertilization on the morphological criteria of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

Während sonst die Beschattung bereits nach der ersten Vegetationszeit auch auf den ungedüngten Parzellen zu Wuchsunterschieden geführt hatte, war das bei den Sproßlängen der 1+1j. Fichten noch nicht eingetreten. Die Parallele hierzu fand sich bei den Sproßstreckengewichten (Tab.21), obwohl sich dort die Differenzierung nach dem ersten Jahr bereits schwach andeutete.

Da das Sproßlängenwachstum gegenüber anderen Wuchskriterien am stärksten von den Reserven aus dem Vorjahr beeinflusst werden soll, erscheint dieser Befund durchaus plausibel.

Ebenso ist die mit den Jahren auch prozentual zunehmend größer werdende Differenz der jährlichen Zuwachswerte in den einzelnen Beschattungsstufen wenigstens zu einem Teil aus der fortschreitenden Anpassung der Sämlinge an die Wuchsbedingungen in der Beschattungsanlage zu verstehen.

- Alle Meßwerte zeigen gleichfalls deutlich, daß der Beschattungseffekt bei den gedüngten Varianten wiederum eindeutiger

nachweisbar war. Das lag nicht nur daran, daß die Werte insgesamt eine größere Amplitude aufwiesen, sondern gleichfalls an den geringeren Streuungen zwischen den Mittelwerten der jeweils drei Wiederholungen.

Ein nur bei den Ergebnissen der Signifikanztests erkennbarer Unterschied zwischen den Trockengewichten und den Meßwerten lag in einer geringfügig verschobenen generellen Reaktion auf die Düngung (vgl. Tab.20 und 38): Bei den Trockengewichten war die Düngung nämlich überwiegend nur in Wechselwirkung mit der Beschattung, weniger als einzeln nachweisbarer Effekt nachweisbar. Bei den Meßwerten war es umgekehrt. Für die Sicherung der Düngewirkung in den einzelnen Beschattungsstufen jedoch schien das keine Bedeutung gehabt zu haben. Nahezu durchgängig hatte die Düngung noch in der Beschattungsstufe 4, also bei knapp 18 % der Außenhelligkeit, wie bei den Trockengewichten einen gesicherten Mehrzuwachs gebracht.

- Als Folge der zunehmenden Beschattung trat bei den Sproßlängen stets eine kontinuierliche Verminderung des Zuwachses ein (Tab.40). Niemals konnte eine Verstärkung des Triebblängenwachstums beobachtet werden. Ein Hinweis auf eine Etiolementwirkung kann höchstens - wie auch auf S.133 angesprochen - in der gegenüber den Trockengewichten erheblich langsameren Reaktion gesehen werden.

- Diese kontinuierliche Wachstumsverminderung äußerte sich in derselben Weise auch bei den Sproßdurchmessern, der Zahl der Zweige 1.Ordnung und den Wurzellängen. Bei Zugrundelegung eines logarithmischen Maßstabs (Abb.14), scheint - ebenso wie bei den Trockengewichten - auch bei diesen vier Messkriterien eine lineare Abhängigkeit von der relativen Lichtintensität zu bestehen.

- Wenn man die Sproßlängen gegen die Sproßtrockengewichte, die Zahl der Zweige 1.Ordnung gegen die oberirdische Substanzproduktion (Nadel- u. Sproßtrockengewicht) und die Wurzellängen gegen die Wurzeltrockengewichte graphisch aufträgt, so wird erkennbar, daß ebenso wie bei den Sproßdurchmessern und Sproß-

trockengewichten die Regression nicht linear, sondern in Form einer Parabel verläuft.

MERK- MALE (criterion)	MASS- EIN- HEIT (unit)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)														
			UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)					DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (diff. caused by fertilization)				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
SPROSS- DURCHMESSER (diameter of shoots at basis)	%	1 + 1	100	79	72	69	40	100	72	67	50	20	82	66	71	33	()
		1 + 2	100	75	88	68	28	100	89	81	60	16	86	120	73	64	+5
		1 + 3	100	76	77	37	15	100	75	73	35	16	38	36	32	32	0
SPROSS- LÄNGE (length of shoots)	%	1 + 1	100	85	100	95	87	100	76	75	65	34	187	158	115	97	12
		1 + 2	100	84	91	75	49	100	95	82	58	29	64	84	48	26	-2
		1 + 3	100	95	111	71	44	100	95	89	58	35	7	21	6	-16	-23
ZAHLD. ZWEIGE 1. ORDNUNG (number of bran- ches 1st ord.)	%	1 + 1	100	66	70	65	46	100	58	35	29	12	285	234	93	70	7
		1 + 2	100	71	90	74	53	100	92	106	74	35	67	116	96	66	11
		1 + 3	100	55	64	35	16	100	90	91	65	77	10	82	55	102	11
WURZELLÄNGE (length of roots)	‰	1 + 3	100	70	77	36	20	100	50	44	11	12	79	30	1	-46	+9

Tab. 40: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Zuwächse bei den morphologischen Merkmalen im jeweiligen Beobachtungsjahr der 2- bis 4-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967

Effects of shading and fertilization on the increments of the morphological criteria in the year of observation of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

- In Prozenten ausgedrückt war der durch die Düngung verursachte jährliche Mehrzuwachs nur im ersten Beobachtungsjahr bei den Sproßlängen und den Trieben 1. Ordnung ähnlich erheblich wie bei den Trockengewichten. In der Folge, und das gilt für die anderen Merkmale ebenso, verringerte er sich. Es fällt auf, daß die prozentualen Zuwachswerte von Jahr zu Jahr stark schwankten, obwohl die absoluten Größen, also die Summenwerte der Zuwächse mehrerer Jahre einschließlich der Vorgabe zu Versuchsbeginn, eine vernünftige, weil kontinuierlichere Abfolge zeigten.

Wenn man sich allerdings die Beziehung der genannten Meßgrößen zur Substanzproduktion vergegenwärtigt, wird abermals deutlich (vgl. S. 132), daß die Prozentwerte ohne entsprechende Korrekturen für Aussagen über das Wuchsverhalten der jungen Fichten unter den Versuchsbedingungen ungeeignet sind. So lag z.B. der Sproß- und auch der Wurzellängenzuwachs im 3. Beobach-

tungsjahr auf den gedüngten Fichten. Hieraus könnten falsche Schlußfolgerungen gezogen werden, wenn man nicht berücksichtigt, daß z.B. ein Längenzuwachs von 10 cm bei einer bereits 50 cm großen Pflanze hinsichtlich der Gesamtsubstanzleistung einen anderen Stellenwert hat, als 10 cm Längenzuwachs an einer nur 30 cm hohen. Diese Feststellung gilt aber gleichermaßen für die Merkmale Sproßdurchmesser und Triebe 1.Ordnung.

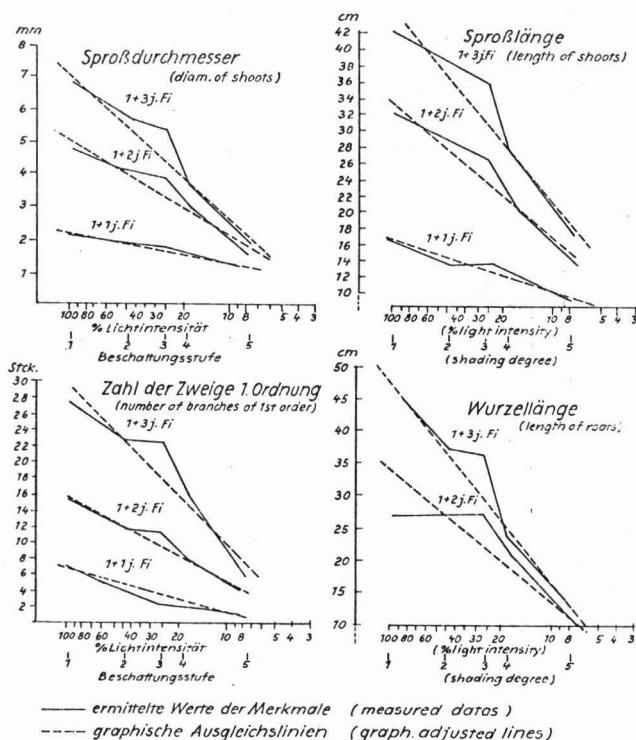


Abb.14: Die Veränderung mehrerer Meßkriterien mit dem Logarithmus der Strahlungsintensität, dargestellt am Beispiel der gedüngten Fichten im Beschattungsversuch 1967

Alterations of various morphological criteria related to the logarithm of the intensity of radiation, delineated with fertilized spruces in the shading experiment 1967

2. Beschattungsversuch 1969

Die der folgenden Besprechung zugrunde liegenden Daten finden sich in den Tabellen 41 und 42:

MERKMAL (criterion)	BESCHATTUNG DÜNG. B x D (degree of shading) (fertiliz) (s x f)				
	UNGED. (unfertili.)	GED. (fertiliz.)	UNGED. + GED.		
SPROSSDURCHMESSER (diameter of shoot)	+++	+++	+++	-	++
SPROSSLÄNGE (length of shoot)	+++	+++	+++	+	+++
ZWEIGE 1. ORDNUNG (branches 1st order)	+++	+++	+++	-	+++
WURZELLÄNGE (length of root)	+++	+++	+++	+	-
WURZELOBERFLÄCHE (surface of root)	+++	+++	+++	+	-

Tab. 41: Ergebnisse der Signifikanztests bei den morphologischen Merkmalen der 1+1-j. Fichten im Beschattungsversuch 1969

Results of F-tests from the morphological criteria of 1+1 year old spruces in the shading experiment 1969

MERK- MALE (criterion)	MASS- EIN- HEIT (unit)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)																	
		UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)					Diff. durch Düngung (diff. caused by fertil.)							
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
SPROSS- DURCHMESSER (diam. of shoots ad)	mm	2,53	2,27	1,90	1,87	1,57	1,10	3,10	2,73	2,13	2,03	1,57	1,10	0,57***	0,47***	0,23**	0,17*	0	0
SPROSSLÄNGE (length of shoots)	cm	14,9	13,8	12,2	12,5	12,4	10,3	20,8	21,3	17,2	15,2	13,0	10,0	5,9***	7,5***	5,0***	2,7***	0,6-	-0,3-
TRIEBE 1. ORD- NUNG (branches of 1. order)	Stück	6,1	5,4	3,5	2,5	2,2	1,1	11,7	11,2	4,7	3,0	2,1	1,2	5,5***	5,8***	7,2**	0,6+	-0,1-	-0,1-
WURZELLÄNGE (length of roots)	cm	27,6	23,3	19,0	18,5	17,7	14,1	27,2	24,9	20,4	20,0	17,9	13,9	-0,5-	+7,6**	+7,4**	+7,5**	0,2-	-0,2-
WURZELOBER- FLÄCHE (root surface)	cm²	19,8	17,3	9,6	10,6	8,3	4,7	25,0	22,1	11,1	11,7	8,1	4,5	5,2**	4,8**	1,5-	7,1-	-0,2-	-0,2-

Tab. 42: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die morphologischen Merkmale (Durchschnitt je Pflanze) bei den 1+1-j. Fichten im Beschattungsversuch 1969

Effects of shading and fertilization on the morphological criteria (means per plant) of the 1+1 year old spruces in the shading experiment 1969

- Ebenso wie bei den Trockengewichten war die Beschattung bei allen aufgeführten Werten wiederum das die stärkste Variation verursachende Moment. Wie auch schon bei den Ergebnissen der

Beschattungsanlage 1967 aufgezeigt, konnten hier ebenfalls die für die einzelnen Beschattungsstufen ermittelten Durchschnittsbesonderheiten des Sproßdurchmesser aber auch der Wurzellängen exakter gegeneinander abgesichert werden, als das bei den entsprechenden Trockengewichtskriterien möglich gewesen war (vgl. Tab.25 und 26).

- Die morphologischen Kenngrößen hatten beim Beschattungsversuch 1967 im ersten Jahr bereits eine etwas andere Reaktion auf die Düngung erkennen lassen als die Trockengewichte (vgl. S.137). Auch 1969 ließ sich, jedenfalls bei den Sproß- und Wurzellängen sowie den Wurzeloberflächen die Düngung als getrennt nachweisbarer Effekt erkennen (Tab.41), während sie bei den Nadel- und Sproßtrockengewichten (Tab.25) nur in Wechselwirkung mit der Beschattung, bei den Wurzelgewichten überhaupt nicht erschien. Hier ergeben sich demnach grundsätzliche, wenn auch nicht sehr erhebliche Unterschiede zwischen den auf die Trockengewichte und die genannten Meßkriterien basierten Aussagen.

Die Divergenz zwischen den Messungen von Länge, Oberfläche und dem Gewicht der Wurzeln läßt sich demnach, wenn überhaupt, wohl nur durch größere Streuungen zwischen den Wurzelgewichten der einzelnen Wiederholungen erklären, die möglicherweise durch noch anhängende Bodenpartikel bedingt sind.

- Die Wurzeltrockengewichte und Wurzeloberflächen wurden seinerzeit nur als Durchschnittswerte für jede Halbparzelle, nicht einzelpflanzenweise, hergeleitet. Diese Durchschnitte und die Mittelwerte für jede Beschattungsstufe der Tabellen 39 und 42 lassen, wenn man sie graphisch aufträgt, ebenfalls erkennen, daß die Regression der Wurzellänge und die der Wurzeloberfläche auf das Wurzeltrockengewicht in Form einer Parabel verläuft. Dasselbe gilt offenbar auch für die Beziehung der Wurzellänge zur Wurzeloberfläche. Wieweit nun allerdings Düngung und Beschattung eine Änderung der Steigung dieser Parabeln verursachen können, müßte noch mit von Einzelpflanzen gewonnenen Daten hergeleitet werden.

Die weiteren aus dem Datenmaterial noch ablesbaren Auswirkungen der Versuchsfaktoren entsprechen denen der bei den Trockengewichten bereits beschriebenen und gelten daher hier sinngemäß.

Dasselbe betrifft den Vergleich der Beschattungsversuche untereinander und mit den Ergebnissen der Freiflächenversuche, so daß hier gleichfalls auf die entsprechenden Ausführungen auf S.104 verwiesen und auf weitere Gegenüberstellungen verzichtet werden kann.

5.3 Nährstoffgehalte

Das bisher dargestellte Pflanzenmaterial wurde, soweit dies arbeitstechnisch zu bewältigen war, auf seine Nährstoffgehalte hin analysiert, um Aufschlüsse über die Wirkung der beiden Versuchsfaktoren Beschattung und Düngung sowie ihren Wechselwirkungen zu geben.

Als besonders aussagekräftig gilt die Analyse der Nadeln, da diese als laufend neugebildete Organe am besten ein Spiegel für die jeweilige Nährstoffversorgung der jungen Pflanzen sind. Im Folgenden wird deshalb das Schwergewicht der Besprechung auf die entsprechenden Ergebnisse der Nadelanalysen aus dem Beschattungsversuch 1967 gelegt und dabei versucht, einige grundsätzlichere Tendenzen aufzuzeigen. In diesem Versuch wurden jeweils gegen Ende der 3 Beobachtungsjahre Nadeln für Analysen gewonnen.

Die Ergebnisse der an dem Datenmaterial durchgeführten Signifikanztests finden sich in Tab.43, die Mittelwerte mit den Signifikanzgrenzen stehen in Tab. 44.

Dabei muß nochmals darauf hingewiesen werden, daß die Nadelproben stets Mischproben aus mehreren Nadeljahrgängen darstellten. Auf diese Problematik und den Anteil der Jahrgänge wurde auf S.99 bereits detailliert eingegangen.

Zusätzlich wurden im Herbst 1968 bei den 1+2-j. Fichten desselben Beschattungsversuchs auch die Nährstoffgehalte in Sprossen und Wurzeln bestimmt. Die Ergebnisse hiervon sowie die über die Trockengewichte hergeleiteten durchschnittlichen Werte für die Gesamtpflanzen finden sich in den Tab.47 und 48.

Zur Ergänzung der Aussagen wurden außerdem Nadelanalysen bei den 1+1-j. Fichten aus den Beschattungs- und Düngungsversuchen 1969 vorgenommen. Ihre Ergebnisse sind in den Tab. 49, 50 und 51 aufgeführt.

Das Analysenprogramm hatte anfangs nur die Hauptnährstoffe N, P, K und Ca umfaßt, war dann aber auf die Bestimmung von Mg, Fe und Al erweitert worden.

Für die bei der Erörterung der verschiedenen Nährstoffe gemachten allgemeineren Angaben über ihre pflanzenphysiologische Bedeutung wurden folgende Arbeiten herangezogen, aber im einzelnen nicht zitiert: GUSSONE (1964), REEMTSMA (1964), BAULE und FRICKER (1967), LYR, POLSTER und FIEDLER (1967), Handbuch der Pflanzenkrankheiten (1969). Obwohl bei der nachstehenden Darstellung der Analysenergebnisse die Erörterung der grundlegenden Reaktionen im Vordergrund stehen soll, weniger ein Vergleich der Versuchseinheiten untereinander, erscheint eine Gliederung nach den Versuchseinheiten dennoch unumgänglich, da sonst ein Überblick über das umfangreiche Material kaum mehr möglich ist.

5.31 Beschattungsversuch_1967

1. Stickstoff

Physiologische Bedeutung

Der Stickstoff ist ein wichtiges Bauelement für die Pflanze und findet sich hauptsächlich im Eiweiß. In den Betriebsstoffwechsel greift er über die Enzyme ein. Er wird weiter zum Aufbau der Nukleotide, des Chlorophylls und der Enzyme benötigt. Stickstoffmangel hemmt die Photosynthese stärker als der Mangel jedes anderen Elements und bewirkt eine Verringerung der Netto-Assimilation je Blattflächeneinheit. Er äußert sich durch gelbgrüne Färbung der Assimilationsorgane, während Stickstoffüberschuß eine deutliche Blaugrünfärbung zur Folge hat. Es ist deshalb einleuchtend, daß der Chlorophyllgehalt der Blätter und Nadeln in enger Beziehung zu ihrem N-Gehalt stehen soll.

Ergebnisse der Nadelanalysen (vgl. Tab.43 und 44)

Die N-Gehalte der Nadeln wurden am stärksten und bei den ungedüngten wie den gedüngten Varianten in der gleichen Weise durch die Beschattung beeinflusst.

Bei den im tiefen Schatten stehenden Fichten nahmen sie um durchschnittlich mehr als 50 % gegenüber den im hellen Licht wachsenden Pflanzen zu (Tab.45). Eine kleine Unstimmigkeit schien nur bei den Gehalten der ungedüngten Fichten am Ende der ersten Vegetationszeit aufgetreten zu sein, dort nämlich hatten die Pflanzen im mittleren Schatten (Besch.St.2 und 3) die

geringsten N-Gehalte. Diese Abweichung wird aber noch an anderer Stelle näher zu erörtern sein (vgl. S. 165).

NÄHR- ELEMENT (nutrient)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNG (shading)			DÜNGG. (fertiliz.)	B x D (S x F)
		UNGED (unfert.)	GEDÜNGT (fertiliz.)	UNG U. GED (unf + fertil)		
N	1+1	+	+++	+	-	+
	1+2	+++	++	+++	-	-
	1+3	+++	+++	+++	++	-
P	1+1	+	-	-	++	+
	1+2	+	+	-	++	+++
	1+3	-	-	-	+++	-
K	1+1	-	-	-	-	-
	1+2	+	+	++	-	-
	1+3	-	-	-	+++	-
Ca	1+1	+	-	-	+++	-
	1+2	-	-	-	+++	-
	1+3	+++	+	+++	+++	-
Mg	1+2	+	-	-	+++	-
	1+3	+	-	-	++	-
Fe	1+1	+	+	+	-	-
	1+3	-	+++	+++	-	++
GLÜH- RÜCKST. (ignited residue)	1+1	+	-	-	+++	+
	1+2	+	+	++	++	-
	1+3	-	+++	+	+++	-
C:N	1+1	+	+++	+	-	+
	1+2	+++	++	+++	-	-
	1+3	+++	+++	+++	-	-

Tab.43: Ergebnisse der Signifikanztests bei den Nadelanalysen der 2- bis 4-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967, nach den Aufnahmen Okt. 1967 bis Okt. 1969

Results of F-tests from the analyses of needles of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

Die Steigerung der N-Gehalte in der Trockensubstanz darf natürlich nicht darüber hinwegtäuschen, daß die insgesamt aufgenommene N-Menge je Pflanze wegen der stark verringerten Substanz-erzeugung bei den beschatteten Pflanzen trotzdem erheblich abnahm, allerdings stark unterproportional.

Als Beispiel seien dafür die 1+3-j. Pflanzen der gedüngten Parzellen genannt, die ja 3 Vegetationszeiten unter den Jalousien gestanden hatten. Im stärksten Schatten (Besch.St.5) produzierten sie nur 4,7 % der Nadelmasse von den Fichten im vollen Licht (Besch.St.1). Insgesamt lagerten sie aber eine Stickstoffmenge von 6,9 % ein.

