

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA
FORESTALIA FENNICA

29.

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN
GESELLSCHAFT
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE LA FINLANDE



HELSINGFORSIAE 1926.

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA —FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA
FORESTALIA FENNICA

29.

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN
GESELLSCHAFT
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE LA FINLANDE



HELSINGFORSIAE 1926.

Acta forestalia fennica 29.

| | |
|--|---------|
| Aaltonen, V. T. , Allgemeines über die Einwirkung der Bäume auf einander .. | 1—19 |
| Cajander, A. K. , Metsätyypiteoria | 1—84 |
| Cajander, A. K. , The Theory of Forest Types | 1—108 |
| Heikkilä, T. , Kasvututkimuksia Perä-Pohjolasta | 1—31 |
| Referat (Zuwachsuntersuchungen aus Nordnord-Finnland) | 33—35 |
| Hertz, Martti , Niinipuun uudistumisesta Suomessa | 1—101 |
| Referat (Über die Verjüngung der Linde in Finnland) | 103—121 |

ALLGEMEINES
ÜBER DIE EINWIRKUNG DER
BÄUME AUF EINANDER

VON
V. T. AALTONEN

HELSINKI 1925

ALLGEMEINES ÜBER DIE EINWIRKUNG DER BÄUME AUF EINANDER

Zur Einführung

Die gegenseitige Einwirkung der Bäume auf einander äussert sich in verschiedener Weise.

Vergleichen wir zwei Baumindividuen mit einander, von denen das eine sein Leben lang auf freiem Felde, das andere in mehr oder weniger dichtem Bestande gestanden hat, so ist der Unterschied ein erheblicher. Die Stammform, die Krone, die Länge des Baumes und wie man mit Sicherheit annehmen kann, auch das Wurzelsystem haben sich unter den verschiedenen Bedingungen ganz verschieden entwickelt. Der Baum braucht nicht einmal längere Zeit isoliert gestanden zu haben, damit der Unterschied ins Auge fällt. An den Samenbäumen z. B. kann man schon einige Jahre nach der Freistellung Einwirkungen der veränderten Stellung deutlich bemerken.

Der Bestandsrand bietet gute Gelegenheit zur Feststellung, wie ein Baum sich entwickelt, wenn er auf der einen Seite dem Einfluss seiner Nachbarn ausgesetzt ist und auf der anderen Seite völlig frei wachsen kann.

Desgleichen ist die Selbstabscheidung der Stämme, also auch die Ausbildung der verschiedenen Entwicklungsklassen, ebenfalls eine Folge von dem Einfluss der Bäume auf einander.

In besonders augenfälliger Weise macht sich der Einfluss der Mutterbäume durch das Fehlen des Jungwuchses unter dem Mutterbestande und durch sein Auftreten nur in genügend grossen Lücken geltend.

Die Einwirkung der Bäume auf einander gestaltet sich jedoch auch verschieden je nach der Natur des Standorts und der Baumart. Das Fehlen des Jungwuchses unter dem Altbestande gilt nicht als eine Regel.

HELSINKI 1925

DRUCKEREI DER FINNISCHEN LITERATURGESELLSCHAFT

An dürrtgeren Standorten können die Pflanzen fehlen, an besseren jedoch kann es unter sonst ganz ähnlichen Verhältnissen reichlich Jungwuchs geben. Die Baumpflanzen scheinen in letzterem Falle in kleineren Lücken und näher am Rande des Mutterbestandes gedeihen zu können. Ferner zeigen verschiedene Holzarten Unterschiede unter einander bei ihrem Auftreten im Bestande. So kommt die Fichte, wenigstens an besseren Standorten, unter einem Kiefern- oder Birkenbestande häufiger vor als andere Arten.

Die Stammzahl und deren Veränderungen hängen ebenfalls vom Standort und von der Baumart ab. Die Stammzahl des Fichtenbestandes ist grösser als die des Kiefernbestandes und die des letztgenannten übertrifft wiederum diejenige des Birkenbestandes. Ferner ist die Stammzahl an besseren Standorten niedriger als an dürrtgeren. Endlich kann man feststellen, dass gleich grosse Stämme um so mehr Wuchsraum in Anspruch nehmen, je geringwertiger der Standort ist und dies gilt für die Fichte in geringerem Masse als für die Kiefer oder Birke.

Im praktischen Waldbau kommen die Einwirkungen der Bäume auf einander beständig in Frage. Bei den Verjüngungshieben handelt es sich hauptsächlich um den Einfluss der Mutterbäume auf den Nachwuchs, bei den Durchforstungen und Lichthieben wiederum um den gegenseitigen Einfluss von mehr oder weniger gleichaltrigen Bäumen auf einander. Die Aufziehung des Unterbestandes ist von der Einwirkung des älteren Bestandes in entscheidendem Masse abhängig. Ohne zu wissen, wie und in welchem Masse die Bäume jeweilig auf einander einwirken, und worauf dieser Einfluss beruht, kann von einem erfolgreichen Waldbau überhaupt nicht die Rede sein.

Ob nun die forstwissenschaftliche Forschung im Stande ist, auf die in diesem Zusammenhange aufgeworfenen Fragen den von der Praxis erhischten Aufschluss zu geben, das ist eine Frage, der sowohl vom Standpunkte der Forschung selbst als auch von dem des Waldbaus aus eine eminente Bedeutung zukommt. Im folgenden wollen wir uns etwas eingehender mit diesen Fragen beschäftigen.

Wachstumsfaktoren

Der Ertrag und das Wachstum der Pflanzen werden durch die Wachstumsfaktoren bedingt und die Frage der Einwirkung der Bäume auf einander lässt sich allgemein dahin beantworten, dass die Einwirkungen

von dem Einfluss abhängig sind, den die Bäume auf die Wachstumsfaktoren von einander ausüben.