NAHR- ELEMENT (nutrient)	ALTER (age) JAHRE (years)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)															DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilization)						
		UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)																
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5							
N (mg/100g TM)	1+1	2135	1564	1801	2132	2500	1867	2219	2509	2659	2634						-269*	+655***	+708***	+527***	+136	DÜNG. NICHTSIGNIF. (fertil. not signific.) - 94* -254*** -192* +25* -111*	
	1+2	1413	2083	2328	2479	2465	1588	2020	2320	2449	2473												
	1+3	1535	1931	2205	2060	2231	1440	1727	2013	2085	2120												
P	1+1	174	131	150	164	205	281	273	298	244	226						+106***	+142***	+148***	+80***	+21*		
	1+2	107	134	170	159	169	216	250	255	230	191						+116***	+116***	+85***	+71***	+22*		
	1+3	98	139	150	159	133	221	258	272	255	230						+104***	+119***	+123***	+96***	+97***		
K	1+1	924	760	818	896	932	940	879	915	857	916						DÜNGUNG NICHTSIGN. (fertil. not signific.)						
	1+2	657	681	707	702	955	715	680	671	627	945						"	"	"	"	"		
	1+3	792	757	753	855	699	908	871	870	928	922						+116***	+115***	+117***	+73*	+222***		
Ca	1+1	400	362	340	384	464	664	632	671	663	643						+264***	+270***	+331***	+279***	+279***		
	1+2	464	471	496	510	501	801	747	733	770	816						+337***	+276***	+237***	+260***	+315***		
	1+3	475	468	518	530	525	775	724	737	782	762						+299***	+256***	+219***	+252***	+237***		
Mg	1+2	53	60	65	87	94	121	123	113	119	125						+68***	+63***	+48***	+32**	+31**	DÜNG. NICHTSIGNIF. (fertil. not signific.) - 5* - 4* - 1* - 2* -16**	
	1+3	67	58	69	86	79	137	138	131	130	145						+76***	+81***	+62***	+44**	+66***		
Fe	1+2	19	22	19	22	33	18	18	19	23	41												
	1+3	21	20	19	22	28	16	15	19	20	44												
Al	1+2	47	50	45	45	50	38	39	37	39	43						-9***	-12***	-8**	-5*	-7**		
GLÜHRÜCK- STAND (ignited % residue)	1+1	40	37	34	35	43	44	48	48	45	52						+04**	+17***	+14***	+10***	+09***		
	1+2	28	28	31	33	40	37	40	38	39	54						+09*	+72*	+07*	+06*	+74**		
	1+3	40	39	40	41	45	46	45	46	49	55						+06*	+06*	+06*	+08**	+10***		
C:N	1+1	26	27	32	27	22	30	25	22	21	21						+38*	-11,8***	-97***	-58*	-13*	DÜNGUNG NICHT SIGN. (fertil. notsignif.) " " " " " "	
	1+2	41	27	24	23	23	36	28	24	23	22												
	1+3	36	28	25	27	25	38	33	27	26	26												

Tab.44: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Nährstoffgehalte der Nadeln (mg/100 g TM) von den 2- bis 4-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967

Effects of shading and fertilization on the nutrient contents (mg per 100 g dry matter) of the needles of the 2 to 4 years old spruces in the shading experiment 1967

PFLANZENTEIL (part of plant)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)					
	UNGEDÜNGT (unfertilized)			GEDÜNGT (fertilized)		
	1	3	5	1	3	5
GESAMIPFL. (total)	100	159	194	100	164	203
NADELN (needles)	100	165	174	100	146	156
SPROSSE (shoots)	100	152	191	100	174	226
WURZELN (roots)	100	153	216	100	188	247

Tab.45: Prozentuale N-Gehalte bei den 1+2-j. Fichten des Beschattungsversuchs 1967, bezogen auf die offenen Parzellen (=Besch.St.1), Aufnahme Herbst 1968

Percental contents of nitrogen of the 1+2 years old spruces in the shading experiment 1967, related to the open boxes (=shading degree 1)

- Die Düngung nun erbrachte höchst widersprüchliche Resultate. Nach der ersten Vegetationszeit wiesen die Fichten der meisten Beschattungsstufen nach Düngung höhere N-Gehalte auf, wie weit allerdings die ungleich großen Steigerungsraten zugleich durch die Beschattung beeinflusst worden waren, ließ sich nicht erkennen. Nach der nächsten Vegetationszeit bestand überhaupt kein Unterschied, nach der dritten schließlich lagen die N-Gehalte bei den gedüngten Fichten durchweg niedriger. Die negative Differenz war jedoch so uneinheitlich, daß sie zwar für den Gesamtversuch hochgesichert erschien, jedoch bei den einzelnen Beschattungsstufen wiederum nicht erkennen ließ, ob das unterschiedliche Lichtangebot den Düngungseffekt möglicherweise nicht doch beeinflusst hatte. Auch dieses Phänomen wird nochmals zu erörtern sein (vgl.S.169).

- Bei den gedüngten Varianten schienen sich die N-Gehalte mit zunehmendem Alter zu vermindern. Bei den ungedüngten Varianten hingegen waren die Ergebnisse nicht eindeutig. Da der Stickstoff in der Pflanze relativ leicht transportiert werden kann, ist unwahrscheinlich, daß die bei den Fichten der einzelnen Beschattungsstufen unterschiedlichen Anteile der einzelnen Nadeljahrgänge (vgl. Tab.23) einen Einfluß auf die durchschnittlichen N-Gehalte gehabt haben. Stattdessen hat vermutlich die N-Versorgung aus der Stickstoffgabe nicht mehr ausgereicht, um sie auch später noch auf dem anfangs erreichten Höchststand zu halten.

Gleichgültig, ob man nun die Grenzbereiche der Nährstoffkonzentration in den Nadeln nach WEHRMANN oder INGESTAD (Tab.46) heranzieht, so wird doch erkennbar, daß sich die N-Gehalte bei den Fichten der offenen Beschattungsstufen mit zunehmendem Alter rasch vom Optimal- zum Mangelbereich hin bewegten. Demgegenüber konnten die beschatteten, einschließlich der nur schwach beschatteten Fichten stets als gut bis sehr gut versorgt beurteilt werden.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j.Fichten
(vgl. Tab.47 und 48)

- Ebenso wie bei den Nadeln bewirkte die Beschattung auch bei

den Sprossen und Wurzeln eindeutige und ebenfalls starke, mit abnehmender Lichtintensität ansteigende N-Gehalte. Dabei lag die Zunahme bei den Sprossen und Wurzeln prozentual höher als bei den Nadeln (Tab.45).

NÄHR- ELEMENT (nutrient)	MANGEL (deficiency) GRENZBEREICHE NACH (critical concentration according to)		OPTIMUM GRENZBEREICHE NACH	
	INGESTAD	WEHRMANN	INGESTAD	WEHRMANN
N	0,9 - 1,8	0,8 - 1,3	1,8 - 2,4	1,2 - 2,0
P	0,07 - 0,10	0,05 - 0,11	0,10 - 0,3	0,13 - 0,20
K	0,3 - 0,7	0,15 - 0,33	0,7 - 1,1	0,45 - 1,25
Ca	0,02 - 0,09	0,1	0,09 - 0,6	0,08 - 1,33
Mg	0,02 - 0,09	0,02 - 0,07	0,09 - 0,16	0,11

Tab.46: Nährelementgehalte in Fichtennadeln (% der Trockenmasse) bei leichtem Mangel und gutem Wachstum. Grenzbereiche für Sämlinge nach INGESTAD (1962, zit. nach BAULE und FRICKER, 1967) und für Fichtennadeln allgemein nach WEHRMANN (zit. nach GUSSONE, 1964)

Contents of nutrients in spruces needles (% of dry matter) at slight deficiency and good growth. Limiting values for seedlings after INGESTAD (1962, cit. by BAULE and FRICKER, 1967) and for spruce needles in general after WEHRMANN (cit. by GUSSONE, 1964)

- Die Düngung hatte, wie bei den Nadeln schon aufgezeigt, auch bei den Sprossen und Wurzeln keinerlei Effekt gehabt.

- Bei den 1+2-j. Pflanzen erreichten die N-Gehalte der Nadel-trockenmasse durchschnittlich rd. doppelt so hohe Werte wie die der Wurzeln, während die Sprosse die Wurzeln diesbezüglich nochmals geringfügig (10-25%) unterschritten.

- Die Stickstoff-Gehalte in der Pflanze scheinen sich, nach dem graphischen Bild der in Tab.48 aufgeführten Werte zu urteilen (Abb.15), ebenso wie die Trockengewichte mit dem Logarithmus der Lichtintensität linear zu verändern.

Dieser Zusammenhang ist für die Stickstoffgehalte der Sprosse und Wurzeln offenbar eindeutig. Bei den Nadeln hingegen stören die zu niedrigen Werte der im tiefsten Schatten erwachsenen Fichten das Bild, während sich die der übrigen 4 Beschattungsstufen gut zu einer Gerade formieren.

NÄHR- ELEMENT (nutrient)	PFLANZEN- TEIL (part of plant)	BESCHATTUNG (degree of shading)		DÜNG. B/D (fertiliz. (sxf))	
		UNGED. (unfert.)	GED. I. UNGED. (fert.) + GED.		
N	GESAMT (Total)	+++	+++	+++	-
	NADELN (needles)	+++	++	+++	-
	SPROSSE (shoots)	++	+++	+++	-
	WURZELN (roots)	+++	+++	+++	-
P	GESAMT	++	++	++	+++
	NADELN	+	-	++	+++
	SPROSSE	++	+++	++	++
	WURZELN	++	++	+++	++
K	GESAMT	+	+++	+++	-
	NADELN	+	+	++	-
	SPROSSE	-	-	-	-
	WURZELN	++	++	+++	+++
Ca	GESAMT	-	++	+++	++
	NADELN	-	-	+++	-
	SPROSSE	-	-	+	-
	WURZELN	-	++	++	++
Mg	GESAMT	-	-	-	+++
	NADELN	+	-	-	+++
	SPROSSE	-	-	-	+++
	WURZELN	-	+	-	+++
Fe	GESAMT	+	++	+	+++
	NADELN	+	+	+	-
	SPROSSE	+	++	++	++
	WURZELN	+++	++	++	-
Al	GESAMT	-	-	-	+++
	NADELN	-	-	-	+++
	SPROSSE	-	++	++	+
	WURZELN	-	-	-	-
GLÜH- RÜCKSTAND (in %) (ignited residue)	GESAMT	-	+	+	+++
	NADELN	+	+	++	++
	SPROSSE	-	-	-	-
	WURZELN	-	-	-	+

Tab.47: Ergebnisse der Signifikanztests bei den Nährstoffanalysen aller Pflanzenteile der 1+2-j.Fichten im Beschattungsversuch 1967 (Aufn. Okt.1968)

Results of F-tests from the analyses of nutrients of all parts of plants of the 1+2 years old spruces in the shading experiment 1967

Dadurch kommt es, daß auch die N-Gehalte der Gesamtpflanze, die ja als gewogenes Mittel aus den drei Einzelwerten hergeleitet wurden, in der stärksten Beschattungsstufe etwas von dem Verlauf der Gerade abweichen.

Extrapoliert man nun die N-Gehalte der Nadeln über den Verlauf einer Ausgleichsgeraden von der Beschattungsstufe 1 bis 4 über die letztgenannte hinaus, so erhält man für die Beschattungsstufe 5 einen Wert in der Größenordnung 2,9% N, der weit besser in die Reihe der prozentualen N-Gehalte der Tabelle passen und für die Nadeln dieselbe Steigerungsrate wie die der Sprosse und Wurzeln aufzeigen würde (Tab.48).

NÄHR- ELEMENT (nutrient)	PFLANZEN- TEIL (part of plant)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)															DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertiliz.)				
		UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)														
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
N	GESAMT (total)	954	1330	1530	1633	1847	926	1274	1485	1614	1879	keine gesicherte Düngewirkg.									
	NADELN (needles)	1413	2083	2328	2479	2465	1588	2020	2320	2449	2473	(fertilization not significant)									
	SPROSSE (shoots)	635	773	965	1037	1213	556	824	970	1008	1256	"	"	"	"						
	WURZELN (roots)	714	969	1088	1203	1540	629	969	1182	1364	1555	"	"	"	"						
P	GESAMT	79	106	126	126	134	142	184	194	186	157	+63*** 78*** 67*** 60*** 24*									
	NADELN	101	134	170	159	169	216	250	255	230	191	+116*** 116*** 85*** 71*** 22*									
	SPROSSE	64	85	97	102	102	103	133	149	148	175	+39*** 53*** 53*** 47*** 14**									
	WURZELN	68	92	104	110	109	103	167	184	183	153	+35*** 75*** 80*** 73*** 44***									
K	GESAMT	507	534	578	602	692	536	580	578	596	736	keine gesicherte Düngewirkg.									
	NADELN	657	681	707	702	955	715	680	671	697	945	" " " "									
	SPROSSE	507	499	571	614	505	407	556	551	568	583	" " " "									
	WURZELN	309	372	425	417	412	341	464	477	472	480	+32* +92*** +52* +55* +70**									
Ca	GESAMT	352	347	365	366	368	503	483	479	494	593	+152*** 136*** 114*** 128*** 225***									
	NADELN	464	471	496	510	501	801	747	733	770	816	+337*** 276*** 260*** 260*** 315***									
	SPROSSE	286	276	281	282	261	326	301	276	281	297	+40*** +25* -7* -1* +35**									
	WURZELN	276	262	293	267	250	393	425	481	437	600	+117*** 162*** 188*** 171*** 350***									
Mg	GESAMT	63	67	70	84	80	106	113	114	118	116	+43*** 46*** 44*** 34*** 36***									
	NADELN	23	60	65	87	94	121	123	113	119	125	+60*** 63*** 48*** 32*** 31***									
	SPROSSE	62	61	65	79	67	94	99	100	79	98	+32*** 38*** 36*** 30*** 32***									
	WURZELN	77	84	83	85	74	109	126	142	133	129	+32*** 42*** 59*** 48*** 55***									
Fe	GESAMT	47	52	49	57	79	37	39	45	46	74	-11*** -73*** -3* -11*** -5*									
	NADELN	19	22	19	22	33	18	18	19	23	41	keine gesicherte Düngewirkung									
	SPROSSE	20	18	16	15	25	15	13	12	16	23	-5 -5 -3 -2 -2									
	WURZELN	112	137	136	174	275	115	128	156	144	266	keine gesicherte Düngewirkung									
Al	GESAMT	72	76	69	73	85	56	56	63	66	79	-75*** -20*** -7* -7* -6*									
	NADELN	47	50	45	45	50	38	39	37	39	43	-9*** -12*** -8*** -5* -7**									
	SPROSSE	38	36	35	34	42	32	30	30	35	46	-6** -6* -5* +1* +4*									
	WURZELN	137	164	153	176	247	139	140	171	169	243	keine gesicherte Düngewirkung									
GLÜH- RÜCKSTAND (in %) (lignited residue)	GESAMT	3,4	3,4	3,6	3,6	4,4	3,6	3,9	4,2	4,0	5,0	+02* 05*** 06*** 04* 06***									
	NADELN	2,8	2,8	3,1	3,3	4,0	2,7	4,0	3,8	3,9	5,4	+09* 1,2* 0,7* 0,6* 1,4**									
	SPROSSE	2,0	1,9	2,0	1,8	2,0	1,9	2,1	2,1	2,2	2,4	keine gesicherte Düngewirkung									
	WURZELN	5,4	6,2	6,4	6,9	9,2	6,9	7,6	9,0	7,9	9,2	+15*** 14*** 26*** 10** 0									

Tab.48: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Nährstoffgehalte (mg/100 g TM) aller Pflanzenteile der 1+2-j.Fichten im Beschattungsversuch 1967

Effects of shading and fertilization on the contents of nutrients of all parts of plants of the 1+2 years old spruces in the shading experiment 1967

2. Glührückstand, C-Gehalt und C:N-Verhältnis

Physiologische Bedeutung

Der Glührückstand ist zunächst nur eine Rechengröße, die im Verlauf der Nährstoffanalysen anfällt. Er gibt aber das Verhältnis der organischen zu den anorganischen Bestandteilen in der pflanzlichen Trockenmasse an und ermöglicht außerdem die Ermittlung des C-Gehaltes. Die Pflanzen nehmen neben lebenswichtigen Nährstoffen auch zahlreiche weitere Elemente und Verbindungen auf, die als nicht lebenswichtig bezeichnet werden. Trotzdem gibt die Kenntnis des Glührückstandes Hinweise auf physiologische Umstellungen nach Änderungen der Ökologi-

schen Ausgangsbedingungen, z.B. in Form vermehrter Einlagerung von SiO_2 .

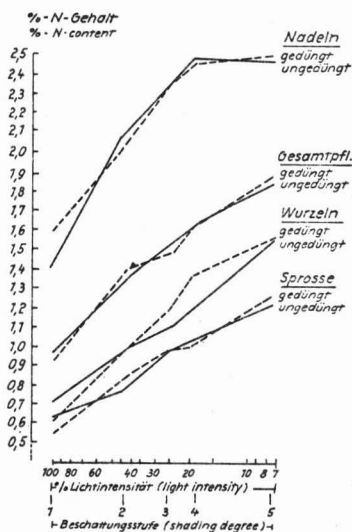


Abb.15: Die Veränderungen der N-Gehalte bei zunehmender Beschattung (bezogen auf den Logarithmus der Strahlungsintensität), dargestellt am Beispiel der 1+2-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967, Aufnahme Herbst 1968

Changes of contents of nitrogen caused by shading (in relation to the logarithm of the intensity of irradiance), shown at the 1+2 years old spruces of the shading experiment 1967

Ergebnisse der Nadelanalysen (Tab.43 und 44)

- Bei allen Varianten schien die Beschattung eine Zunahme des Aschenanteils und damit eine Reduzierung des C-Gehaltes bewirkt zu haben. Wegen der starken Streuung in den Ausgangsdaten ließ sich dieser Effekt jedoch nicht bei allen untersuchten Varianten absichern.
- Die Düngung hatte in jedem Fall eine deutliche Anhebung der Aschegehalte verursacht. Diese war - wenn man von den gelegentlich aufgetretenen, aber wohl zufälligen Abweichungen im Material absieht - , offenbar einheitlich bei allen Beschattungsstufen.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j. Fichten
(Tab. 47 und 48)

- Eine Beschattungswirkung im Sinne einer Zunahme der Aschegehalte schien zwar ebenfalls bei den Wurzeln und kaum erkennbar auch bei den Sprossen eingetreten zu sein, war jedoch nicht abzusichern. Immerhin zeigten auch die Mittelwerte der Sprosse und Wurzeln diesen Trend, sonst wäre eine Signifikanz bei den Aschegehalten der Gesamtpflanze nicht zu errechnen gewesen.
- Die Düngung hatte die Glührückstandsmengen der Sprosse nicht beeinflusst, wohl aber die der Wurzeln. Bei ihnen trat sie sowohl als signifikanter Einzelfaktor, als auch gesichert in Wechselwirkung mit der Beschattung auf. Anscheinend nahmen die Differenzen zwischen den gedüngten und den ungedüngten Varianten mit stärker werdender Beschattung ab. Betrachtet man allerdings die Aschegehalte der Gesamtpflanzen, so war nur eine etwa gleichstarke Zunahme bei allen Lichtabstufungen festzustellen.
- Die Aschegehalte der Wurzeln lagen weit über denen der Nadeln und diese wiederum z. T. erheblich über denen der Sprosse.

Der Verdacht liegt nahe, daß die höheren Ascheanteile der Wurzeln zumindest teilweise durch anhängende Sandkörner, die trotz großer Sorgfalt beim Waschen nicht entfernt werden konnten, bedingt sind. Dafür spricht, daß die Nährstoffgehalte der Wurzeln an P, K, Ca, Mg ungefähr denen der anderen Pflanzenteile entsprechen, also die Differenz aus dem Aschegehalt und den nachgewiesenen Nährstoffen wahrscheinlich in SiO_2 besteht.

Das C:N-Verhältnis bei den Nadeln

Als Maß für ein ausgewogenes Verhältnis von Eiweißen und Kohlehydraten in den Pflanzen wird gern der Quotient aus den C- und N-Gehalten benutzt. Dabei werden Werte von 20 bis 30 als günstig angesehen.

- Es zeigte sich nun, daß das C:N-Verhältnis bei den Nadelproben der 3 Beobachtungsjahre in den ungedüngten wie den gedüngten Varianten eindeutig durch die Beschattung beeinflusst worden war. Die Fichten der offenen Parzellen hatten Werte,

die wie auch schon die N-Gehalte eine nicht mehr optimale Stickstoffversorgung aufzeigten, während bei den beschatteten Pflanzen stets eine ausgewogene Kombination vorlag.

Dies Ergebnis entspricht dem der Stickstoffgehaltsbestimmungen und war zu erwarten, da die erheblichen Unterschiede bei den N-Gehalten die Proportion beider Elemente zwangsläufig stark beeinflussen mußte, und die C-Gehalte sogar, weil sie mit der Beschattung abnahmen, diesen Trend noch weiter stützten.

- Die Düngung hatte bereits bei den N-Gehalten, aber auch den Glührückständen (d.h. damit auch den C-Gehalten) unklare Ergebnisse erbracht. Es ist deshalb verständlich, daß auch bei den C:N-Werten keine durchgängige Wirkung erkennbar wurde.

3. Phosphor

Physiologische Bedeutung:

Die Phosphorsäure ist sowohl Bestandteil lebenswichtiger Baustoffe, wie der Phosphorlipide, der Nucleotide und der Funktionsgruppen vieler Coenzyme als auch durch ihre Eigenschaft, energiereiche Pyrophosphatverbindungen zu bilden, an vielen energetischen Stoffumsetzungen beteiligt. Zu den wichtigsten zählen hierbei die Photosynthese, sowie der Kohlenhydrat- und der Eiweißstoffwechsel. Bei Phosphorsäuremangel kommt das Wachstum zum Stillstand, ohne daß die vegetativen Organe zunächst geschädigt werden.

Ergebnisse der Nadelanalysen (Tab.43 und 44)

- Die Wirkung der Beschattung auf die P-Gehalte der Nadeln war widersprüchlich und unscharf. Signifikante Unterschiede wurden bei den ungedüngten und den gedüngten Varianten der drei Beobachtungsjahre nicht durchgängig erzielt. Danach schien bei den ungedüngten Fichten der P-Gehalt mit der Beschattung zuzunehmen, während bei den gedüngten die höchsten Werte - soweit überhaupt gesicherte Differenzen eintraten - bei den mittleren Beschattungsgraden lagen, und sowohl die Pflanzen in vollem Licht wie die in tiefen Schatten die geringsten Werte aufwiesen. Dieser voneinander abweichende Sachverhalt führte verständlicherweise dazu, daß die Beschattungswirkung über die Düngungsvarianten hinweg nicht mehr abzusichern war.

- Durch die Düngung hingegen trat stets eine eindeutige Erhöhung der P-Gehalte ein. In den beiden ersten Beobachtungsjahren wurde sie noch durch die Beschattung beeinflusst, d.h. mit zunehmender Beschattung verringerte sich diese Erhöhung, im dritten Jahr jedoch war die Differenz in allen Beschattungsstufen nahezu gleich groß und höchstgesichert.
- Die Unterschiede zwischen den P-Gehalten der Fichtennadeln in den einzelnen Jahren lassen keine Interpretation über gerichtete Veränderungen in den Pflanzen mit zunehmendem Alter zu.
- Bezogen auf die in Tab.46 angegebenen Grenzwerte können die ungedüngten Fichten als mäßig bis mittel, die gedüngten aber durchweg als gut bis hervorragend mit Phosphorsäure versorgt bezeichnet werden.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j.Fichten
(Tab.47 und 48)

Die Analyse auch der anderen Pflanzenteile bei den dreijährigen Fichten der Beschattungsanlage 1967 bestätigt zwar in einigen Punkten die dargestellten aus den Nadelanalysen hergeleiteten Aussagen, erleichtert aber damit nicht ihre Interpretation:

- Bei den Sprossen und den Wurzeln der ungedüngten Fichten hatte die Beschattung in etwas stärkerem Maße als bei den Nadeln eine Zunahme der P-Gehalte bewirkt. Bei den gedüngten Pflanzen trat sie - gleichfalls besser abzusichern - nur bei mittelstarker Beschattung ein. Zwischen den Extremen: Volles Licht und tiefer Schatten bestanden wiederum kaum Unterschiede. Dieser merkwürdige Sachverhalt läßt sich besonders schwer ausdeuten, da auch in der Literatur keine vergleichbaren Ergebnisse auffindbar sind. Anders als bei den Nadelgehalten hoben sich die Trends der Steigerungsraten als Folge der Beschattung aber in der Analyse über die Düngungsvarianten hinweg nicht auf, sondern sie blieben nach wie vor als hochsignifikanter Effekt nachweisbar.

- Die Düngung hatte bei den Sprossen und Wurzeln gleichfalls die P-Gehalte angehoben. Diese Erhöhung war allerdings weniger deutlich als bei den Nadeln durch die Beschattung beeinflusst worden. Das ließ sich besonders dadurch nachweisen, daß bei den Gehalten der Gesamtpflanzen keine Wechselwirkung der beiden Versuchsfaktoren mehr auftrat.
- Die P-Gehalte der Wurzeln und Sprosse waren gleich, die der Wurzeln nur bei den gedüngten Varianten etwas höher. Demgegenüber wiesen die Nadeln stets höhere Gehalte auf, im Extrem doppelt so hohe wie die Sprosse.

Das N:P-Verhältnis

In der Pflanze ist nicht nur die Konzentration oder Menge der einzelnen Nährstoffe für den Ertrag wichtig, sondern ebenso das Verhältnis zweier oder mehrerer Nährstoffe zueinander. Ein ausgewogenes Nährstoffverhältnis ist nicht nur bei Nähr- elementen mit antagonistischer Funktion, sondern auch bei solchen notwendig, die gemeinsam wirksam werden oder chemisch miteinander verbunden sind. Dies ist bei N und P der Fall, da sie in Eiweißverbindungen zusammen vorkommen. Bei P-Mangel z.B. wird die Eiweißsynthese gehemmt. Nach STREBEL (1961, zit. bei REEMTSMA, 1964) wird ein Verhältnis von 8:1, bzw. 10:1 als harmonisch angesehen.

Berechnet man das N:P-Verhältnis für die 1+2-j. Fichten des Beschattungsversuchs 1967 anhand der Mittelwerte in Tab.48, so ergibt sich eine nur geringe Veränderung der Quotienten bei den ungedüngten Fichten, eine sehr starke jedoch bei den gedüngten Fichten - und zwar gleichsinnig für alle Pflanzenteile (Abb.16). Die Werte der Nadeln lagen dabei etwas ungünstiger als die der Sprosse und Wurzeln.

Hiernach zu urteilen, hat also die Düngung einen sehr markanten Effekt gehabt, der offenbar nur in den mittleren Beschattungsstufen zu einem ausgewogenen Verhältnis der beiden angesprochenen Nährstoffe führte, während die Beschattung eine ungünstigere Kombination bewirkte.

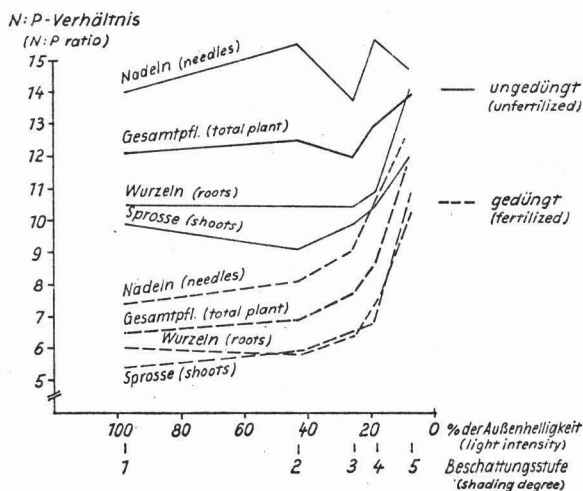


Abb.16: Das N:P-Verhältnis in den einzelnen Pflanzenteilen der 1+2-j. Fichten im Beschattungsversuch 1967, nach der Aufnahme vom Herbst 1968

N:P-ratio in the different parts of the 1+2 years old spruces of the shading experiment 1967

4. Kalium

Physiologische Bedeutung

Die Wichtigkeit des Kaliums im pflanzlichen Organismus liegt in seiner osmotischen und kolloidchemischen Wirksamkeit und in der Erhaltung der Struktur protoplasmatischer Komplexe. Es beeinflusst den Zustand des Plasmas und indirekt die Fermentaktivitäten. So greift es in die Photosynthese ein durch Schaffung eines für die enzymatischen Abläufe notwendigen optimalen Milieus.

Bei Kalimangel wird der Turgor in den Zellen herabgesetzt und dadurch Transpiration und Atmung gesteigert. Bei vermindertem Turgor nehmen zugleich die Dürre- und Frostreistenz ab. Weiterhin tritt bei starkem Lichteinfluß die sog. Photooxydation von Chlorophyll auf, wodurch die Nadeln grün- bis blaßgelb erscheinen.

Ergebnis der Nadelanalysen (Tab.43 und 44)

Der Aussagekraft der Pflanzenanalysen wird besonders beim Kalium in der Literatur Bedeutung beigemessen. Leider lieferten

die in den drei Beobachtungsjahren durchgeführten Analysen aber keine sehr klaren Ergebnisse:

- Nur im zweiten Jahr ließ sich bei den Nadeln eine Erhöhung der Kaligehalte mit zunehmender Beschattung absichern, die bei den ungedüngten und den gedüngten Varianten weitgehend parallel verlief und folglich in der zusammenfassenden Analyse eine verbesserte Absicherung dieses Effektes gab. In den anderen beiden Jahren hingegen deutete sich eine Beschattungswirkung nicht einmal schwach an.

- Auch die Düngung erhöhte nur einmal, nämlich im 3. Beobachtungsjahr die K-Gehalte signifikant.

Angeichts der guten Löslichkeit und Pflanzen-Aufnehmbarkeit von Kalidüngern im Boden hätte man eher eine Kaliwirkung in den ersten beiden Jahren vermutet, da nämlich jeweils im Frühjahr Patentkali gegeben worden war. Aber erst im 3. Jahr trat eine Düngewirkung höchstgesichert und von der Beschattung unbeeinflusst ein. Die durch die Düngung verursachten positiven Differenzen der K-Gehalte schwankten allerdings in den einzelnen Beschattungsstufen nicht unerheblich und schlossen damit eine eindeutige Interpretation aus.

- Mit zunehmendem Alter soll zwar die K-Konzentration der Nadeln abnehmen, die Gehalte werden jedoch auch durch die Witterung beeinflusst (REEMTSMA, 1964). Aus den vorliegenden Werten läßt sich jedenfalls kein so oder so gearteter Trend ableiten.

- Nach den in Tab.46 angegebenen Grenzen können die K-Gehalte der Nadeln sämtlichst dem Optimalbereich zugeordnet werden. Die sehr weit gefaßten Grenzbereiche lassen jedoch keine differenziertere Einordnung der hier gefundenen Werte zu.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j.Fichten Tab.47 und 48)

- Im 2. Beobachtungsjahr waren die K-Gehalte der Wurzeln wie die der Nadeln durch die Beschattung gesichert gesteigert worden. Auch bei den Sprossen lag, zumindest gilt das für die gedüngten Varianten, der gleiche, allerdings nicht absicherbare Trend vor, so daß die K-Gehalte in den Gesamtpflanzen höchstgesichert bei den beschatteten Pflanzen anstiegen.

- Eine Düngewirkung hingegen zeigte sich nur bei den Wurzeln, und zwar unabhängig von der Beschattung. Sie fand allerdings bei den anderen Pflanzenteilen keine Entsprechung und kam deshalb auch in den K-Gehalten der Gesamtpflanzen nicht mehr zum Ausdruck.

- Die Gehalte der verschiedenen Pflanzenteile wichen deutlich voneinander ab: Die der Nadeln lagen durchschnittlich etwa doppelt so hoch wie die der Wurzeln, die der Sprosse nahmen die Mitte dazwischen ein.

5. Calcium

Physiologische Bedeutung

Calcium ist Baustein der pflanzlichen Zelle (z.B. als Bestandteil der Mittellamellen, wie auch von Phytin und Pektin) und wesentlich an Stoffwechselvorgängen beteiligt. Es wirkt bei der Stabilisierung der Protoplasmastruktur, der Regulierung der Zellhydratation mit und beeinflusst die Permeabilitätsverhältnisse bei der Ionenaufnahme und -ausscheidung. Es ist hierbei vor allem Antagonist des Kalium, steht aber auch zu anderen Nährelementen in gegensätzlicher Beziehung, so z.B. zum Eisen, Mangan und Bor. Mangelerkrankungen äußern sich durch gehemmtes Wachstum, besonders beim Wurzelsystem und durch nekrotische Blattveränderungen.

Ergebnisse der Nadelanalysen (Tab. 43 und 44)

- Genau umgekehrt wie bei den Kalidgehalten hatte die Beschattung im 1. und 3. Beobachtungsjahr die Ca-Gehalte gesichert verändert, im 2. Jahr jedoch nicht. Bei den ungedüngten Varianten trat die Tendenz einer Zunahme der Ca-Konzentrationen in stärkerem Schatten eindeutig zu Tage. Bei den gedüngten Varianten schien sich - ähnlich wie bei den P-Gehalten, allerdings in umgekehrter Reihenfolge - mit zunehmendem Alter der Pflanzen der Trend herauszubilden, daß die Ca-Gehalte im mittleren Schattenbereich gegen die Extremwerte abwichen, während sich die Extreme wiederum voneinander nicht unterschieden - ein vergleichbarer Befund also, wie er schon bei den Phosphorgehalten festgestellt worden war.

- Die Düngung jedoch brachte sehr klare Ergebnisse: In allen 3 Beobachtungsjahren zeigten sich etwa gleichgroße Konzentrationserhöhungen bei den Pflanzen aller Beschattungsstufen.
- Bezogen auf die Grenzwerte der Nährstoffgehalte nach Tab.46 lagen die Ca-Gehalte der ungedüngten wie der gedüngten Fichten in allen 3 Beobachtungsjahren im oberen Optimalbereich. Vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr trat eine in allen Beschattungsstufen gleichgroße Zunahme der Ca-Gehalte ein. Dann blieben die Werte anscheinend konstant.
- Das K:Ca-Verhältnis in den Nadeln der 3 untersuchten Jahrgänge streute bei den ungedüngten Fichten um den Wert 1,4, ohne daß ein Beschattungseinfluß erkennbar war. Bei den gedüngten Fichten lag es zwar insgesamt niedriger, zeigte jedoch auch hier keine eindeutigen Abhängigkeiten von der Beschattung. Da nun nach WEHRMANN (1959, zit. n. REEMTSMA, 1964) das K:Ca-Verhältnis der Winternadeln nichts über den physiologischen wichtigen Sommerzustand aussagt, wird hier auf eine weitere Erörterung verzichtet.

Ergebnisse der Gesamtanalysen der 1+2-j.Fichten

(Tab.47 und 48)

Bei der Analyse der anderen Pflanzenteile von den 1+2-j. Fichten zeichnete sich ein von den bisherigen Ausführungen nicht sehr abweichendes Bild ab.

- Der Beschattungseffekt äußerte sich überhaupt nur bei den Wurzeln der gedüngten Fichten gesichert. Die Nadeln und Sprosse der gedüngten Fichten unter der stärksten Beschattung hatten jedoch ebenfalls stets die höchsten Ca-Konzentrationen aufgewiesen. Deshalb ließen sich diese in der Gesamtpflanze hochsignifikant gegen die aller anderen Beschattungsstufen absichern. Zwischen den Mittelwerten der Stufen 1-4 bestanden jedoch wie bei den ungedüngten Varianten keine überzufälligen Unterschiede.

- Auch hinsichtlich der Ca-Gehalte von Wurzeln und Sprossen war die Düngung - wie bei den Nadeln - der stärkere Faktor.

Entsprechend dem bereits angesprochenen Beschattungseinfluß war die Erhöhung der Ca-Gehalte in den Wurzeln der stark beschatteten Fichten und in den Gesamtpflanzen höher. Daraus wird der Nachweis einer hochgesicherten Wechselwirkung trotz bereits höchstgesichertem Düngungseffekt verständlich.

- Bei den ungedüngten Varianten unterschieden sich die Ca-Gehalte der Sprosse und Wurzeln nicht, die der Nadeln lagen durchweg rd. doppelt so hoch. Bei den gedüngten Varianten hingegen zeigte sich, daß die Pflanzenteile sehr unterschiedlich von der Kalkgabe profitiert hatten: Die Ca-Gehalte der Sprosse waren nur geringfügig angehoben worden, die der Wurzeln lagen jetzt um rd. 60, die der Nadeln um rd. 150 % über denen der Sprosse.

6. Magnesium

Physiologische Bedeutung

Als Baustein des Chlorophylls übt Magnesium eine direkte Wirkung auf die Photosynthese aus. Es besitzt aber nicht nur für diese und damit indirekt für die Kohlenhydratbildung, sondern auch für zahlreiche Stoffwechselprozesse eine zentrale Bedeutung als Fermentbestandteil und Aktivator von Enzymreaktionen. Zusammen mit Ca und K beeinflußt das Magnesium den Quellungszustand der Plasmakolloide. Die Pflanze benötigt daher ein Mehrfaches der im Chlorophyll festgelegten Mg-Menge. Chlorophyllschäden können bereits auftreten, wenn die Gesamt-Mg-Mengen des im Chlorophyll gebundenen Mg noch ausreichen.

Ergebnisse der Nadelanalysen (Tab.43 und 44)

Magnesium wurde am Ende des 1. Beobachtungsjahres nicht analysiert, daher liegen lediglich die Daten vom Herbst 1968 und 1969 mit folgenden Ergebnissen vor:

- Die Beschattung erhöhte nur auf den ungedüngten Parzellen die Mg-Gehalte der Nadeln gesichert und zwar im 2. Beobachtungsjahr etwas stärker als im 3. Bei den gedüngten Fichten hingegen trat keinerlei gesicherte Veränderung dieser Gehalte ein. Nicht einmal ein schwacher Trend war erkennbar. Deshalb ließ sich die Beschattung über die Düngungsvarianten hinweg

auch nicht als wesentlicher Versuchsfaktor nachweisen.

Stattdessen kam der Düngungseffekt in allen Beschattungsstufen stark zum Vorschein.

Die genannte gesicherte Beschattungswirkung bei den ungedüngten Varianten war nur so gering gewesen, daß eine Beeinflussung des Düngungseffektes in Form einer gesicherten Wechselwirkung nicht eintrat.

- Nach den Grenzwerten von INGESTAD und WEHRMANN (Tab.46) lagen die Mg-Gehalte der ungedüngten Fichten im Mangelbereich, nur die der am stärksten beschatteten Fichten nicht. Diese hatten offenbar als Folge ihrer ohnehin nur geringen Stoffproduktion ihren Bedarf an Mg voll decken können. Die Wirkung der Beschattung wäre also nur indirekt zu verstehen. Nach der Düngung jedoch stand für alle Pflanzen, unabhängig vom Beschattungsgrad genügend Mg zur Verfügung, so daß keine Beschattungsunterschiede mehr auftauchten.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j.Fichten
(Tab.47 und 48)

- Gegenüber den Nadelgehalten war das Mg in den Sprossen und Wurzeln bei den ungedüngten Varianten nicht gesichert durch die Beschattung erhöht worden. Trotzdem ließ sich bei den Gehalten der Gesamtpflanzen andeutungsweise eine schwache Zunahme mit der Beschattung erkennen.

Bei den gedüngten Fichten wurden zwar die Gehalte der Wurzeln signifikant durch die Beschattung verändert, die Abfolge der Mittelwerte läßt jedoch keine eindeutige Interpretation zu, außerdem wiederholte sich bei den Mg-Konzentrationen der Gesamtpflanzen nicht die bei den ungedüngten Varianten bemerkte Tendenz.

- Bei allen Pflanzenteilen übereinstimmend hatte die Düngung eine gleichmäßige Erhöhung der Mg-Gehalte bei sämtlichen Beschattungsstufen zur Folge gehabt.

- Die Mg-Gehalte der einzelnen Pflanzenteile unterschieden sich bei den ungedüngten Varianten nur unwesentlich. Von der

Düngergabe profitierten dann die Nadeln und Wurzeln mehr als die Sprosse.

7. Eisen

Physiologische Bedeutung

Das Element Eisen ist an der Chlorophyllsynthese und durch Mitwirkung beim Enzymaufbau an Atmungsvorgängen beteiligt. Dem Eisen wird weiterhin eine Beteiligung bei der Nitratreduktion zugeschrieben. Jedenfalls steht die Fe-Chlorose in Zusammenhang mit dem N-Stoffwechsel.

Ergebnisse der Nadelanalysen (Tab.43 und 44)

- Nur bei der stärksten Beschattung (Stufe Nr.5) trat eine gesicherte Erhöhung der Fe-Gehalte ein. Die statistischen Ergebnisse wurden zwar etwas durch die erhebliche Streuung zwischen den Einzelproben belastet, insgesamt gesehen war der Trend jedoch eindeutig.

- Im 2. Beobachtungsjahr 1968 ließ sich kein Düngeeffekt nachweisen. 1969 jedoch bildete sich eine hochgesicherte Wechselwirkung aus Beschattung und Düngung heraus.

Sie erscheint fehlerhaft, wenn man die durch Düngung verursachten Differenzen in den einzelnen Beschattungsstufen ansieht, obwohl die Mittelwerte der Beschattungsstufen 1, 2 und 5 auf Einzelwerten mit relativ geringen Streuungen basieren, also keine "Ausreißer" aufweisen. Eine Interpretation ist deshalb nicht möglich.

- Für die Fe-Gehalte von Fichtennadeln werden in der Literatur keine Angaben über die als optimal oder mangelhaft zu bezeichnenden Grenzbereiche gemacht. GÜTTLER (1941), nennt Werte für die Assimilationsorgane von Nadel- und Laubbäumen zwischen 50 und 420 ppm. REEMTSMA (1964) gibt Fe-Gehalte von Fichtennadeln in der Größenordnung von 2-60 mg/100 g TM an, soweit man diese Werte jedenfalls seinen Graphiken entnehmen kann. Demnach liegen die im Beschattungsversuch ermittelten Werte in demselben Rahmen.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j.Fichten

(Tab.47 und 48)

- Bei allen Pflanzenteilen wirkte sich die Beschattung gleichermaßen in einer Erhöhung der Fe-Gehalte aus, wobei die

Unterschiede bei den gedüngten Varianten noch etwas markanter waren. Bei den Wurzeln der ungedüngten Varianten deutete sich außerdem an, daß die Fe-Gehalte mit der Beschattung offenbar zunächst nur schwach und erst bei stärkeren Graden erheblich zunahmen. Am schwächsten schien der Anstieg der Fe-Gehalte bei den Sprossen zu sein.

- Gegenüber den Fe-Gehalten der Nadeln und Wurzeln trat nur bei den Sprossen eine hochgesicherte Verringerung der Eisenkonzentration als Folge der Düngung ein. Diese Absenkung muß jedoch der Tendenz nach auch bei den anderen Pflanzenteilen vorgelegen haben, sonst hätte sich nicht für die Gehalte der Gesamtpflanzen eine sogar höchstgesicherte Verminderung errechnen lassen.

- Die Fe-Gehalte der Sprosse lagen nur geringfügig unter denen der Nadeln. Demgegenüber wiesen die Gehalte der Wurzeln je nach Beschattungsstufe eine 5- bis 10-fache höhere Konzentration auf.

Nach LEH (1969) sind derart hohe Eisengehalte in den Wurzeln, wie sie in der Literatur verschiedentlich angegeben werden, zumindest teilweise auf fehlerhafte Analysen zurückzuführen. Nach mehreren Autoren (zit. bei LEH) habe sich nämlich gezeigt, daß sich auf der Wurzeloberfläche, bzw. in den äußersten Zellschichten der Exodermis starke Niederschläge von Eisenverbindungen abscheiden. Es ist nicht auszuschließen, daß dieser Sachverhalt hier gleichfalls vorlag. Demnach lassen sich die steigenden Fe-Gehalte der Wurzeln bei zunehmender Beschattung aus der überproportionalen Zunahme der Wurzeloberfläche bezogen auf das Wurzelvolumen, bzw. in diesem Falle indirekt aus dem Verhältnis von Wurzeloberfläche zu Wurzelgewicht erklären (vgl. S.137). Trotzdem bleibt die Übereinstimmung der Fe-Gehalte bei den Wurzeln mit denen von Nadeln und Sprossen erhalten und die Vermutung weiterbestehen, daß ein möglicher Analysenfehler die Ergebnisse eben nur teilweise entstellt haben kann.

Zwischen Aufnahme und Transport des Eisens innerhalb der Pflanzen bestehen enge Beziehungen zu anderen Nährstoffen, vor allem N, P, K und Ca, so daß mehrere Relationen von Nährelementen zueinander, besonders das P:Fe-Verhältnis auf ihre Aussagekraft besonders bei Chlorosen untersucht wurde. Sie scheinen jedoch umstritten. Auch lagen im Beschattungsversuch keine Chlorosen vor. Deshalb wird hier von einer weiteren Diskussion abgesehen.

8. Aluminium

Physiologische Bedeutung

Aluminium zählt zu den Elementen mit überwiegend toxischer Wirkung auf das Pflanzenwachstum. Die hemmende Wirkung höherer Al-Konzentrationen erstreckt sich primär auf das Wurzelwachstum. Mit zunehmender Azidität der Bodenlösung steigt die Menge an pflanzenverfügbarem Al stark an, so daß dann Schäden durch zu hohe Aluminiumionen-Konzentrationen eintreten können.

Aufgrund von fehlerhaften Analysen im Herbst 1969 stehen nur die Werte der Aufnahme 1968 zur Verfügung.

Ergebnisse der Gesamtanalysen bei den 1+2-j.Fichten

(Tab.47 und 48)

- Eine sichere Beschattungswirkung zeigten nur die Al-Gehalte der Sprosse bei den gedüngten Fichten. Bei ihnen nahmen die Al-Konzentrationen mit der Beschattung eindeutig zu. Aber auch in den Sprossen der ungedüngten Fichten steckte dieser Trend, so daß bei der Analyse über die Düngungsvarianten hinweg der Beschattungseffekt hochsignifikant herauskam. Selbst im übrigen Material der gedüngten Varianten, das keine Signifikanzen bei den F-Tests ergeben hatte, deutete sich diese Tendenz an, wenn man die Grenzdifferenzen nach DUNCAN berechnete (vgl.auch S. 82).
- Die Reaktion der einzelnen Pflanzenteile hinsichtlich ihrer Al-Speicherung in Abhängigkeit von den Düngungsgaben war unterschiedlich. Die Wurzeln hatten nach der Düngung mehr oder minder gleiche Gehalte, die Sprosse wiesen etwas verringerte Konzentrationen auf, deren Höhe allerdings durch die Beschattung beeinflußt worden war. Bei den Nadeln schließlich wirkte die Düngung unabhängig von der Beschattung. Auch die Gehalte der Gesamtpflanzen zeigten für alle Beschattungsstufen eine gesicherte Verringerung.

Das ist sehr einleuchtend, da in den gedüngten Parzellen die Bodenazidität durch die Kalkung verringert und dadurch mit Sicherheit weniger pflanzenaufnehmbares Aluminium zur Verfügung stand (vgl. Tab.48).

- Wie bei den Fe-Gehalten zeigten die Wurzeln auch hinsichtlich der Al-Gehalte gegenüber den diesbezüglich kaum unterschiedenen Nadeln und Sprossen vielfach höhere Konzentrationen. Als Erklärung kann eine ebenfalls von LEH (1969) zitierte Beobachtung herangezogen werden, nach der sich das von den Pflanzen aufgenommene Aluminium in den Wurzeln anreichert, wo es im Rindenparenchym oder im "free space" als Phosphat ausgefällt wird.

5.32 Beschattungsversuch 1969

Bei dieser Versuchseinheit wurden nur Nadelanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tab.49 und 50 zusammengestellt. Sie sollen nachfolgend weitgehend unter dem Gesichtspunkt der Überprüfung der bisher gemachten Aussagen interpretiert werden.

NAHR- ELEMENT (nutrient)	BESCHATTUNG (shading)		DÜNGG.		$\frac{B \times D}{(s \times f)}$
	UNGED. (unfert.)	GEDÜNGT. (fertilized.)	UNGED. U. GED. (unf. + fertil.)	(fertil.)	
N	-	++	+	-	-
P	++	++	++	++	+
K	-	+	-	-	++
Ca	-	-	-	+++	-
Mg	+++	-	+++	+++	-
Fe	+	-	-	-	+++
Al	-	-	-	-	-
GLÜHRÜCKST. (ign. residue)	+++	-	++	++	-
C : N	-	++	+	-	-

Tab.49: Ergebnisse der Signifikanztests bei den Nadelanalysen der 1+1-j.Fichten im Beschattungsversuch 1969

Results of F-tests from the analyses of needles of the 1+1 year old spruces in the shading experiment 1969

Ein direkter Vergleich mit den Werten der 1+1-j. Fichten des Beschattungsversuchs 1967 ist nur bei den Nährelementen N, P, K, Ca möglich. Mg, Fe und Al wurden, wie bereits erwähnt, erst ab Herbst 1968 bestimmt. Die Daten der 1+1-j. Fichten aus dem Beschattungsversuch 1969 können deshalb nur zur Beur-

teilung darüber dienen, wie rasch eine feststellbare Aufnahme der beiden Elemente Mg und Fe erfolgt. Die Al-Bestimmung war 1969 fehlerhaft, scheidet deshalb hier aus.

NAHR- ELEMENT (nutrient)	BESCHATTUNGSSTUFEN (degree of shading)															DIFFERENZ DURCH DÜNGUNG (difference caused by fertilization)	
	UNGEDÜNGT (unfertilized)					GEDÜNGT (fertilized)											
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2		3
N	2297	2454	2049	1978	2134	2474	2150	2376	2151	2311	2302	2515	[-147 -78 +102 +333 +168 +39]				
P	237	210	207	189	161	227	281	307	263	236	177	229	+44* +97** +61* +47* +16* +2*				
K	754	720	599	565	641	820	964	885	776	708	843	711	+210*** +155** +177*** +143** +202*** -109*				
Ca	509	453	420	493	469	497	639	658	730	746	776	710	+130** +205*** +370*** +253*** +307*** -219***				
Mg	75	73	61	81	90	115	121	131	123	126	146	147	+46*** +58*** +62*** +45*** +56*** +32**				
Fe	22	18	78	21	25	35	21	29	27	24	30	26	-1* +17*** +9*** +3* +5* -9***				
GLÜHRÜCKSTAND (lignited residue)	4,1	3,9	3,6	4,0	4,1	5,3	4,9	5,2	4,9	4,8	5,2	5,8	+0,8*** +1,3*** +1,3*** +0,8*** +1,1*** +0,5**				
C: N	25	23	28	28	26	22	26	23	26	24	24	22	keine gesicherte Düngewirkung (fertiliz. not significant)				

Tab.50: Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Nährstoffgehalte (mg/100 g TM) in den Nadeln der 1+1-j. Fichten im Beschattungsversuch 1969

Effects of shading and fertilization on the contents nutrients (mg per 100 g dry matter) of the needles of 1+1 year old spruces in the shading experiment 1969

1. Stickstoff

- Verglichen mit den Nadeln der 1+1-j. Fichten aus dem Beschattungsversuch 1967 zeichnete sich nach der Vegetationszeit 1969 eine schwächere Reaktion auf die Beschattung ab. Nur bei den gedüngten Varianten zeigte sich eine allerdings noch wenig markante Zunahme der N-Gehalte mit der Beschattung.

Diese Ergebnisse entsprachen nicht der Erwartung auf eine deutlichere Reaktion, die wahrscheinlich war, da die Fichten 1969 erheblich höhere Trockensubstanzen erzeugt und sich stärker differenziert hatten als 1967 (vgl. Tab.43 und 44).

Bei der Darstellung der Ergebnisse aus dem Beschattungsversuch 1967 war bereits darauf hingewiesen worden, daß die Rangfolge der Mittelwerte bei den ungedüngten Fichten nach der ersten Vegetationszeit anscheinend Unstimmigkeiten aufwies. Die Pflanzen im mittleren Schattenbereich hatten nämlich signifikant niedrigere N-Gehalte als die im Hellen oder im tiefen Schatten erwachsenen (vgl.Tab.44).

Analysenfehler schieden aus, da die Wiederholungen gleichsinnige Werte hatten. Deshalb blieb nur die Vermutung, daß die Fichten nach dem Umpflanzen in die Versuchsanlage sich noch nicht voll adaptiert hatten und die für die Beschattungsabstufungen ausgewiesene Signifikanz nicht durch das unterschiedliche Lichtangebot verursacht worden, sondern letztlich doch als zufälliger Unterschied anzusehen war.

Bei den 1+1-j. Fichten der Beschattungsversuchsanlage 1969 fand sich nun bei den ungedüngten Fichten dieselbe Erscheinung: Die Pflanzen der Beschattungsstufen 2, 3 und 4, also die in mittlerem Schatten aufgewachsenen, hatten die niedrigsten N-Gehalte.

Wenn man das Datenmaterial vereinheitlicht, also die 1969 gegenüber 1967 zusätzliche Parzelle 0 streicht und eine neue statistische Berechnung durchführt, lassen sich dieselben Signifikanzen wie 1967 errechnen. Eine weitere Bestätigung dieser Reaktionsweise erbrachten schließlich die N-Gehalte der Fichten im Freiflächenversuch 1969 (vgl. S. 169). Da es sich also um Material aus drei Versuchseinheiten handelt, von denen zwei zumindest völlig unabhängig voneinander sind, dürfte dieses Phänomen zweifelsfrei sein. Eine verständliche Interpretation dafür allerdings bietet sich nicht an.

- Der Düngungseffekt war 1969 für alle Beschattungsstufen insgesamt nicht abzusichern. Er lag aber bei den Beschattungsstufen 3 und 4 der gedüngten Varianten, wie 1967 auch, signifikant höher. Durch eine gesonderte statistische Analyse für die Stufen 3 und 4 konnte das leicht nachgewiesen werden. Die schon im Beschattungsversuch 1967 festgestellte scheinbar fehlerhafte Zahlenfolge der durch die Düngung in den einzelnen Beschattungsstufen verursachten Differenzen der N-Gehalte (vgl. Tab. 44 und 50) ist nun durch die widersprüchliche Reaktion der ungedüngten Fichten auf die Beschattung erklärt.

Auf gewisse diesbezügliche Parallelitäten bei den P- und den Fe-Gehalten sei wiederum hingewiesen.

2. Glührückstand und C:N-Verhältnis

Bei den Glührückständen der Nadeln zeigte sich 1969 eine weitgehende Übereinstimmung mit den Werten von 1967, allerdings kam die Beschattungswirkung deutlicher zum Vorschein. Demgegenüber verwischten sich bei den C:N-Verhältnissen die Zusammenhänge sehr weitgehend. Weder die Beschattung noch die Düngung hatten klare Abweichungen verursacht.

3. Phosphor

1969 hatte die Beschattung bei den 1+1-j. Fichten stärkere Unterschiede verursacht als bei den gleichalten Fichten 1967. Trotzdem wird nach der Aufeinanderfolge der Mittelwerte noch immer nicht ganz deutlich, ob die P-Gehalte bei beschatteten Pflanzen gleichmäßig oder nur bei den mittleren Beschattungsgraden absinken, bei stärksten Schatten jedoch wieder ansteigen. Wie auch schon 1967 nahm die durch Düngung verursachte Erhöhung der P-Konzentrationen mit geringer werdendem Lichtangebot kontinuierlich ab.

4. Kalium

Während die Kaliegehalte 1967 bei den Fichten nach einer Vegetationszeit noch überhaupt nicht beeinflusst worden waren, zeichnete sich im Versuch 1969 demgegenüber eine starke, aber noch widersprüchliche Reaktion auf die Beschattung, jedoch eine deutlichere Wechselwirkung der beiden Versuchsfaktoren Beschattung und Düngung ab. Die K-Gehalte wurden also im allgemeinen durch Düngung deutlich gesteigert, nur bei der stärksten Beschattungsstufe nicht.

5. Calcium

Bei den gleichalten Fichten hatte 1967 die Beschattung geringfügig auf die Ca-Konzentrationen der Nadeln eingewirkt, 1969 jedoch nicht. In beiden Fällen war aber die Düngung kräftig hervorgetreten.

6. Magnesium

Bei den Mg-Analysen der 1+1-j. Fichten 1969 wiederholten sich einige auch an den älteren Pflanzen gemachten Beobachtungen: Die eindeutig stärkere Veränderung der Mg-Konzentration durch die Beschattung bei den ungedüngten Fichten und die starke Zunahme der Gehalte nach Düngung. Im ganzen schienen die Pflanzen im Beschattungsversuch 1969 sehr viel deutlicher auf die Versuchsbedingungen angesprochen zu haben als 1967.

7. Eisen

Hinsichtlich der Wirkung der Beschattung auf die Fe-Gehalte der Nadeln deutete sich zwar bei den 1+1-j. Fichten derselbe Trend an, wie bei den Mg-Werten, d.h. gesicherte Unterschiede bildeten sich nur bei den ungedüngten Pflanzen heraus. Dieses Ergebnis steht aber fast im Widerspruch zu den beim Beschattungsversuch 1967 gemachten Feststellungen, nach denen die Beschattung sich bei den gedüngten Fichten stärker ausgewirkt hatte, als bei den ungedüngten.

Diese hier vorliegenden Unstimmigkeiten waren hinsichtlich der Düngewirkung anscheinend noch offenkundiger: Bei den 1+1-j. Fichten wurden die Fe-Gehalte durch Düngung nämlich in Wechselwirkung mit der Beschattung höchstsignifikant bei den meisten Beschattungsstufen erhöht, bei den 1+3-j. Fichten hingegen überwiegend verringert. Bei den 1+2-j. Fichten jedoch hatte die Düngung überhaupt keinen Einfluß gehabt. Diese bei den N-Gehalten ähnlichen Ergebnisse widerlegen die anfängliche Vermutung, sie seien fehlerhaft. Die Übereinstimmung dürfte nämlich, da der N-Stoffwechsel der Pflanzen durch die Eisenversorgung wesentlich beeinflußt werden kann, sicherlich nicht zufällig sein. Dafür spricht auch, daß die Fe- und die N-Gehalte hinsichtlich der Düngewirkung gut miteinander korrelierten und daß beide nach der ersten Vegetationszeit erhöht, nach der dritten vermindert wurden.

5.33 Freiflächenversuch 1969

Die Ergebnisse dieser Versuchseinheit können wiederum direkt mit denen des Beschattungsversuchs 1969 verglichen werden. Die in Tab.51 dargestellten Resultate der Nadeluntersuchungen sollen also gleichfalls zur weiteren Differenzierung der Aussagen und zu ihrer Überprüfung hinsichtlich der Reaktion junger Fichten unter ungestörten Freilandverhältnissen verwendet werden.

NÄHR- ELEMENT (nutrient)	SAUM (border strip)			SCHIRM (shelterwood)			ÜBERSCHIRMUNG (sheltering)				DÜNGG. (fertil.)	Ü x D (x x f)
	UNGED. (unfert.)	GEDÜNGT (fertil.)	F-TESTE	UNGED. (unfert.)	GED. (fertil.)	F-TESTE	UNGED. (unfert.)	GED. (fertil.)	UNG. U. GED. (unfert.+fert.)			
N	2385	2354	-	1931	2211	+++	++	-	-	-	++	
P	243	275	-	145	184	-	++	++	-	-	+++	
K	821	836	-	619	659	-	+++	++	+++	-	-	
Ca	500	658	++	440	765	+++	+	++	-	+	++	
Mg	77	135	+++	75	143	+++	-	-	-	+++	-	
Fe	29	31	-	25	28	-	-	-	-	-	-	
GLÜH- RÜCKSTAND (ignited residue)	4,52	5,41	-	3,87	5,16	+	-	-	-	++	-	

Tab.51: Ergebnisse der Nadelanalysen bei den 1+1-j.Fichten im Freiflächenversuch 1969

Results of the analyses of needles of the 1+1 year old spruces in the open air experiment 1969

1. Stickstoff

Die N-Gehalte der Fichten auf der Saum- und der Schirmfläche bestätigen exakt die für den Beschattungsversuch 1969 erörterten Befunde. Es war dargelegt worden, daß die Strahlungsverhältnisse auf dem Saum etwa denen der Beschattungsstufe 1 entsprachen, die der Schirmfläche im Bereich der Beschattungsstufe 3 und 4, also noch nicht in extremem Schatten lagen. Dementsprechend wäre nach den oben dargestellten, aber zunächst nicht interpretierbaren Ergebnissen bei den 1+1-j. Fichten auf dem Saum eine nicht signifikante Verminderung der N-Gehalte als Folge der Düngung zu erwarten, auf der Schirmfläche jedoch eine stark signifikante Anhebung der N-Gehalte.

Bei den ungedüngten Varianten müßte weiterhin eine gesicherte Verminderung der N-Konzentrationen aufgrund der Überschirmung eintreten, die bei den gedüngten Varianten ausbleibt. Genau diese Reaktionen traten ein, so daß es keiner weiteren Bestätigung dieser anfänglich dem Lichtangebot bei den ungedüngten Varianten nicht gleichsinnig folgenden Änderungen bei den N-Gehalten braucht.

2. Glührückstand

Die Aschegehalte der Fichten auf der Saum- und der Schirmfläche wichen hinsichtlich ihrer absoluten Größe etwas von denen des Beschattungsversuchs ab. Dies resultierte offenbar daraus, daß die Überschirmung, da noch nicht extrem stark, keine Bedeutung diesbezüglich gehabt hatte - auch im Beschattungsversuch trat ja erst bei der stärksten Beschattung eine Veränderung ein - während demgegenüber die Düngung auch hier die Rückstände eindeutig erhöht hatte.

3. Phosphor

Eine brauchbare Übereinstimmung konnte bei den Phosphorgehalten der Fichten beider Versuchsanlagen erzielt werden. Das betrifft sowohl die Größenordnung der Werte als auch die Reaktion auf Düngung und Beschattung. Zumindest nach dem 1. Jahr bestand also die Tendenz einer Abnahme der P-Gehalte bis zu einem Minimum, das bereits vor extremen Beschattungsgraden erreicht wurde. Außerdem erfolgte die Erhöhung nach Düngung wiederum nicht unabhängig von der Überschirmung.

4. Kalium

In krassestem Gegensatz zu allen Ergebnissen bei den Kaliegehalten der Fichten beider Beschattungsversuche standen aber die beim Freiflächenversuch gefundenen Relationen. Hatte bisher die Düngung stärker variierend gewirkt, so war sie hier überhaupt nicht nachweisbar, dafür aber umso besser der sonst nur schwach oder gar nicht ausgeprägte Beschattungseffekt. Das bisher dargestellte Material ließ auch nicht erkennen, ob die

Beschattung im Sinne einer linearen Erhöhung oder Verminderung der K-Gehalte gewirkt hatte oder ob auch beim Kalium eine wie beim Phosphor und Stickstoff anfangs nicht gleichsinnige Veränderung der Konzentrationen eintrat. Die im Freiflächenversuch festgestellte hoch-, bzw. höchstsignifikante Abnahme der Kaligehalte als Folge der Überschirmung vermag allerdings gleichfalls nicht schlüssig auf die Frage Antwort zu geben, ob nicht bei noch stärkerer Überschirmung wiederum eine Anhebung eingetreten wäre.

5. Calcium

Die Fichten im Freiflächenversuch reagierten gleichfalls stark auf die Kalkgabe durch Erhöhung der Ca-Gehalte in ihren Nadeln. Diese war jedoch nicht unabhängig von der Beschattung. Ähnlich widersprüchlich wie bisher schon zeigte sich der Beschattungseffekt auch hier: Bei den ungedüngten Fichten verursachte die Überschirmung nämlich eine signifikante Abnahme, bei den gedüngten hingegen eine hochsignifikante Zunahme der Ca-Gehalte.

6. Magnesium

Die überragende Bedeutung der Düngungsgabe für die Mg-Konzentration in den Nadeln zeigte sich gleichfalls im Freiflächenversuch. In den Beschattungsversuchen war aber verschiedentlich auch ein, wenngleich nicht sehr stark ausgeprägter Beschattungseffekt aufgetreten, der hier, wohl wegen der weniger starken Beschattungsunterschiede zwischen der Saum- und der Schirmfläche nicht zum Vorschein kam.

7. Eisen

Angesichts der nur geringen Unterschiede, die die Fe-Gehalte in den Nadeln überhaupt aufwiesen, verwundert es nicht, im Freiflächenversuch keinen der beiden Versuchseffekte nachweisen zu können. Zumindest hinsichtlich der Überschirmung gilt wohl das für die Mg-Gehalte Gesagte ebenso.

6. Diskussion und Literaturvergleich

=====

Möglichkeiten der vergleichenden Interpretation von Versuchen mit künstlicher und natürlicher Beschattung

Künstliche Beschattungsversuche mit Sämlingen oder kleinen Pflanzen erlauben nach Meinung von HUXLEY (1967) eine kritischere und brauchbarere Analyse über einige Auswirkungen der Sonneneinstrahlung auf das vegetative Wachstum von Kulturpflanzen als Feldversuche mit natürlicher Beschattung. In Feldversuchen ist es nämlich unmöglich, den Komplex der Witterungseinwirkungen dadurch zu analysieren, daß man die Wirkung eines oder weniger Faktoren getrennt testet, weil so viele Interaktionen auftreten können. Außerdem werden bei älteren Bäumen die Auswirkungen natürlicher Überschildung durch Eigen- und gegenseitige Beschattung erheblich kompliziert.

Dieser Ansicht HUSLEY's muß nach den vorstehenden Ergebnissen der Beschattungs- und Freiflächenversuchsanlagen grundsätzlich zugestimmt werden, denn in vielen Fällen ließen sich Veränderungen bei den jeweils untersuchten Kriterien plausibel nur auf den Komplex Beschattung zurückführen, wenn sie an Hand mehrerer Abstufungen, die die Extreme volles Licht und tiefer Schatten einschlossen, klargelegt werden konnten. Demgegenüber hätte die Interpretation entsprechender Daten aus den Freiflächenversuchen vielfach auf dem Stand der Spekulation verbleiben müssen. Wegen der Bedenken jedoch, die sich aus den methodischen Problemen bei der Anlage von Beschattungsversuchen ergeben, d.h. der Abwandlung der ökologischen Verhältnisse gegenüber den natürlichen Gegebenheiten in Waldbeständen, hat die Untersuchung des Pflanzenwachstums gerade dort auch trotz der Komplexität des "Schattenproblems" erheblichen Wert. Gelegentlich konnte (z.B. bei den Veränderungen der N-Gehalte) durch die im Freigelände erzielten Resultate der Befund in den Beschattungsversuchen erst als zutreffend angesehen werden. Außerdem zeigte sich, daß die Übertragung der Ergebnisse aus den Beschattungsversuchen auf die Freiflächenverhältnisse auf

mancherlei Schwierigkeiten stößt, die auch in diesen Versuchsprogrammen nicht voll bewältigt wurden, daß aber viele Reaktionen als synchron laufend erkannt werden konnten. In einzelnen Fällen allerdings wichen die Werte schon wegen der Streuungen im Zahlenmaterial nicht unerheblich voneinander ab. Das Ausmaß der Variation bei gleichen Voraussetzungen wie Pflanzenmaterial, Bodensubstrat, Witterung, Höhenlage aufzuzeigen, war allerdings u.a. Anliegen dieser Arbeit.

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Versuchseinheiten (vgl. besonders Tab.28) verdeutlichen m.E. stärker als das bisher in früheren Arbeiten zum Ausdruck gebracht worden ist, wie sehr die Versuchsergebnisse von den Witterungsbedingungen des jeweiligen Beobachtungsjahres abhängig sind. Bei der gleichen Lichtabstufung konnte demnach die Reaktion sehr unterschiedlich sein. Deshalb verlief der erste Ansatz in dieser Arbeit, die Ergebnisse aus dem Freiflächenversuch 1965 mit denen des Beschattungsversuchs 1967 zu vergleichen, auch z.T. etwas unbefriedigend und ließ eine Wiederholung beider Versuchsanlagen im Jahre 1969 notwendig erscheinen. Fast unüberwindlich aber werden die Schwierigkeiten, die sich dann ergeben, wenn man die Daten aus mehreren, unabhängig voneinander durchgeführten Versuchsanlagen miteinander vergleichen will, bei denen die Methodik so erheblich voneinander abweicht.

Die Anpassung der Forstpflanzen an die Versuchsbedingungen

Bei den verwendeten einjährigen Fichten-Sämlingen trat die Anpassung an die Beschattungsverhältnisse im Freigelände wie unter den Schattengittern sehr rasch ein. Dabei scheinen, angesichts der Zuwachsleistung, die die Pflanzen verglichen mit ihrem Ausgangsgewicht hatten, die Reservestoffmengen aus dem Anzuchtjahr die Ergebnisse nicht allzu stark verfälscht zu haben. Trotzdem ließen die statistischen Tests bei mehreren Merkmalen erkennen, daß sich die Anpassung im zweiten und dritten Beobachtungsjahr verbesserte. Dementsprechend dürften solche Versuche also offenbar - zumindest in unseren Klimaten - nicht auf eine zu kurze Laufzeit angelegt sein. Jedenfalls

gilt das für Holzgewächse. Das ist aber wohl auch der Grund dafür, daß die Botaniker sich bisher meist eingehender mit kurzlebigeren Kräutern beschäftigten (so z.B. BLACKMAN und Mitarbeiter, 1946, 1948, 1951, 1959). Der Forderung nach einer längerfristigen Beobachtungsdauer muß aber noch erheblich mehr Nachdruck gegeben werden, wenn Düngungsvarianten in die Versuchsplanung mitaufgenommen werden, da nach Düngung oftmals starke Störungen der gesamten Nährstoffversorgung auftreten können. Deshalb sind, wie ebenfalls mehrfach gezeigt werden konnte, die Reaktionen der jungen Pflanzen in vieler Hinsicht anfangs noch nicht typisch. Wegen des dann allerdings meist erheblichen Betreuungsaufwands, den solche kombinierten Versuche verursachen, verbietet sich eine mehrjährige Laufzeit oftmals zwangsläufig.

Die Wirkung der Beschattung auf die Substanzproduktion

In allen Versuchseinheiten konnte eindeutig nachgewiesen werden, daß die Beschattung immer zu einer Verringerung der Substanzproduktionsleistung führte. Ohne Ausnahme hatten die völlig unbeschatteten Jungpflanzen den höchsten Zuwachs zu verzeichnen. Damit wird also die Feststellung von LYR und HOFFMANN (in LYR, POLSTER, FIEDLER, 1967) unterstrichen, daß alle Baumarten bei ausreichender Feuchtigkeit und Nährstoffversorgung in vollem Licht ihre höchste Stoffproduktion haben. Die Nichterfüllung dieser beiden Prämissen, ausreichende Feuchtigkeit und Nährstoffe, allerdings schränkt die Ergebnisse mancher früherer Versuche ganz offenbar erheblich ein, bzw. widersprechen diese ihnen nur scheinbar.

BLACKMANN und WILSON (1951) zeigten an 21 Krautarten, daß für diese dasselbe gilt, während HUXLEY (1967) für Kaffeesämlinge den Höchstzuwachs bei leichter Beschattung nachwies. Auch MÜLLER-USING (1975, mündl. Mitteilung) fand bei Beschattungsversuchen mit chilenischen Nothofagusarten eine Wachstumssteigerung bei geringfügiger Beschattung. Demzufolge kann der nachfolgend zitierten Verallgemeinerung von TRANQUILLINI (1960) nicht zugestimmt werden:

"Über die Zuwachsleistung junger Hölzer, gemessen als Gewichts- oder Längenzunahme, bei vermindertem Lichtgenuß liegen zahlreiche Untersuchungen vor. Sie zeigen übereinstimmend (Zusammenfassung bei BOYSEN-JENSEN, 1932), daß eine Lichtreduktion bis auf etwa 50 % . . . das Wachstum nicht oder nur unmaßgeblich hemmt, zum Teil sogar fördert (Schattenhölzer), jedoch eine weitergehende Lichtschwächung ... stets starke Zuwachsstockung hervorruft."

Strahlungsintensität und Substanzproduktion

Die zunächst nur vermutete lineare Beziehung zwischen den in mehreren Vegetationszeiten erzielten Trockengewichtszuwachswerten und dem Logarithmus der Strahlungsintensität kann offenbar als zutreffend akzeptiert werden. GAST (1927) fand einen ebensolchen Zusammenhang bei Kiefern- und Strobensämlingen, wobei er allerdings auf zwei Voraussetzungen hinwies:

Erstens muß die Nährstoffversorgung ausgewogen sein, andernfalls treten Störungen auf. Zweitens muß die Strahlungsmessung die Gesamtstrahlung erfassen. Hieraus erklärt sich nun offenbar auch, daß die logarithmische Beziehung bei Zugrundelegung der mit den BELLANI-Pyranometern gemessenen Strahlungswerte erkennbar war (Abb.13), nicht aber bei Verwendung der mit Selenzellen gefundenen Reaktionen.

GAST konnte gleichfalls zeigen, daß bei sehr günstiger Stickstoffnachlieferung, die in Humussubstraten auch den Bedarf der mit zunehmendem Lichtangebot größeren Pflanzen noch decken kann, das lineare Verhältnis des Ertrages zum Logarithmus der Strahlungsintensität in ein lineares Verhältnis der beiden Größen in arithmetischen Einheiten übergehen kann. (Ein solches vermutete auch SHIRLEY, 1929, nach seinen Untersuchungen mit künstlich belichteten Buchweizen, Sonnenblumen, Mamutbäumen u.a.). Offenbar geriet aber sowohl bei den ungedüngten wie den gedüngten Varianten sämtlicher in GAST's Arbeit dargestellter Versuchseinheiten die N-Versorgung bei den voll belichteten Fichten aus dem Optimalbereich heraus, so daß das arithmetisch : logarithmische Verhältnis erhalten blieb.

Zu den von GAST genannten Einschränkungen scheint es jedoch - aufgrund der Abweichungen, die die Werte der 1+1-j. Fichten im Freiflächenversuch 1969 (Tab.51) zeigten - notwendig zu sein, eine weitere Einschränkung zu machen: Auch die Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen müssen in einem für die Pflanzen zuträglichen Bereich liegen und dürfen zwischen den Beschattungsstufen nicht allzu stark variieren.

Wenn man nun die wohl einzigen für Fichte akzeptablen Werte, nämlich die von LYR, HOFFMANN und ENGEL (1965) über dem Logarithmus der von ihnen gemessenen prozentualen Lichtintensitäten graphisch aufträgt, so ergibt sich gleichfalls eine von der Geraden nicht stark abweichende Ertragskurve. Ob hierin allerdings eine weitere Bestätigung gesehen werden darf, muß dahingestellt bleiben, weil die Herleitung der Strahlungsmeßwerte von den genannten Autoren nicht näher erläutert wird.

BLACKMANN und WILSON (1951 a + b) fanden, daß bei allen von ihnen untersuchten Pflanzenarten mehrere Wuchskriterien in linearer Beziehung zum Logarithmus der Lichtintensität standen, und zwar das Verhältnis von der Blattfläche zum Blattgewicht, das Verhältnis von der Gesamtblattfläche zum Gesamtgewicht der Pflanze (leaf area ratio) und das Verhältnis von der Pflanzengewichtszunahme zur Blattfläche (net assimilation rate). Bei diesen Relationen galt eine Einschränkung, nämlich daß die Pflanzen innerhalb ihrer Hauptwachstumsphase angezogen worden sein mußten, also nicht zu spät im Herbst. In den eigenen Untersuchungen war die exakte Herleitung der genannten Verhältniszahlen für die Fichte leider wegen der sehr schwierigen Bestimmung Nadeloberflächen nicht möglich.

Abgesehen davon, daß BLACKMANN und WILSON eine lineare Beziehung des Trockengewichtszuwachses zur Strahlungsintensität nicht erwähnen, lassen sich auch nicht aus ihren diesbezüglich nur sehr knappen Ausführungen einige Details der Strahlungsmessungen nachvollziehen. Daraus resultierend ist ferner die mathematische Herleitung der Regressionsgeraden für die gesamten Meßgrößen nicht überprüfbar.

Bei den eigenen Untersuchungen erschien es mangels gleichzeitiger Messungen in allen Wiederholungen nicht vertretbar, nur Mittelwerte der Strahlungsintensitäten in den einzelnen Beschattungsstufen den Regressionsberechnungen zugrunde zu legen. Deshalb wurde lediglich ein graphischer Ausgleich vorgenommen (Abb.13) oder auch dieser unterlassen (Abb.15).

Für eine exakte Nachprüfung dieser Zusammenhänge bei jungen Fichten müßten also weitere Versuche unter streng kontrollierten und planmäßig variierten Bedingungen in Klimakammern und Gewächshäusern durchgeführt werden. Diese Notwendigkeit war bereits verschiedentlich angedeutet worden. Auch RÖHRIG (1967) weist nach der Gegenüberstellung der Ergebnisse seines Beschattungsversuchs mit denen anderer Versuchsansteller auf die Problematik solcher Vergleiche hin. Man muß hinzufügen, daß bei neuen Versuchen mit kontrollierten Bedingungen sowohl ein- kloniges als auch unterschiedlich altes Pflanzenmaterial Verwendung finden müßte.

Die Ermittlung der Strahlungsverhältnisse in den Versuchsanlagen

Unbefriedigend ist nach wie vor die Frage der Licht- bzw. Strahlungsmessung gelöst, da über die assimilationswirksame Bedeutung der verschiedenen Wellenlängenbereiche noch nicht volle Klarheit besteht, jedenfalls nicht, wenn die Strahlung als Teil des Gesamtkomplexes der auf die Pflanze einwirkenden ökologischen Faktoren betrachtet wird. Die Aussagefähigkeit der Lichtmeßangaben ist daher sehr zweifelhaft.

In mehreren Arbeiten (BURSCHEL und HUSS, 1964; LYR, HOFFMANN und ENGEL, 1964; BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965; RÖHRIG, 1967) wurde die stärkste Beschattungsstufe mit rd. 1 % der Freiflächenhelligkeit angegeben nach Messung mit Selenphotozellen (Meßbereich 300 - 700 nm). Dieser ungefähre Wert ergab sich auch diesmal wieder (vgl. Tab.11 und 12), gleichgültig, ob nun bei bedecktem oder Strahlungswetter gemessen worden war. Demgegenüber wiesen die Messungen mit den BELLANI-Pyranometern (Meßbereich 300 - 1500 nm) einen Wert bei 7 - 9 % nach.

GAST (1965) wies darauf hin, daß der Infrarotanteil über 1000 nm für die Trockensubstanzerzeugung nicht unbedeutend ist. Dieser Anteil wird nun aber mit den Kugelpyranometern noch erfaßt, nicht hingegen mit Photoelementen. Andererseits wird nach COOMBE (1966) bei Messung der Gesamtstrahlung im Bereich 300-3000 nm, den einige andere Geräte erfassen, die photosynthetisch aktive Strahlungsmenge in Waldbeständen u.U. überschätzt.

Demzufolge können die Meßergebnisse mit den BELLANI-Pyranometern offenbar als brauchbare Bezugsbasis für die Aussagen über das Pflanzenwachstum angesehen werden.

Die Bedeutung der Abwandlung der anderen ökologischen Faktoren durch die Beschattungsvorrichtungen

Ein weiterer Nachteil der in den Beschattungskästen durchgeführten Versuche ist darin zu sehen, daß sich die Abwandlung der ökologischen Bedingungen so schwer in ihrer Wirkung auf das Pflanzenwachstum deuten läßt. Das wird besonders deutlich an dem Vergleich der offenen Parzellen ohne und mit Seitenschutz. Den Lichtmessungen zufolge wären so gut wie keine Unterschiede in der Trockengewichtsproduktion zu erwarten gewesen. Tatsächlich wirkte sich der Seitenschirm jedoch sehr erheblich wuchsmindernd aus. Da nun in mehreren Arbeiten solche offenen Parzellen mit Seitenschutz als Bezugsbasis dienten, müßten deren Ergebnisse mithin entsprechend relativiert werden. Das Gleiche gilt wahrscheinlich für mehrere Untersuchungen, bei denen die Details der Versuchsanlagen nicht genau genug angegeben wurden, so daß sich dieses Fehlermoment nicht hinreichend einschätzen läßt.

Vergleich der eigenen Versuchsergebnisse mit denen anderer Versuchsansteller

Die Beschattungsversuchsanlage war in der Grundkonzeption dem von BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) entwickelten und auch von RÖHRIG (1967) benutzten Modell nachgebaut worden, um einen Ver-

gleich mit den dort erzielten Ergebnissen zu ermöglichen. Da in allen Fällen gleiche Beschattungsvorrichtungen bei den Stufen 1 (offen, aber mit Seitenschirm), 3 (senkrecht stehende Jalousienblätter in 4 cm Abstand) und 5 (geschlossene Jalousien) gegeben waren, ist ein Vergleich zumindest für diese Stufen möglich. Für die Beschattungsstufe 3 ermittelten BURSCHEL und SCHMALTZ 18 %, RÖHRIG 24 % der Freilandhellichtigkeit, für die Stufe 5 alle Versuchsansteller 1 % (gemessen mit Selenzellen).

Nach Tab.52 zeigten die verschiedenen Baumarten starke absolute Wachstumsunterschiede in den offenen Mattenhütten, die aber, wie der Vergleich der unterschiedlich angezogenen Buchensämlinge deutlich macht, stark von der Ausgangslage beeinflusst sein können. Die geringe Gesamtleistung der Fichten dürfte sich außerdem durch die größere Höhenlage, in der der Versuch angelegt worden war, und ungünstigere Wetterbedingungen z.T. erklären. Es fällt auf, daß die Verringerung der Trockengewichtsproduktion bei mittlerer Beschattung offenbar dem Lichtbedürfnis der Arten ungefähr entspricht, also bei den "Lichtholzarten" Stiel- und Traubeneiche besonders groß, bei Buche und Fichte weniger ausgeprägt ist. Bei der in den Versuchen stärksten Abschattung aber erfolgte in allen Fällen eine Verminderung der Substanzleistung auf rd. 10 %. Die dann noch vorhandenen Unterschiede lassen sich allerdings nicht mehr schlüssig erklären.

Die von LYR, HOFFMANN und ENGEL (1964) angegebenen Werte für 3-j. Fichten (nach 1.Veg.Zeit im Beschattungsversuch) mit 3,41 g/Pfl. (=100 %) in der offenen Parzelle, 79 % Trockengewicht bei 35 % Lichtgenuß und 45 % Substanzproduktion bei 1 % Lichtgenuß lassen sich anscheinend nicht mit den in Tab.52 aufgeführten Daten vergleichen. Diese Unterschiede sind nun offenbar aus der andersartigen Ausgangslage (2-j. Pflanzen) und der kürzeren Beobachtungszeit zu erklären. Sie sind weniger schwerwiegend, wenn man die in Tab.52 angegebenen Nadel- oder Sproßtrockengewichte der 1+1-j.Fichten heranzieht und zum Vergleich in %-Werte umrechnet.

SPEZIES	ANZUCHT (rearing)	BESCHATTUNGSSTUFE (degree of shading)				VERSUCHS- ANSTELLER (experimentalist)
		1 g/Pfl.	3 %	5 %	5 %	
<i>Querc. robur</i>	SAAT (seeds)	11,6	100	25	8	RÖHRIG (1967)
" <i>petraea</i>	"	9,3	100	29	9	"
<i>Acer pseudoplat.</i>	"	7,7	100	31	6	"
<i>Tilia cordata</i>	"	2,7	100	40	13	"
" <i>platyph.</i>	"	3,5	100	48	13	"
<i>Fagus silv.</i>	1j. WILDLINGE 1yr. seedling from natural regeneration	7,5	100	48	6	BURSCHEL UND SCHMALTZ (1965)
" "	1j. BAUMSCHULPFLZ. 1yr. seedling from nursery	18,6	100	56	10	"
<i>Picea abies</i>	1j. BAUMSCHULPFLZ. UNGEDÜNGT (unfertil.)	2,0	100	60	10	HUSS (1971)
" "	1j. BAUMSCHULPFLZ. GEDÜNGT (fertiliz.)	5,4	100	54	6	"

Tab.52: Gesamttrockengewichtserzeugung nach 2 Vegetationszeiten Beobachtungsdauer in einer einheitlich konstruierten Beschattungsversuchsanlage bei 2- und 3-j. Pflanzen verschiedener Baumarten

Production of dry matter of 2 to 3 years old specimen of different tree species after a 2 years period of observation in a uniform designed type of shading experiment

Die Modifizierung der Beschattungswirkung durch die Nährstoffversorgung

Es ist hinreichend bekannt, daß die Wirkung ökologischer Faktoren auf das Pflanzenwachstum entsprechend den Bedürfnissen einzelner Arten, sobald einer in die Nähe des Minimums gerät, durch Verbesserung eines anderen in gewissem Umfang kompensiert werden kann. So wußte man auch längst, daß geringe Lichtintensitäten durch bessere Nährstoffversorgung etwas ausgeglichen werden können. Nur sind m.E. die Vorstellungen darüber, bis zu welcher Beschattungsstärke das noch möglich ist, zu optimistisch gewesen.

So machte z.B. GUSOWSKI (zit. nach DAKOW, 1955) 1913 bei Studien in den Eichenwäldern von Kasan Angaben über die Wider-

standsfähigkeit des Aufschlags unter Schirm und folgerte, daß dieser unter dem Bestandesschirm umso widerstandsfähiger ist, je fruchtbarer der Boden.

BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) hatten durch die Wiederholung ihres Beschattungsversuchs auf zwei unterschiedlichen Standorten festgestellt, daß die Schattenfestigkeit auf dem besser nährstoffversorgten Boden größer war als auf dem ärmeren. Dieselbe Feststellung formulierten LYR, POLSTER und FIEDLER (1967) etwas mehr verallgemeinernd: Bei allen Baumarten ist die Schattentoleranz umso größer, je günstiger die Umweltfaktoren sind. Dieses hängt z.T. mit der Effektivität des Laubes bei der Photosynthese und mit dem Fortfall schädigender Einflüsse wie Dürre, Wurzelkonkurrenz u.a. zusammen. Sie zitierten hierzu eine Arbeit von HESSELMANN (1904), der bei *Corylus avellana* auf armen Standorten ein Lichtminimum von 5,3 - 4,3 %, auf nährstoffreichen dagegen einen Wert von 2 % fand.

Für die in den eigenen Versuchen auf den nährstoffärmeren, d.h. den ungedüngten, und auf den nährstoffreicheren, also den gedüngten Varianten gefundenen Werte gilt das nicht unbedingt. Es trifft wohl für die mittelstarken Beschattungen zu, denn dort vermochten die gedüngten Fichten noch erhebliche Mehrleistungen zu erzielen. Bei starker Beschattung allerdings ließ sich kein Unterschied feststellen. Es kann auch nicht unterstellt werden, daß die Pflanzen dort bereits am Existenzminimum vegetierten. Immerhin hatten die Fichten der ältesten Versuchsserien es ja drei Vegetationszeiten ausgehalten, ohne daß einerseits Abgänge zu verzeichnen, andererseits Unterschiede als Folge der Nährstoffversorgung eingetreten waren. Es stimmt demnach nur mit Einschränkungen, daß der Mangelfaktor Licht durch Verbesserung des Faktors Nährstoffversorgung kompensiert werden kann.

Dasselbe berichtet GIA (1927), der bei der Gewichtserzeugung fast aller von ihm untersuchten Baumarten keinen Unterschied feststellen konnte, wenn diese auf unterschiedlichen Boden-

substraten wachsend im tiefen Schatten aufgezogen wurden. Das unterschiedliche Nährstoffangebot spielte dann keine Rolle mehr.

Besonders deutlich wurde diese Einschränkung aber auch nach den Ergebnissen der beiden Freiflächenversuche unter dem Schirm von Altfichten erkennbar. Bei einem mittleren Lichtge-
nuß von 10 bis 20 % hätte man unter dem bereits ziemlich locker stehenden Altbestand eine deutliche Förderung des Fichtenjungwuchses durch die Düngung vermutet. Sie trat aber nicht ein. Auch bei etwas höherem Lichtangebot ließ sich - zieht man die Ergebnisse der Beschattungsversuche heran - absolut gesehen noch keine wesentliche Wuchssteigerung erreichen. Daraus folgt, daß erst bei sehr starken Auflichtungen von Altbeständen das Lichtangebot ausreicht, um eine Düngung voll wirksam werden zu lassen. Sie dürfte deshalb bei nur vorsichtiger Auflichtung vielfach kaum wirtschaftlich sein, da die Umsetzung der Nährstoffe in Trockensubstanzzuwachs unbedeutend bleibt.

Bei stärkerer Auflichtung der Schirmbestände aber ist mit einer erhöhten Förderung der Bodenvegetation zu rechnen, die die Wirkung der Düngung im Hinblick auf die Entwicklung der jungen Forstpflanzen durch Verstärkung der Konkurrenz in ihr Gegenteil verkehren kann. Der Faktor Konkurrenz durch die Bodenvegetation wurde allerdings nicht in die hier dargestellten Versuche miteinbezogen, um sie nicht noch weiter zu komplizieren. Trotzdem muß darauf hingewiesen werden, daß diese Einflußgröße bei der Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf Schlußfolgerungen für die Praxis nicht übersehen werden darf.

Die Wirkung von Beschattung und Düngung auf die Ausformung der jungen Forstpflanzen

Die Relation der unter- zu den oberirdischen Pflanzenanteilen, also das Wurzel : Sproßverhältnis, wurde schon seit langem (so z.B. von ALDRICH-BLAKE, 1932) als ein wesentliches Gütekriterium für junge Forstpflanzen angesehen, weil z.B. Baum-

schulpflanzen auf der Kulturfläche vertrocknen, wenn ihr Wurzelwerk zu klein ist, um den Wasserbedarf eines zu großen oberirdischen Teils zu decken, und Naturverjüngung aus demselben Grund eingehen kann, sobald der Altholzschirm geräumt wird. GAST fand 1937 bei Kiefernssämlingen ähnliche Reaktionen, wie sie hier für die jungen Fichten dargestellt wurden (vgl. Tab.31 und 32), daß nämlich Lichtintensität und Bodengüte das Wurzel : Sproßverhältnis stark beeinflussen können.

Man muß allerdings einschränkend hinzufügen, daß entscheidende Veränderungen erst bei Beschattungen eintreten, die unter etwa 20 % der Freiflächenhelligkeit liegen. Gefährdungen von Naturverjüngungen sind also deshalb kaum je zu erwarten, weil man dichtgehaltene Altbestände in der Praxis ohnehin nicht in einem Zuge abräumen wird. Schwerwiegender ist stattdessen der ungünstige Einfluß der Düngung hinsichtlich der einseitigen Förderung des oberirdischen Substanzanteils bei der Forstpflanzenanzucht zu werten.

Diese Beobachtung steht übrigens in Übereinstimmung mit einer Feststellung von ZÜTTL (1964), nach der der Feinwurzelzuwachs pro Festmeterleistung in Fichtenbeständen umso geringer ist, je höher der durchschnittliche Gesamtvolumenzuwachs (dGZ) des Bestandes liegt, je besser also die Nährelementversorgung des Bestandes von Natur aus ist.

Beschattung und Längenwachstum

Hinsichtlich der Ergebnisse über die Sproßlängenentwicklung nach Beschattung scheint ein Widerspruch zu denen anderer Autoren (z.B. CIESLAR, 1909; GUSTAFSON, 1943; LYR, HOFFMANN und ENGEL, 1964) zu bestehen, nicht jedoch zu den Werten für Fichte von GIA (1927). Gegenüber den Trockengewichtswerten konnte in den eigenen Versuchen zwar eine prozentual erheblich geringere Abnahme der Sproßlängen nach Beschattung festgestellt werden, in keinem Fall trat aber im mittleren Schattenbereich eine Zunahme ein. Auch BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) sowie RÖHRIG (1967) konnten dies bei keiner der von ihnen untersuchten Baumarten nachweisen. Die Bedingungen für eine

Etiolierung müssen also anscheinend noch sorgfältiger untersucht werden.

Nach HEISEKE (1969) reagieren Fichtenkeimlinge kompliziert. So trat bei in dichtem Deschampsia-Rasen aufgewachsenen Keimlingen ein deutlicher Etiolementeffekt beim Hypokotyl auf - dessen Bildung ja noch wesentlich von den Nährstoffvorräten der Samen beeinflusst wird - während das Längenwachstum des Primärtriebs durch die Lichtreduktion im Gras stark verringert wurde.

Die Reaktion der Fichten hinsichtlich ihrer Nährstoffgehalte

Wenig ergiebig insgesamt gesehen ist auch die Literatur über die Abhängigkeit der Nährstoffgehalte vom Lichtgenuß und der Nährstoffversorgung bei jungen Forstpflanzen. Am besten belegt scheint eine bei mehreren Baumarten nachgewiesene Steigerung der Stickstoffgehalte als Folge von Beschattung zu sein (GAST, 1937; OVINGTON und MACRAE, 1960; LYR, HOFFMANN und DOHSE, 1963; LYR, HOFFMANN und ENGEL, 1964; BURSCHEL und HUSS, 1964; BURSCHEL und SCHMALTZ, 1965; HEISEKE, 1969). RÖHRIG (1967) fand denselben Trend auch bei Lupinen. Diese Erscheinung wird vielfach als Verdünnungseffekt erklärt, da das Wachstum im vollen Licht stärker und die N-Versorgung meist nicht optimal ist. Diese N-Zunahme betrifft nun allerdings immer nur die relativen Gehalte. Wegen der durch Beschattung meist starken Verminderung der Trockengewichtsproduktion fallen nach der übereinstimmenden Darstellung in den genannten Arbeiten auch die absoluten N-Mengen je Pflanze stets ab, allerdings weniger stark als jene. Eine Ausnahme stellen die Angaben von OVINGTON und MACRAE (1960) dar, nach denen auch die absoluten N-Mengen je Pflanze bei beschatteten 2-j. Eichen-sämlingen höher lagen als die von unbeschattet erwachsenen.

Während die in Tab.48 aufgeführten N-Gehalte der Nadeln, Sprosse und Wurzeln der 1+2-j. ungedüngten Fichten gut mit denen von 1+2-j. Buchen, die BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) nannten, übereinstimmen, traf dies bei denen der 2+1-j. Fichten von LYR, HOFFMANN und ENGEL (1964) keineswegs zu. Ihre Werte lagen

ungewöhnlich niedrig, z.T. nur halb so hoch wie die hier mitgeteilten. Desgleichen zeigen sich außerordentliche Divergenzen bei den N-Gehalten der einzelnen Pflanzenteile, während wiederum die Übereinstimmung mit den Werten der 1+2-j. Buchen von BURSCHEL und SCHMALTZ auffällig war.

Obwohl den N-Gehalten der Blattorgane ein so starkes Gewicht bei der Interpretation von Veränderungen der Wachstumsleistungen nach Düngergaben beigemessen wird, bieten die eigenen Versuchsergebnisse diesbezüglich ein sehr widersprüchliches Bild. Das gilt ebenso für die BURSCHEL und SCHMALTZ genannten Daten. Angesichts der durch die Düngung verursachten Steigerungen der Trockengewichtserzeugung einerseits und der erheblichen Beeinflussung der N-Gehalte und des C:N-Verhältnisses durch die Beschattung andererseits erscheinen die diesbezüglichen Nährstoffanalysenwerte daher nicht mehr als Weiser für die pflanzenphysiologische Wirksamkeit der Düngergaben und die Nährstoffversorgung in den Versuchspartzellen geeignet zu sein. Es ist m.E. sogar sehr zweifelhaft, ob sich die N-Gehalte auch in anderen Fällen zur Beurteilung der Wachstumsleistung junger Forstpflanzen eignen, sobald jedenfalls mit Beschattung - und sei sie auch nur ganz geringfügig - gerechnet werden muß. Lichtkonkurrenz aber ist häufig bei Vorhandensein von Gräsern, Kräutern oder Sträuchern zu erwarten, gerade wenn kein Altholzschirm als Beschattungsursache stört. In solchen Fällen sagen Analysenergebnisse also wenig über die Nährstoffversorgung aus.

Über die Phosphataufnahme im Zusammenhang mit dem hier angesprochenen Fragenkomplex sind noch weniger Informationen verfügbar und diese zudem einander widersprechend. LYR, HOFFMANN und RITTER (1966) berichteten, daß bei Jungpflanzen von *Pinus silvestris* die Phosphataufnahme (in jenem Fall P^{32}) durch Beschattung erheblich reduziert wurde, weil sie aus physiologischen Gründen stark lichtabhängig sei. Dagegen fanden BURSCHEL und SCHMALTZ (1965) eine Phosphorsäureanreicherung in den Sprossen und Wurzeln ihrer 2+1-j. Buchen, in den Blättern jedoch keine Veränderung. Dem entsprechen weitgehend die eige-

nen Ergebnisse. Etwas davon weichen wiederum die Ergebnisse von OVINGTON und MACRAE (1960) ab, die bei ein- und zweijährigen Eichensämlingen einen Anstieg der P-Gehalte in Blättern und Wurzeln fanden, während in den Sprossen praktisch keine Änderungen eintraten. Bei *Lupinus luteus* erhielt RÜHRIG (1967) einen außerordentlich starken Anstieg der P-Gehalte mit zunehmender Beschattung (von 100 % auf 1 % Lichtintensität um das Siebeneinhalbfache). Bei *Lupinus polyphyllus* war diese Tendenz ebenfalls deutlich, aber nicht so stark ausgeprägt.

Bei den K- und Ca-Gehalten ihrer dreijährigen Buchen konnten BURSCHEL und SCHMALTZ weniger eindeutige Trends feststellen, obwohl im allgemeinen eine Zunahme mit steigender Beschattung erkennbar wurde. Dasselbe gilt für die von OVINGTON und MACRAE mitgeteilten Werte bei den Eichensämlingen. Auch hinsichtlich der Einflüsse verschiedener Standorte auf die K- und Ca-Gehalte ließen sich offenbar keine allgemeineren Trends nach den verfügbaren Arbeiten aufzeigen. GAST (1937) z.B. fand starke Kaliunterschiede nach dem Substrat, auf dem Kiefernkeimlinge gestanden hatten. Bei den eigenen Untersuchungen trat die Düngung verschiedentlich höchstgesichert in Erscheinung, manchmal aber auch nicht. Die von BURSCHEL und SCHMALTZ mitgeteilten Werte sind diesbezüglich ebenfalls sehr uneinheitlich.

Während BURSCHEL und SCHMALTZ außerdem keinen Einfluß des Standorts auf die Ca-Gehalte der Buchenversuchspflanzen nachweisen konnten, brachten die Analysen aller hier beschriebenen Fichten stets eine starke Anhebung.

Um nun diese z.T. einander widersprechenden Aussagen aufzuklären zu können, bedarf es offenbar noch sehr viel eingehenderer Versuche, die die Reaktionen junger Forstpflanzen unter Beschattungswirkung bei Zugabe verschiedenartig zusammengesetzter Nährstoffangaben und unterschiedlich hoher Nährstoffmengen bei mehreren Baumarten testen müßten, ähnlich wie sie HOFFMANN (1964) mit steigenden N- und P-Gaben bei eingetopften Fichtensämlingen bei vollem Lichtgenuß durchgeführt hatte.

Schlußfolgerungen

Für das gesamte Versuchsprojekt kann zusammenfassend festgestellt werden:

1. Die Beschattung ist das die Entwicklung der jungen Fichten am stärksten beeinflussende Moment gewesen. Auch unwesentlich erscheinende Lichtverminderungen führten zu einer erheblichen Abnahme der Trockengewichtserzeugung.
2. Eine Düngung kann nur wirksam werden, wenn die Belichtung nicht allzu stark reduziert wird. Sie wird offenbar bereits ineffektiv, lange bevor die Beschattung das Existenzminimum für den Jungwuchs erreicht.
3. Durch die Einbeziehung einer Düngungsvariante in das Versuchsprogramm wurden die Ergebnisse durchwegs präziser, die Aussagefähigkeit des Materials also wesentlich verbessert.
4. Die Wiederholung der Versuche unter anderen Witterungsbedingungen und der Vergleich der unter abweichenden ökologischen Bedingungen aufgewachsenen Fichten ermöglichte in vielen Fällen eine Überprüfung der Ergebnisse meist im Sinne ihrer Stützung, gelegentlich auch im Hinblick auf eine Einschränkung.
5. Für den praktischen Zweck einer direkten Förderung von Fichtennaturverjüngungen unter Schirm lassen sich Hinweise für die Prioritäten bei den Behandlungsmaßnahmen herleiten. Stark vereinfacht lauten sie: Eine wesentliche Wachstumsförderung ist bei einer Fichtenverjüngung primär nur über eine Erhöhung des Lichtangebots zu erreichen. Eine Düngergabe lohnt erst, wenn soviel Licht zur Verfügung steht, daß die erhöhten Nährstoffvorräte auch ausgenutzt werden können.
6. Zugleich müssen aber die unmittelbaren Folgen dieser beiden waldbaulichen Eingriffsmöglichkeiten bedacht werden, die starke Förderung der Bodenvegetation nämlich, und die mittelbaren in Form erheblich verschärfte Konkurrenzauswirkungen.

7. Zusammenfassung =====

Versuchsziel

Mit Hilfe einzelner Teilversuche sollten die Bedeutung eines Altholzschrims für das Wachstum junger Fichten (simulierte Naturverjüngung) und die modifizierende Wirkung einer mineralischen Düngung untersucht und diese Befunde aus dem Freigelände in einer Versuchsanlage mit künstlichen Beschattungsvorrichtungen überprüft und verglichen werden.

Versuchsanordnung

1. Im hessischen Forstamt Witzenhausen wurden in einer Höhenlage von 600 m ü.NN auf einer Saumfläche und in einem benachbarten Fichtenaltholz Freiflächenversuche angelegt. Die Parzellen wurden mit 1-j. Fichtensämlingen bepflanzt und unge düngt gelassen bzw. mit einer N-, P-, K-, Ca-Mehrnährstoffgabe versehen (jeweils 6-fach wiederholt) (Abb.1 - 3). Gras- und Wurzelkonkurrenz wurde beseitigt. Nach Versuchsbeginn im Frühjahr 1965 wurden die Flächen 3 Jahre lang betreut (im folgenden "Freiflächenversuch 1965" genannt).

2. Im Frühjahr 1967 wurde in der Nähe des Freiflächenversuchs ein Beschattungsversuch mit Schattierungsvorrichtungen aus Aluminiumjalousien und Seitenlichtabschattung aus Rohrgeflecht aufgebaut. Er enthielt 5 Beschattungsstufen in 3-facher Wiederholung. Jede Parzelle wurde je zur Hälfte gedüngt und ebenfalls mit 1-j. Fichtensämlingen bepflanzt. Der Beschattungsversuch konnte gleichfalls drei Jahre lang betreut werden ("Beschattungsversuch 1967").

3. Zur Aufklärung gewisser Unstimmigkeiten erschien es zweckmäßig, im Frühjahr 1969 die beiden Versuche in der Beschattungsversuchsanlage und auf der Saum- und Schirmfläche in mit einheitlichem Bodensubstrat gefüllten Kästen zu wiederholen. Die Ernte erfolgte im Herbst desselben Jahres.

Zusätzlich wurde eine Beschattungsvariante ohne Jalousien und ohne Seitenlichtabschattung als "echte" Kontrolle eingefügt ("Freiflächenversuch 1969" und "Beschattungsversuch 1969").

Die ökologischen Verhältnisse im Freigelände und unter den Beschattungsvorrichtungen

1. Die Witterung während des Beobachtungszeitraums war in den beiden Vegetationszeiten 1965 und 1966 zu kalt und zu naß, unterschied sich 1967, 1968 und 1969 nur unwesentlich vom langjährigen Mittel.

2. Strahlungsmessungen wurden mit Handluxmetern, Photozellen und Kugelpyranometern vorgenommen. Handluxmeter erlauben nur Punktmessungen. An mehreren Tagen wurden bei unterschiedlichen Strahlungsverhältnisse Messungen zum Vergleich der Einstrahlung in den beiden Versuchsanlagen durchgeführt. Die Lichtintensität unter dem Altholzschirm war stark abhängig von der Freiflächenhelligkeit und schwankte etwa zwischen 4 und 24 % (Tab.10). Auf das Problem der Korrektur von "Lichtfleckwerten" wird dabei näher eingegangen. Ähnlich weite Streurahmen ergaben sich für die Lichtintensitäten in den einzelnen Beschattungsstufen (Tab.11). Die Meßwerte der Schirmfläche ordneten sich zwischen die der Stufen 3 und 4 im Beschattungsversuch ein. Die Messungen mit Lichtschreibern (Tab.12) lagen in der Größenordnung ähnlich, waren aber offenbar mit verschiedenen gerätebedingten Fehlern behaftet.

Umfangreiche Messungen der Zirkumglobalstrahlung konnten 1968 und 1969 in beiden Versuchsanlagen vorgenommen werden (Abb.7). Die Tagessummenwerte wurden für jede Beschattungsstufe und die Schirmfläche zusammengestellt und berechnet. Dabei wiesen die jeweiligen Mittelwerte keine größeren prozentualen Streuungen auf als die der Freiflächenmessungen. Die Strahlungsintensität unter der natürlichen wie der künstlichen Beschattung nahm mit steigender Aussenhelligkeit unterproportional zu (Abb.7). Diese Funktion ließ sich in den meisten Fällen durch Hyperbeln kennzeichnen. Die mittlere Strahlungsintensität für die einzel-

nen Beschattungsvarianten wurde mit Hilfe der errechneten Funktionen über dem Durchschnitt der Freiflächenstrahlung an allen Meßtagen ermittelt. Danach entsprechen die Werte der Schirmfläche etwa denen der Beschattungsstufe 4 (Abb.7). Da diese Verhältniszahlen offenbar die Strahlungsbedingungen gut charakterisierten, dienten sie als Bezugsbasis für die Beurteilung der Wuchsleistungen.

3. Auf dem Saum wurden die Niederschläge geringfügig, unter dem Schirm um rd. $1/3$ herabgesetzt (Tab.13). Demgegenüber ließ sich das Maß der Interzeption in den Beschattungskästen nicht genau bestimmen (Tab.14).

4. Die Evaporation wurde auf dem Saum gegenüber der Freifläche nur unwesentlich, unter dem Schirm der Altfichten um über $1/3$ verringert. In den Beschattungskästen verursachte die Seitenlichtabschattung allein eine Verminderung der Verdunstung um 40 %. Die Schattierungsvorrichtungen verringerten sie nochmals um etwa 25 %, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Beschattungsstufen dann nicht mehr groß waren (Abb.8).

5. Die Luftfeuchtigkeiten unterschieden sich nur an sonnigen Tagen und entsprachen sich auf der Saum- und Freifläche sowie auf der Schirmfläche und in den beschatteten Kästen. In den Abendstunden stieg wegen der langsameren Abkühlung die Luftfeuchtigkeit im Wald langsamer wieder an als im Beschattungsversuch (Abb.9).

6. Die Bodenfeuchtigkeiten erreichten niemals kritische Werte. Sie lagen aber auf der Saumfläche und in den offenen Beschattungskästen nach etwas längeren niederschlagsfreien Perioden deutlich niedriger als in allen überschatteten Versuchsvarianten (Abb.10).

7. Die Luft- und Bodentemperaturen differenzierten sich an warmen Tagen ebenfalls deutlich in die Gruppen der nicht überschirmten und der beschatteten Versuchsvarianten, obwohl auch die letztgenannten noch klare Abstufungen aufwiesen (Abb.11). Die geringeren Temperaturamplituden bei den stär-

ker beschatteten Parzellen waren im wesentlichen auf die Absenkung der Maxima zurückzuführen.

8. Die etwas problematischen Messungen der CO₂-Versorgung (über die Absorption in Kalilauge ermittelt) ergaben eine durchgängig geringere CO₂-Absorption unter den künstlichen Beschattungsvorrichtungen, während im Freigelände keine wesentliche Veränderung durch die Überschirmung eintrat (Tab.15).

Die Trockensubstanzerzeugung in den Versuchsflächen

1. Im Freiflächenversuch 1965 war nach 2 Vegetationszeiten bei den Fichten auf der Saumfläche durch Düngung der Zuwachs an Gesamtsubstanz auf mehr als das Vierfache gesteigert worden (Tab.19), die Überschirmung hatte sich ebenfalls, und zwar stark wachstumshemmend ausgewirkt. Die jungen Fichten unter dem Schirm der Altlichten leisteten nur rd. 20 % an Zuwachs gegenüber denen auf dem Saum. Unter dem Schirm hatte die Düngung keinen Effekt gehabt. Nach einem weiteren Jahr verminderte sich zwar die Überlegenheit der gedüngten nicht überschirmten Fichten etwas, grundsätzlich änderte sich aber nichts an dem Reaktionsbild.

2. Im Freiflächenversuch 1969 äußerten sich bereits nach einer Vegetationszeit dieselben Verhaltensmuster.

3. Im Beschattungsversuch 1967 war die Beschattung der das Wachstum entscheidend beeinflussende Faktor und führte zu einer kontinuierlichen Abnahme der Substanzproduktion (Tab.20 und 21). Die Düngung hingegen ließ sich fast niemals als unabhängiger Effekt nachweisen. Nur die unbeschatteten Fichten steigerten ihre Substanzerzeugung erheblich. Mit zunehmender Beschattung verlor sich der durch Düngung verursachte Mehrzuwachs (Tab.22). Wegen der größeren Amplitude der Extremwerte ließen sich die Mittelwerte der einzelnen Beschattungsstufen stets bei den gedüngten Varianten besser gegeneinander statistisch absichern. Zugleich zeigten die Wiederholungen aber bei diesen auch geringere Streuungen.

Die Reaktion auf Beschattung und Düngung war bereits nach der ersten Vegetationszeit bei den Nadel Trockengewichten klar und eindeutig gewesen, hinsichtlich der Sproß Trockengewichte reagierten die ungedüngten Fichten anfangs sehr viel langsamer auf die Beschattung. Am stärksten wurde das Wurzelgewicht durch die Beschattung beeinflusst und absolut wie auch relativ am geringsten durch die Düngung gefördert. Das Durchschnittsgewicht der Einzelnadeln nahm ebenfalls mit verringerter Lichtintensität stark ab, und zwar sehr **exakt** den Beschattungsgraden folgend. Sehr gering war hier die Düngewirkung. Die Anhebung des Nadel Trockengewichts je Pflanze erfolgte also im wesentlichen über die Erhöhung der Nadelzahlen je Baum (Tab.24).

4. Der Beschattungsversuch 1969 zeigte, daß die Seitenlichtabschattung aus Rohrgeflecht bereits eine erhebliche Minderleistung an Trockensubstanz verursachte, obwohl eine Reduzierung der Strahlungsintensität nicht nachgewiesen werden konnte. Die 1969 günstigere Witterung hatte eine höhere Gesamtwuchsleistung mit stärkerer Differenzierung nach den Beschattungsgraden, aber eine insgesamt sehr viel schwächere Düngungswirkung zur Folge (Tab.25 und 26).

5. Bei den beiden 1969 einheitlich angelegten Freiflächen- und Beschattungsversuchen war die Wuchsleistung der Fichten auf der Saumfläche etwas niedriger als die der auf der Freifläche erwachsenen. Die Produktion der Fichten unter dem Altholzschirm lag niedriger als die der Pflanzen im Beschattungsversuch, wenn man die entsprechenden Werte der Strahlungsintensitäten als Bezugsbasis zugrundelegt (Abb.12). Dasselbe gilt für den Vergleich der Ergebnisse aus dem Freiflächenversuch 1965 mit dem Beschattungsversuch 1967. Dabei traten aber Verschiebungen bei den Düngungsvarianten auf, die einen exakten Vergleich ausschließen.

6. Die Verminderung der Trockensubstanzerzeugung steht offenbar mit der Abnahme der Intensität der Zirkumglobalstrahlung in einem logarithmischen Zusammenhang. Dies ließ sich über 3 Vegetationszeiten hinweg besonders bei den gedüngten Varianten

ten aufzeigen (Abb.13). Mit zunehmendem Alter der Fichten erhöhte sich der Kompensationspunkt von Assimilation und Atmung deutlich.

7. Durch die Versuchsfaktoren wurde der Anteil von Nadeln, Sprossen und Wurzeln am Gesamtgewicht erheblich verändert. Mit zunehmender Beschattung erhöhte sich der Nadelanteil zunächst nur unwesentlich, stieg bei der stärksten Stufe jedoch an. Der Sproßanteil blieb bei den ungedüngten Fichten gleich, nahm bei den gedüngten hingegen im tiefen Schatten ab. Der Wurzelanteil wurde stets eindeutig und z.T. stark reduziert. Die Düngewirkung veränderte sich wiederum mit der Beschattung. Am auffälligsten wurde der Sproßanteil gefördert, der Wurzelanteil entsprechend vermindert. Ähnliche, aber weniger prägnante Ergebnisse erbrachte auch das Wurzel:Sproß-Verhältnis.

8. Die von den Parzellen geernteten Stichproben zeigten besonders bei den Sproßgewichten der ungedüngten Fichten Abweichungen von der Normalverteilung (Tab.33). Die gedüngten Varianten waren demgegenüber eindeutig homogener. Die Streuung innerhalb der einzelnen Stichproben vergrößerte sich mit zunehmender Beschattung, während die Düngung diese kaum beeinflusst hatte (Tab.34 u. 35).

Die Wirkung auf die Morphologie der jungen Fichten

1. Bei den Sproßdurchmessern ergaben sich einige Übereinstimmungen mit den Befunden bei den Trockengewichten (Tab.36, 38 u.39). Trotzdem ist, da die Regression zwischen den Sproßdurchmessern und den Trockengewichten nicht linear verläuft, der Sproßbasisdurchmesser vielfach als Kriterium zur Kennzeichnung des Wachstumsverhaltens junger Forstpflanzen ungeeignet. Besser scheint dafür die Sproßquerschnittsfläche zu sein.

2. Große Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchseinheiten ergaben sich bei der Sproßlängenentwicklung. Generell trat bei ihnen eine Reaktion auf die Versuchsbedingungen langsamer und

schwächer ein. Immer bewirkte die Beschattung aber eine Reduzierung des Längenzuwachses, niemals eine Etiolierung (Tab.39 u.42).

3. Die Zahl der Zweige 1.Ordnung verdeutlichte, daß die Veränderung der Sproßtrockensubstanzleistung in mindestens ebenso starkem Maß wie über die Zunahme von Längen- und Dickenwachstum über die Vermehrung der Seitentriebe erfolgte (Tab. 39 u. 42), statistisch sogar oft in besserer Übereinstimmung mit den Trockengewichtsergebnissen.

4. Auch die Wurzellängen wurden durch Beschattung und Düngung prägnant verändert.

5. Bei den vier genannten Meßkriterien schien wiederum wie bei den Trockengewichten ein logarithmischer Zusammenhang zwischen ihrer Abnahme und der Verminderung der Strahlungsintensität zu bestehen (Abb.14).

6. Nicht nur bei Sproßdurchmesser und Sproßtrockengewicht scheint die Regression in Form einer Parabel zu verlaufen, sondern auch bei Sproßlängen : Sproßtrockengewichten, Zahl der Zweige 1. Ordnung : oberirdischer Substanz, Wurzellängen : Wurzeltrockengewichten, Wurzeloberflächen : Wurzeltrockengewichten, Wurzellängen : Wurzeloberfläche.

Die Nährstoffgehalte in den jungen Fichten

Im Beschattungsversuch 1967 wurden jeweils am Ende der drei Vegetationszeiten 1967-69 Nadelanalysen der ungedüngten und gedüngten Fichten durchgeführt (Tab. 43 u.44), 1968 außerdem die Nährstoffgehalte der Sprosse und Wurzeln bestimmt (Tab.47 u.48). Aus den anderen Versuchseinheiten liegt z.T. etwas weniger Material vor (Tab.49-51).

1. Die Stickstoffgehalte der Nadeln wurden durch die Beschattung stark erhöht (Tab.45). Eine Ausnahme machten die ungedüngten Fichten nach der ersten Vegetationszeit, (und zwar übereinstimmend in allen Versuchseinheiten). Bei ihnen veränderten

sich die N-Gehalte disproportional mit zunehmender Beschattung. Sie verringerten sich zunächst im mittleren Schattenbereich und stiegen erst bei starker Beschattung wesentlich an.

Auch die Düngewirkung ließ einen langsamen und etwas widersprüchlichen Anpassungsprozeß erkennen. Zunächst wurden die N-Gehalte erhöht, im 2. Jahr trat kein gesicherter Unterschied auf, nach der 3. Vegetationszeit lagen die N-Gehalte der gedüngten Varianten durchweg niedriger (Tab.44).

Ebenfalls bei den Sprossen und Wurzeln bewirkte die Beschattung stark ansteigende N-Gehalte. In allen drei Pflanzenteilen schien dieser Anstieg wiederum linear mit dem Logarithmus der Strahlungsintensität zu erfolgen (Abb.15).

2. Die Beschattung hob die Aschenanteile in den Nadeln verschiedentlich etwas an bzw. reduzierte die C-Gehalte. Deutlicher wurde der Glührückstand jedoch durch die Düngung erhöht. Bei den Sprossen waren die Effekte undeutlicher, bei den Wurzeln wieder besser erkennbar.

3. Das C:N-Verhältnis bei den Nadelproben hatte sich mit zunehmender Beschattung verbessert. Es war durch die Düngung in nicht interpretierbarer Weise verändert worden.

4. Bei den Phosphor-Gehalten der Nadeln traten wieder unklare Reaktionen auf: Bei den ungedüngten Fichten des Beschattungsversuchs 1967 schien der P-Gehalt mit Beschattung zuzunehmen, bei den gedüngten erreichten die Pflanzen im mittleren Schattenbereich die höchsten Werte. Im Beschattungsversuch 1969 ließ sich dieses Reaktionsschema auch bei den ungedüngten Fichten feststellen. Stets brachte die Düngung eine eindeutige Zunahme. In gleicher Weise verhielten sich auch die P-Gehalte in Sprossen und Wurzeln.

5. Das N:P-Verhältnis veränderte sich bei den ungedüngten Pflanzen nicht durch die Beschattung, deutlich aber bei den gedüngten (Abb.16).

6. Die Kali-Gehalte wurden in den einzelnen Versuchseinheiten unterschiedlich teils stärker durch die Beschattung, teils durch die Düngung verändert, und zwar stets im Sinne einer Steigerung.

7. Die Beschattung wirkte auf die Calcium-Gehalte nur geringfügig ein, z.T. wiederum in Form disproportionaler Veränderungen, während die Düngung stets eine starke und von der Beschattung unabhängige Anhebung zur Folge hatte. Ähnliches gilt für die Gehalte in den Sprossen und Wurzeln.

8. Nur bei den ungedüngten Varianten erhöhten sich die Magnesium-Konzentrationen der Nadeln nach Beschattung geringfügig, während nach Düngung stets eine gleichmäßige Erhöhung eintrat.

9. Bei den Eisen-Gehalten der Nadeln äußerten sich offenbar gewisse Parallelen, allerdings schwächer ausgeprägt als bei den N-Gehalten. Außerordentlich hoch lagen die Fe-Gehalte der Wurzeln.

10. Die Aluminium-Gehalte erhöhten sich nach Beschattung signifikant nur in den Sprossen, nach Düngung verringerten sie sich in den Nadeln.

Diskussion und Literaturvergleich

1. Durch den Vergleich der unter natürlicher und künstlicher Beschattung aufgewachsenen Fichten und die Wiederholung der Versuche unter veränderten Witterungsbedingungen konnten manche Ergebnisse gestützt, manche aber auch relativiert werden.

2. Die Anpassung der Jungpflanzen an die Versuchsbedingungen erfolgte zwar grundsätzlich rasch, trotzdem ließen sich einige Reaktionen deutlich erst nach mehreren Jahren belegen. Deshalb sollten solche Versuche stets langfristiger geplant werden.

3. Die Beschattung hatte bei allen Kriterien zu einer Abnahme geführt, entgegen den Ergebnissen anderer Versuchsansteller niemals eine Etiolierung bewirkt.
4. Lineare Beziehungen zwischen verschiedenartigen Meßgrößen und dem Logarithmus der Strahlungsintensität wurden bereits mehrfach nachgewiesen und konnten auch hier für mehrere Kriterien aufgezeigt werden.
5. Die Messung der Zirkumglobalstrahlung mit BELLANI-Kugelpyranometern wird als brauchbare Bezugsbasis für Aussagen über das Pflanzenwachstum beurteilt.
6. Die Schwierigkeiten der Einschätzung von Veränderungen anderer ökologischer Faktoren im Hinblick auf die Substanzerzeugung lassen sich besonders deutlich am Beispiel des Effekts der Seitenlichtabschattung erläutern.
7. Die Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse mit denen anderer Versuchsansteller, die in einer gleichartigen Versuchsanlage gewonnen wurden, verdeutlicht wiederum die Problematik solcher Vergleiche wegen der vielfältigen Abweichungen von Witterung, Pflanzenmaterial, Bodensubstrat und Höhenlage.
8. Der Mangelfaktor Licht kann, nach den eigenen Ergebnissen zu schließen, offenbar nicht generell durch Verbesserung des Faktors Nährstoffversorgung kompensiert werden, wie es aufgrund anderer Untersuchungen der Fall zu sein schien.
9. Die ermittelten Nährstoffgehalte stimmten nicht in allen Fällen mit entsprechenden Angaben in der Literatur überein. Nicht interpretiert konnten die z.T. disproportionalen Veränderungen der Konzentrationen mehrerer Nährstoffe bei Veränderungen der Strahlungsintensitäten werden. Ähnliche Reaktionsbilder lassen in mehreren Fällen Zusammenwirken oder Antagonismen verschiedener Nährstoffe erkennen.
10. Die Einbeziehung einer Düngungsvariante ergab durchweg prägnantere Versuchsergebnisse.

11. Eine Düngung erscheint für den praktischen Zweck einer Förderung von Naturverjüngungen nur erfolgversprechend, wenn den Jungpflanzen erheblich mehr Licht gegeben wird als gemeinhin üblich. Damit erhöht sich aber zugleich das Risiko einer kräftigen Entwicklung der Bodenvegetation.

Summary

Objectives

Various experiments were established to analyse the significance of sheltering stands and fertilization to the growth of young spruce seedlings (simulated natural regeneration). The results of this experiment were compared with those of spruce seedlings growing beneath manufactured sun screens.

Layout of the experiments

1. The research plots were established in 1965 in the Forest District Witzenhausen near Kassel. They were - 6 times replicated - laid out on a strip next to a mature spruce stand and within the stand. The plots were planted with 1 year old spruce seedlings. One half were treated with NPKCa fertilizer, the rest were left untreated (illus.1). Competition from roots and grasses was mechanically eliminated. This experiment was maintained for three years. It is hereafter referred to as "Open Air Experiment 1965").

2. In spring 1967, more research plots were placed near the established open air experimental plots. On these plots - 3 times replicated - shading lattices and side curtains were employed to provide shade of five different intensities (illus.5). These lattices were made from aluminium, and the side curtains were reed mats used to reduce side light. Half of each plot was fertilized and then the plots were planted with one year old spruce seedlings (illus.4). This experiment was maintained for three years. (It is hereafter referred to as "Shading Experiment 1967").

3. In order to clear up discrepancies between the results of both experiments both layouts were repeated with boxes filled

with uniform soil material. A control plot without shading lattices or side curtains was introduced as a "real" control. This experiment was maintained only for one growth season. It is hereafter referred to as "Open Air Experiment 1969" and "Shading Experiment 1969".

Ecological conditions in the open air plots and artificially shaded plots

1. The weather conditions during the growth season in 1965 and 1966 were uncommonly cold and wet. In 1967, 1968 and 1969 the weather corresponded roughly with the established normal means.

2. Radiation intensity was measured with handluxmeters, photometers and Bellani pyranometers. Handluxmeters can only be used for "point measurements". For comparison measurements were taken in both experiments on several different days with varying intensities of irradiation. The intensity of light penetrating the mature stand was highly dependent on the irradiation in the open and varied from 4 to 24 % (table 10). The correction problem of light spots is discussed in detail in the German text. Similar wide variations of light intensities as in the mature stand were measured in the different shading degrees (table 11). The light intensities in the shelterwood fit into the category between grades 3 and 4 of the shading experiment. Measurements with the light meters (table 12) produced similar dimensions but they were obviously affected by instrumental error.

Extensive measurings were taken in 1968 and 1969 with Bellani pyranometers (illus.7). The daily sums for each shading grade and the shelter wood facts were compiled and computed. The corresponding means did not show greater coefficients of radiation grew unproportionally under the natural as well as the artificial shading according to increasing light in the open

(illus.7). This function could be characterized mainly by means of a hyperbola. The mean intensity of radiation for the different shading variates was calculated according to the mean of the radiation in the open at all days measured by means of the computed functions. After that, the readings of the shelterwood resemble those of shading grade 4 (illus.7). As these proportions obviously present a good idea about the conditions of irradiation, they are used as a reference for the assessment of growth production.

3. On the border strip the precipitation was reduced slightly, in the shelterwood however of about $1/3$ (table 13). Unfortunately the rate of interception could not be determined exactly in the shading boxes (table 14).

4. As compared with the open area, the evaporation was reduced only slightly on the border strip but significantly to about $2/3$ underneath the old spruces. In the shading boxes the lateral reed mats solely caused a reduction of evaporation of about 40 %. The shading lattices led to another 25 % reduction. But differences between the shading grades were relatively small (illus.8).

5. Atmospheric moisture showed difference only on sunny days. It was identical in the border strip and in the open as well as under the shelter wood and in the shading boxes. Because of the slow cooling in the evening, the humidity increased slower in the forest than it did in the shading boxes (illus.9).

6. The water content of the soil never came to a critical point. Nevertheless after some days of dryness, it was remarkably reduced in the border strip and in the open shading boxes as compared to all the shaded variates (illus.10).

7. On warm days the temperature of air and soil differed distinctly in the groups of the unsheltered and the shaded variates, and these showed clear graduations too (illus.11). The smaller amplitudes of the more shaded plots resulted mainly from the lowering of the maximum.

8. Measurements of CO₂, determined by the absorption rate in KOH, were somewhat problematic. In general they recorded a lower absorption rate of CO₂ underneath the artificial shading lattices, whereas in the open air experiment there was no significant change from the shelter (table 15).

Production of dry material in the experiments

1. After 2 vegetation periods in the Open Air Experiment 1965 the fertilized spruces in the border strip produced more than four times as much as the non-fertilized ones (table 19). Sheltering also had a strong effect. It resulted in a significant reduction of growth: The young spruces underneath the shelterwood only produced about 20 % of the increment as compared with those on the border strip. Fertilizing had no effect under the shelterwood.
2. In the Open Air Experiment 1969 the same reactions were already observed after one vegetation period.
3. In the Shading Experiment 1967 shading had a decisive effect on growth and resulted in a steady decrease of dry matter production (table 20 and 21). On the other hand, fertilization almost never proved to have an independent effect. Only the unshaded spruces were able to increase their production considerably. The gain in increment caused by fertilization was lost with increased shading (table 22). Because of the greater amplitudes it was much easier to delimitate statistically the mean values of the different shading grades of the fertilized variates than it was of the unfertilized. Also the means of the replications at every shading grade displayed much less variance.

After one vegetation period the needle dry weights showed clear and distinct reactions to the shading and the fertilization. In regard to shoot dry weight production, the non-fertilized spruces reacted significantly slower in the initial stages.

The root weights were the strongest influenced by shading, while they were least stimulated by fertilization in absolute as well as in relative terms.

Mean weight of the needles was also strongly reduced by decreasing intensity of light and related exactly to the shading grades.

Fertilizing gave inferior results. The increase of the needle dry weights was due mainly to an increase in the number of needles per tree (table 24).

4. The Shading Experiment 1969 showed that the lateral reed mats caused a considerable reduction in the production of dry matter although it was not possible to determine the reduction of light intensity. The more favourable weather conditions in 1969 resulted in a higher total production and a more definite differentiation between the shading grades, but on the other hand, the fertilization had a much smaller effect (table 25 and 26).

5. In the both 1969 open air and shading experiments, production of the spruces was somewhat lesser on the border strip than that in the open. Increment of the spruces under the shelterwood was less than that of the trees in the shading experiment if one bases the respective data on the radiation intensities (illus.12). The same results were achieved by comparing the data from Open Air Experiment 1965 to Shading Experiment 1967. Unfortunately there were some discrepancies with the fertilizing variates that exclude an exact comparison.

6. The reduction of the dry matter production is obviously connected logarithmatically with the decrease of the intensity of radiation as measured with Bellani pyranometers. This could be pointed out particularly during the 3 vegetation periods with the fertilized variates (illus.13). The compensation point of assimilation and respiration rose distinctly with the increasing age of the spruces.

7. Each portion of needles, shoots and roots in the total weight has been heavily influenced by the experimental factors. Caused by increased shading the needle portions increased only slightly in the first stage but discented in the darkest shading grade. The mass portion of shoots remained equal in the unfertilized spruces, although they declined in the heavily shadowed, fertilized trees.

The portion of roots was always definitely reduced, and in some cases very strongly by the shading. The effects of fertilization were again altered by the shading. Most noteworthy was that as the shoots were favoured, the roots were correspondingly reduced. Analogous, but less precise results also gave the shoot-root ratio.

8. The samples from the different plots showed variations from the standard deviation, especially the shoot weights of the nonfertilized spruces (table 33). However, the fertilized variates were remarkably more homogeneous. Standard deviation became larger in relation to increased shading, while fertilization did not influence it (table 34 and 35).

Effects on morphology of the young spruces

1. Regarding the shoot basal diameter, there were some conformities with the results of the dry weights (table 36, 38, and 39). Nevertheless this parameter can not always be used to characterize growth reactions of young forest trees, because the regression between shoot diameters and dry weights is not linear. Shoot basal area seems to fit better in regard to the development of diameter.

2. There were great deviations between the different experimental units as far as shoot length is concerned. In general, reactions to the experimental factors were slower and weaker. However shading always caused a reduction of length growth and never etiolement (table 39 and 42).

3. The number of branches in the first order clarifies that the change in shoot dry matter production is at least equally influenced by the change in the number of branches as it is affected by the change in diameter growth and shoot length (table 39 and 42). Statistically this parameter is in even better correlation to the dry weight data.

4. Root lengths also were definitely altered by shading and fertilization.

5. Obviously there exists a logarithmic correlation between the reduction of all four parameters and the decrease of radiation intensity also (illus.14).

6. Regressions appear to be parabolic with the following criteria:

shoot diameter and shoot dry weight, shoot length and shoot dry weight, number of branches in the first order and above ground matter, root length and root dry weight, root surface area and root dry weight, root length and root surface area.

Nutrient content of the young spruces

In the shading experiment 1967 the needles of unfertilized and fertilized spruces were analyzed at the end of the vegetation periods 1967, 1968 and 1969 (table 43 and 44). In addition the nutrient content of shoots and roots was determined in 1968 (table 47 and 48). Less data was available from the other experimental units (table 49-51).

1. Nitrogen content of the needles increased significantly with shading (table 45). An exception, which occurred in all experimental units, was observed in the unfertilized spruces after the first vegetation period. The nitrogen content changed disproportionally with increased shading. At first it was reduced in moderate shadow and then increased essentially only in a stronger shadow.

The young spruces also adapted themselves slowly and incongruously to fertilization. In the first year the nitrogen contents were raised, in the second year no significant difference could be recognized, and after the third vegetation period the nitrogen content of the fertilized varieties were lower throughout (table 44).

Shading also caused a strong increase of N-content in the shoots and roots. In all three parts of the young plants, the ascent seemed to correlate linearly with the logarithm of the radiation intensity (illus. 15).

2. Shading differently increased the ignitive residues of the needles, although alternatively the carbon content was reduced. However fertilization distinctly increased the ignitive residues. The effect observed by the shoots was less precise, although the roots again displayed clear results.

3. C:N ratio of the needles grew with increased shading. Fertilization altered the ratio in a non-explicable manner.

4. Phosphorus content of the needles again reacted unprecisely: in the unfertilized spruces of the Shading Experiment 1967 P-contents obviously rose with increased shading but reacted its peak in the medium shade.

Likewise in the Shading Experiment 1969 this pattern was observed in the unfertilized spruces. Fertilizing in any case resulted in a definite increase. P-content of the shoots and roots reacted in the same manner.

5. N:P ratio was influenced by shading in the fertilized plants, however there was no effect with the unfertilized ones (illus.16).

6. Potassium content in the experimental units was always increased but was influenced differently - partly by fertilization and partly by shading.

7. Calcium content of needles was altered only slightly by shading and displayed disproportional results similar to the phosphorus content. However, fertilization always led to an increase which was independent of shading. Similar results were gained for the contents of the roots and shoots.

8. Magnesium content increased only a little by shading whereas fertilization always caused an increase.

9. Fe content of the needles paralleled to the other nutrient contents but was certainly less pronounced as in the N concentrations. The Fe content was extraordinarily high in the roots.

10. Aluminium content was raised significantly only in the shoots by shading. Fertilization resulted in a reduction of aluminium in the needles.

Discussion and literature comparision

1. The comparision of spruces grown under natural and artificial shading along with the replication of the experiments under different weather conditions produced the opportunity to support many of the results and to relate some others.

2. Adaption of the young spruces to the experimental conditions in general was quick, although some reactions became clear only after a few years.

3. Shading in almost all criteria led to a reduction. Contrary to other experiments, it never resulted in an etiolement.

4. Linear regressions between various parameters and the logarithm of radiation intensity have already been pointed out, and it was also possible to relate them to several other criteria.

5. Measurement of the gobal radiation with Bellani pyrano-

meters is judged to be an useful basis for statements concerning growth of plants.

6. Difficulties in estimating the alternatives of some ecological factors with regard to dry matter production could be best explained particularly by the effects of the side shadowing.

7. Comparison of these specific datas with those of other experiments which are carried out in similar experimental installations, points out again the problematic nature of such comparisons because of the multi-phased variations of weather conditions, plant material, soil substrate and elevation.

8. According to these specific findings light as a critical factor of deficiency obviously can not be compensated in general by fertilization. This is contrary to assessments in other papers.

9. Collected concentrations of nutrients did not correspond in all cases with data given in the literature. It was not possible to interpret the disproportional alterations of some nutrient contents , that have been observed in some cases. Similar reaction patterns seem to be due to cooperations or antagonismus of several nutrients.

10. Fertilization generally led to more exact results.

11. In practice fertilizers should be applied in order to aid natural regeneration only if the young plants are expected to receive much more light than is ordinary. However, one has to keep in mind the risk that a strong ground vegetation might develop because of the fertilization.

8. Literaturverzeichnis

=====

- AEG (o.J.): Beleuchtungsmesser und Leuchtdichtevorsatz.
Firmenschrift 1812. 101 A 24 FR/0366
- ALDRICH-BLAKE, R.N. (1932): The Influence of Nutrition on
the Relative Root and Shoot Development of Forest-tree
Seedlings. Journ. of Forestry (6) : 40-52
- ARBEITSKREIS für STANDORTSKARTIERUNG (1966): Forstliche
Standortsaufnahme. 2.Aufl. 100 S.
- BADOUX, H. (1898): Lichtversuche mit Deckgittern. Mitt.
Schweiz. Centralanstalt f.forstl. Versuchswesen: 29-36
- BAKER, F.S. (1945): Effects of shade upon coniferous seed-
lings grown in nutrient solutions. Journ. of Forestry (43):
429-35
- BASKERVILLE, G.L. (1965): Dry matter production in immature
balsam fir stands. For. Sci.-Monograph (9): 10
- BATES, C.G. and ROESER, J. (1928): Light intensities required
for the growth of coniferous seedlings. Amer.Jour.Bot. (15):
185-94
- BAUER, G. (1962): Strahlungsmessung im optischen Spektralbe-
reich. Braunschweig. 181 S.
- BAULE, H. und FRICKER, C. (1967): Die Düngung von Waldbäumen.
München, Basel, Wien. 259 S.
- BAULE, H. und GUSSONE, H.A. (o.J.): Düngungsversuch Dudenho-
fen. Unveröffentlichte Versuchsunterlagen.
- BAYER. STAATSMINISTERIUM für ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT und
FORSTEN (ed) (Ausgabe 1973): Düngungsrichtlinien für die
Forstwirtschaft. Erstellt vom Inst. f. Bodenkunde und
Standortslehre der Forstl.Forschungsanstalt München. 47 S.
- BLACKMAN, G.E. und RUTTER, A.J. (1946): Physiological Studies
in the Analysis of Plant Environment, I. The Light Factor
and the Distribution of the Bluebell (*Scilla non-scripta*)
in Woodland Communities. Ann.Bot., N.S.: 361 S.
- BLACKMAN, G.E. and RUTTER, A.J. (1948): Physiological and
Ecological Studies in the Analysis of Plant Environment.
III. The Interaction between Light Intensity and Mineral
Nutrient Supply in Leaf Development and the Net Assimila-
tion of the Bluebell (*Scilla non-scripta*). Ann. Bot., N.S.:
12; 1
- BLACKMAN, G.E. and WILSON, G.L. (1951): Physiological and
Ecological Studies in the Analysis of Plant Environment.

VI. The Constancy of Different Species of a Logarithmic Relationship between Net Assimilation Rate and Light Intensity and its Ecological Significance.

VII. An Analysis of the Differential Effects of Light Intensity on the Net Assimilation Rate, Leaf-Area Ratio, and Relative Growth Rate of Different Species. *Annals of Botany, N.S.*, (XV): 373-408

BOLLE-JONES, E.W. (1955): The Interrelationship of Iron and Potassium in the Potato Plant. *Plant and Soil* (6): 129-73

BOLLE-JONES, E.W. and NOTTON, B.A. (1953): The relative proportions of the chloroplast pigments as influenced by different levels of iron and potassium supply (V): 87-100

BRECHTEL, H.M. (1962): Methodische Beiträge zur Ökologie der Überschirmung und Auflichtung einschichtiger Waldbestände (dargelegt an Problembearbeitungen in Kiefern-Altbeständen der Forstbezirke Isenburg und Schwetzingen). *Schriftenreihe der LFV Baden-Württemberg* . 14.

BRECHTEL, H.M. (1969): Methode zur Untersuchung der Kiefern-Naturverjüngungsfrage. *AFJZ*: 193-204

BÜHLER, A. (1918): *Der Waldbau*, I. Band, Stuttgart, 662 S.

BÜLOW, A.v. (1964): Fichtennaturverjüngung in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. *AFZ* 39: 593-5

BURGER, H. (1939): Der Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. *Mitt.d.Schweiz. Anst.f. Forstl.Versuchsw.* 21: 5-56

BURSCHEL, P. (1966): Untersuchungen über die Düngung von Buchen- und Eichen-Verjüngungen. *AFJZ* 137: 193-201; 221-236

BURSCHEL, P. und HUSS, J. (1964): Die Reaktion von Buchensämlingen auf Beschattung. *Forstarchiv*

BURSCHEL, P. und SCHMALTZ, J. (1965): Die Bedeutung des Lichts für die Entwicklung junger Buchen. *AFJZ* 126: 193-210

CIESLAR, A. (1909): Licht- und Schattholzarten, Lichtgenuß und Bodenfeuchtigkeit. *Cbl. ges. Forstwesen*: 4-22

COOMBE, D.E. (1957): The spectral composition of shade light in woodlands, *Journ. of Ecology* 45: 823-30

COOMBE, D.E. (1966): The seasonal light climate and plant growth in a Cambridgeshire Wood. In: *Light as an ecological factor*. Oxford: 148-66

COURVOISIER, P. und WIERZEJEWSKI, H. (): Das Kugelpyranometer Bellani. Beiträge zur Strahlungsmeßmethodik V.Arch.f. Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Ser. B5: 413-46

- DENGLER, A. (1944): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Springer Berlin, 596 S.
- DROSTE zu HÜLSHOFF, B.v. (1969): Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes auf Grund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen. Diss. Staatsw. Fak. d. Univ. München, 209 S.
- EBER, W. (1972): Über das Lichtklima von Wäldern bei Göttingen und seinen Einfluß auf die Bodenvegetation, SCRIPTA GEOBOTANICA, Göttingen, 150 S.
- EIDMANN, F.E. und SCHWENKE, H.-J. (1967): Beiträge zur Stoffproduktion, Transpiration und Wurzelatmung einiger wichtiger Baumarten. Forstwiss.Forschungen. Beihefte zum "Forstwiss. Cbl.", Parey, 23, 46 S.
- ELLENBERG, H. (1939): Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen- und Buchen-Mischwaldgesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt.flor.-soziol.Arbeitsgemeinschaft. Niedersachsen 5: 1-135
- EVANS, G.C. (1966): Model and measurement in the study of woodland light climates. In: Light as an ecological factor. Oxford, 53-76
- EVANS, G.C. (1969): The spectral composition of light in the field. I. Its measurement and ecological importance. Journ. of Ecology, 57: 109-25
- FABRICIUS, L. (1927): Der Einfluß des Wurzelwettbewerbs des Schirmstands auf die Entwicklung des Jungwuchses. Forstwissensch. Centralblatt: 329-345
- FABRICIUS, L. (1929): Neue Versuche zur Feststellung des Einflusses von Wurzelwettbewerb und Lichtentzug des Schirmstandes auf den Jungwuchs. Forstwissensch. Centralblatt 51: 477-506
- FABRICIUS, L. (1935): Forstliche Versuche. Was entscheidet über Ankommen und Fußfassen der natürlichen Verjüngung unter Schirm? Forstwissenschaftl. Centralblatt 57: 11-17
- FRICKE, K. (1904): "Licht- und Schattenholzarten", ein wissenschaftlich nicht begründetes Dogma. Cbl.ges.Forstw. 30: 315-25
- GAST, P.R. (1936/7): Studies on the development of conifers in raw humus. III. The growth of Scots pine seedlings in pot cultures of different soils under varied radiation intensities. Medd. Statens Skogsförsöksanst. (Stockholm) 29: 587-682
- GAST, P.R. (1965): Modification and measurement of sun, sky and terrestrial radiation for eco-physiological studies. Proceedings of the Montpellier Symposium UNESCO: 29-45

- GIA, T.D. (1927): Beitrag zur Kenntnis der Schattenfestigkeit verschiedener Holzarten im ersten Lebensjahr. Forstwiss.Cbl. 386-97, 468-82, 425-35
- GUSSONE, H.A. (1964): Faustzahlen für Düngung im Walde. BLV, München: 98 S.
- GUSSONE, H.A. (1975): Untersuchungen über die Möglichkeiten zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Forstbetriebe und zur Steigerung des Holzaufkommens in der Bundesrepublik Deutschland durch Düngung. Unveröffentlichter hektografierter Forschungsbericht. 64 S.
- GUSTAFSON, F.G. (1943): Influence of light upon tree growth. J.For. 41: 212-3
- GÜTTLER, R. (1941): Über den Gehalt wildwachsender Pflanzen an Kalium, Phosphor, Eisen und Mangan. Forschungsdienst 11: 485-522
- HAUSSER, K. (1958): Waldbauliche und betriebswirtschaftliche Erfolge der Forstdüngung, erläutert an Beispielen aus dem Buntsandsteingebiet des württ. Schwarzwaldes. AFZ 13: 125-30
- HAUSSER, K. (1964): Düngung und Bestandesbegründung. Forst- und Holzwirt: 290-3
- HEINRICH, F. (1950): Zur Wirkung einer Bodendecke auf den Verdunstungsvorgang. Forstwiss. Cbl.69: 369-73
- HEISEKE, D. (1969): Untersuchungen über Samenproduktion und Samenflug, Keimung und Keimlingsentwicklung bei der Fichte. Diss.Forstl.Fak.d.Univ. Göttingen, 158 S.
- HEYER, G. (1852): Das Verhalten der Waldbäume gegen Licht und Schatten. Erlangen. 88 S.
- HÖHNE, F. (1964): Untersuchungen über die jahreszeitlichen Veränderungen des Gewichts und Elementgehalts von Fichtennadeln in jüngeren Beständen des Osterzgebirges. Archiv f. Forstw. 13: 747-74
- HOFFMANN, F.(1964): Die Bedeutung steigender N- und P-Gaben sowie unterschiedlicher Bodenart für Wachstum und Ernährung von Fichtensämlingen. Albrecht-Thaer.-Archiv 8: 675-98
- HOFFMANN, G. (1965): Möglichkeiten der Auswertung pflanzenphysiologischer Untersuchungen zur Aufstellung agrotechnisch optimaler Kulturpflegeetermine. Soz.Forst.16: 294-9
- HUSS, J. (1971): Untersuchungen über die Wirkung von Beschattung und Düngung auf das Wachstum junger Fichten. Unveröffentl. Habilitationsarbeit, Göttingen, 251 S.

- HUXLEY, P.A. (1967): The effects of artificial shading on some growth characteristics of Arabica and Robusta coffee seedlings. I. The effects of shading on dry weight, leaf area and derived growth data. J. of appl. Ecology 4: 291-308
- JUNG, J. und RIEHLE, G. (1966): Blatt- und nadelanalytische Auswertungen bei mehrjährigen Düngungsversuchen mit Forstpflanzen in Gefäßen. Forstwiss. Chl.85: 295-305
- KAUTTU, K. (1952): Beobachtungen über Schwankungen von Belichtung, Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit in einem Fichtenbestand. Comm. Inst. For, Fenn. 40: 1-21
- KERN, K.G. (1966): Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftenr. d. Forstl. Abt. d. Univ, Freiburg, BLV. 232 S.
- KRAFT, G. (1878) Über das Beschattungsertragnis der Waldbäume. AFJZ 54: 164-7
- KÜHNEL, H. (1969): Untersuchungen des Dränungserfolges an 50 Jahre alten Anlagen. Mitt.Schweiz. Anst. f.d. forstl. Versuchsw. 45: 339-436
- LANZ, W. (1969): Forstdüngung. Forstarchiv 40. Beiheft Nr.1: 36 S.
- LEH, H.-O. (1969): Abschnitt XI. Eisen. In Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Bd. I/2: 247-89
- LÜTZKE, R. (1961): Das Temperaturklima von Waldbeständen und -lichtungen im Vergleich zur offenen Feldflur. Arch.f. Forstw. 10: 17-83
- LÜTZKE, R. (1966): Vergleichende Energieumsatzmessungen im Walde und auf einer Wiese. Arch.f.Forstw. 15: 995-1015
- LUFT, W. (1970): Waldbaulich-ökologische Untersuchungen bei der Femelschlagverjüngung im montanen Tannen-Buchenwald des westlichen Hochschwarzwaldes. Forstl.Diss.Freiburg. 192 S
- LYR, H., HOFFMANN, G. und DOHSE, K. (1963): Über den Einfluß unterschiedlicher Beschattung auf die Stoffproduktion von Jungpflanzen einiger Waldbäume. Flora: 291-311
- LYR, H., HOFFMANN, G. und ENGEL, W. (1964): Über den Einfluß unterschiedlicher Beschattung auf die Stoffproduktion von Jungpflanzen einiger Waldbäume. II, Mitteilung. Flora, 155: 305-30
- LYR, H. HOFFMANN, G. und RITTER, G. (1966): Vergleichende Untersuchungen über die Schattenfestigkeit von Pinus silvestris L. und Pinus nigra Arnold bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung. Tagungsber.d.Deutsch.Akad.d. Landwirtschaftswiss. Berlin 75: 177-84

- LYR, H., POLSTER, O. und FIEDLER, H.-J. (1967): Gehölzphysiologie. Fischer, Jena, 444 S.
- MIEGROET, M. van und GOOSENS, R. (1961): Ein Apparat eigener Konstruktion zur Bestimmung der Qualität des durchfallenden und des reflektierenden Lichts an Blättern. Berichte des 13. Kongr. IUFRO, Bd. 21 : 23-28
- MITCHELL, H.L. (1936): The Effect of Varied Solar Radiation upon the Growth, Development and Nutrient Content of White Pine Seedlings Grown under Nursery Conditions. Black Rock Forest Papers 1 (4): 16-22
- MÖRIKOFER, W. (1962): Zur Klimatologie der Zirkumglobalstrahlung, gemessen mit Kugelpyranometer. Verhandl. d. Schweiz. Naturforschenden Ges., 142: 69-71
- MORRISON, J.K. and ARMSON, K.A. (1968): The Rhizometer - a device for measuring roots of tree seedlings. For. chronicle: 21-3
- MUDRA, A. (1958): Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Paul Parey, Berlin u. Hamburg, 336 S.
- NÄGELI, W. (1940): Lichtmessungen im Freiland und in geschlossenen Altholzbeständen. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. forstl. Versuchsw. 21: 250-306
- NÄGELI, W. (1953): Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfrohrwänden. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. forstl. Versuchsw.: 213-266
- NATHER, H. (1961): Untersuchungen über den Einfluß des Lichts auf die Morphologie von Koniferensämlingen unter besonderer Berücksichtigung der Wurzel Ausbildung. Int. Verb. Forstl. Forsch. Anst. 13. Kongreß: 23-5
- NEUWIRTH, G. (1966): Gasstoffwechsel und Licht in mehrschichtigen Waldbeständen. Tagungsber. d. Deutsch. Akad. d. Landwirtschaftswiss., Berlin: 185-9
- OVINGTON, J.D. and MC RAE, C. (1960): The growth of seedlings of *Quercus petraea*. J. of Ecology: 549-55
- PHYS.-METEOROL. OBSERVAT. DAVOS (1964): Kugelpyranometer Bellani. Unveröffentl. Bedienungsanleitung
- PLEISSEL, G. and LONGMORE, J. (1952): A method of correcting the cosine error of selenium rectifier photocells. Journ. Sci. Instrument. 29: 137-8
- PLATE, G. (1975): Ökologische Untersuchungen zur Verjüngung der Fichte. Forstl. Diss. Univ. München, 178 S.
- REEMTSMA, J.B. (1964): Untersuchungen an Fichte und anderen Nadelbaumarten über den Nährstoffgehalt der lebenden Nadeljährgänge und der Streu. Diss. Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen, 139 S.

- REIFSNYDER, W.E. and LULL, H.W. (1965): Radiant Energy in Relation to Forest. Technical Bull. No.1344, US Dept. of Agric., Forest, 111 S.
- RHEINHEIMER, G. (1959): Veränderungen der relativen Beleuchtungsstärke und der Bodenvegetation in einem Fichtenforst. Ber.d.Dt.Bot.Ges. 72: 246
- Richardson, S.D. (1956): Photosynthesis and root growth in tree seedlings. Landb. Tijdschr. Wageningen: 774-82
- ROEDIGER, K.-J. (1968): Welchen Einfluß hat die chemische Kulturreinigung auf das Wachstum der Kulturen? Forst- und Holzwirt 23: 82-4
- RÖHRIG, E. (1967): Wachstum junger Laubholzpflanzen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen. Allg. Forst- u.Jagdzeitung 138: 224-39
- RUTTER, A.J. (1955): The relation between dry weight increase and linear measure of growth in young conifers. Forestry 28: 125-135
- SACHS, L. (1968): Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York: 671 S.
- SAUBERER, F. und HÄRTEL, O. (1959): Pflanze und Strahlung. Akad.Verlagsges. Geest E. Portig, K. G. 268 S.
- SCHMALTZ, J. (1964): Untersuchungen über den Einfluß von Beschattung und Konkurrenz auf junge Buchen. Diss.Forstl. Fak.d.Univ. Göttingen, 114 S.
- SCHMALTZ, J. (1967): Lichtmessungen im Forschungsvorhaben "Die natürliche Verjüngung der Fichte". Unveröffentlichter Bericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft . 8 S.
- SCHMIDT, W. (1924): Vegetationsversuche zum Ertragsfaktor Licht. Z. Forst- und Jagdwesen: 461-472
- SCHMIDT-VOGT, H. (1966): Wachstum und Qualität von Forstpflanzen. (2.erweiterte Aufl. von "Die Gütebeurteilung von Forstpflanzen"). Bayer. Landwirtsch. Verl. 210 S.
- SCHMIDT-VOGT, H. (1972): Untersuchungen zur Bedeutung des Lichtfaktors bei Femelschlagverjüngung von Tannen-Buchen-Fichtenwäldern im westlichen Hochschwarzwald. Forstwiss. Cbl. 91: 240-7
- SCHLEGEL, F., RÖHRIG, E., HUSS, J. (1972): Die Wachstumsreaktionen von jungen Douglasien verschiedener Herkunft auf Beschattungs- und Bodenunterschiede. Schweiz.Zeitschr. f. Forstwesen 123: 817-845
- SCHÖPPER, W. (1961): Beiträge zur Erfassung des Assimilationsapparates der Fichte. Schriftenreihe d. Landesforstv.B.-W.

Bd. 10, Selbstverlag der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 127 S.

- SHIRLEY, H.L. (1929): The influence of light intensity and light quality upon the growth of plants. Amer. J. Bot. 16: 354-90
- SORAUER, P. (1969): Handbuch der Pflanzenkrankheiten. I. Band, 2. Teil: Ernährungsstörungen ... Parey, Berlin u. Hamburg, 478 S.
- STEEL, R.G.D. and TORRIE, J.H. (1960): Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill Book Co., N.Y., Toronto, London, 481 S.
- STEBING, L. (1965): Pflanzenökologisches Praktikum. Parey, Berlin u. Hamburg, 262 S.
- TRANQUILLINI, W. (1960): Das Lichtklima wichtiger Pflanzengesellschaften. In: Handb. d. Pflanzenphys., Bd. V/2, Berlin, 304 S.
- TRAPP, E. (1938): Untersuchung über die Verteilung der Helligkeit in einem Buchenbestand. Bioklim. Beibl. d. Met. Z.: 153-8
- VÉZINA, P.-E. (1960): Recherches sur les conditions de lumière et de précipitations dans les forêts traitées la coupe progressive par groupes. Mitt.d.Schweiz.Anst.f.Forstl. Versuchsw. 36: 33-137
- WALTER, A. (1952): Eine einfache Methode zur ökologischen Erfassung des CO₂-Faktors am Standort. Ber.dtsch.bot.Ges. 65: 175-182
- WALTER, H. und ZIMMERMANN, W. (1952): Ökologische CO₂-Absorptionmessungen in verschiedenen Pflanzenbeständen. Zeitschr. f.Botanik 40 : 251-68
- WEBER, E. (1967): Grundriß der biologischen Statistik. 6.Aufl., VEB Fischer, Jena, 674 S.
- WETTERDIENST, Mitteilungen des DEUTSCHEN
- WIEDEMANN, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. 3.Aufl. Sauerländer, Frankfurt 346 S.
- WIEDEMANN, E. und SCHOBER, R. (1957): Ertragstafeln. Schaper, Hannover, 194 S.
- WILLSTÄTTER, R. und STOLL, A. (1918): Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin, 448 S.
- ZÜTTL, H. (1964): Düngung und Feinwurzelverteilung in Fichtenbeständen. Mitt. Staatsforstverw. Bayerns 34: 333-42