Da die Begriffe der Wachstumsfaktoren und deren Wirkungsgesetz aus dem Gebiete der Agrikulturchemie stammen und als solche in der Forstwissenschaft und deren Grundwissenschaften, u. a. in der Pflanzengeographie, weniger Beachtung gefunden haben, dürfte es angemessen sein, sie hier zuerst etwas ausführlicher zu erklären.

Die Wachstumsfaktoren kann man in *innere* und *äussere* einteilen. Zu den inneren gehören die Faktoren, welche mit der Art der Pflanze zusammenhängen. Die äusseren Wachstumsfaktoren sind, wie aus der Bezeichnung schon hervorgeht, solche, die von aussen an das Pflanzenleben herantreten. Sie werden in klimatische und bodenkundliche eingeteilt und eine jede dieser Gruppen zerfällt wiederum in chemische und physikalische Faktoren. Klimatische, chemische Faktoren sind Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure, physikalische Licht, Wärme und Wasser. Bodenkundliche, chemische Faktoren sind vor allem die zahlreichen verschiedenen Stoffe, die man gewöhnlich schlechthin Pflanzennährstoffe nennt (Kali, Kalk, Phosphorsäure, Stickstoff etc.), physikalische wiederum sind Wasser und Wärme. Dass es ausserdem andere, heute noch unbekanntere Wachstumsfaktoren geben kann, braucht kaum betont zu werden.

Auf dem Gebiete der Landwirtschaft ist man schon seit langem bemüht gewesen, das Wesen und die Bedeutung der verschiedenen Wachstumsfaktoren näher kennen zu lernen. Bahnbrecher auf diesem Gebiete der Forschung ist, wie bekannt, LIEBIG gewesen.

Von LIEBIG wurden nur die Pflanzennährstoffe als Wachstumsfaktoren aufgefasst und nach ihm wird der Ertrag durch denjenigen Faktor bedingt, der sich relativ am meisten im Minimum befindet. Dieses »Gesetz vom Minimum«, das später auch auf die übrigen Wachstumsfaktoren ausgedehnt wurde, hat nach LIEBIG bis in die letzte Zeit das Grundgesetz aller Pflanzenerziehung gebildet. Es ist dies allmählich eine selbstverständliche Tatsache geworden, deren Richtigkeit man überhaupt nicht in Zweifel gezogen hat.

LIEBIG kam zu seinem Gesetze nicht auf dem Wege von exakten Versuchen und auch später hat man die Richtigkeit seines Gesetzes nicht mittels quantitativer Messungen nachgeprüft. Erst in letzter Zeit haben die MITSCHERLICH'Schen Untersuchungen in dieser Hinsicht eine Veränderung herbeigeführt.

MITSCHERLICH versucht sein Gesetz von den Wachstumsfaktoren in

mathematischer Form Ausdruck zu geben und gelangt zu dem Ergebnis, dass das Gesetz sich als eine Kurve darstellen lässt, die sich asymptotisch einem Höchstwert nähert. Hält man die übrigen Wachstumsfaktoren konstant und lässt einen Faktor sich allmählich vergrössern, so steigt der Ertrag proportional dem am Höchstertrage fehlenden Betrage. Der Ertrag steigt um so schneller, je grösser der Wirkungswert des Nährstoffes ist und je weniger von diesem Nährstoffe früher zur Verfügung stand. Jeder Wachstumsfaktor hat auf den Ertrag seinen besonderen Einfluss und sein Wirkungswert ist ganz unabhängig von der jeweiligen Konstellation der anderen Wachstumsfaktoren.¹

Von dem LIEBIGSchen Minimumgesetz unterscheidet sich das »Wirkungsgesetz von den Wachstumsfaktoren« also wesentlich dadurch, dass nach letzterem sämtliche Wachstumsfaktoren einen Einfluss auf den Ertrag ausüben. Auch wenn ein Faktor relativ am meisten im Minimum ist, kann man den Ertrag durch Steigerung des Einflusses eines anderen Faktors steigern. Andererseits übt jedoch auch nach dem Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren ein Faktor einen um so grösseren Einfluss auf den Ertrag aus, je weniger von ihm früher vorhanden war.

Ob das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren den Erwartungen von MITSCHERLICH und Anderen vollauf entsprechen wird, ist eine Frage für sich, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Jedenfalls aber darf behauptet werden, dass allein schon der Versuch den Einfluss der Wachstumsfaktoren quantitativ zu bestimmen und das Wirkungsgesetz mathematisch zu formulieren, alle Anerkennung verdient.²

Als allgemeines Ergebnis der bisherigen Forschung lässt sich in allen Fällen feststellen, dass die Wachstumsfaktoren im Zusammenhang mit einander stehen und dass das Wachstum und der Ertrag entscheidend von dem jeweilig zwischen den Wachstumsfaktoren herrschenden Verhältnisse abhängig sind.

Ebenso wie bei Kulturpflanzen, müssen auch bei Waldbäumen die verschiedenen Wachstumsfaktoren jeder für sich und im Verhältnis zu einander erforscht werden. Nur auf diesem Wege kann ein klares Bild auch über die Einwirkung der Bäume auf einander gewonnen werden.

¹ Eine Zusammenfassung der MITSCHERLICHschen Arbeiten enthält u. a.: Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung, Teil A, Heft 2, 1922.

² Was die mathematische Formulierung des Gesetzes betrifft, sei auch auf die Abhandlung von J. VALMARI: Beiträge zur chemischen Bodenanalyse (Acta forest. fenn. 20 [1921]) hingewiesen.

Wir beschränken uns im folgenden auf die äusseren Wachstumsfaktoren und — da es nicht möglich ist, alle oder auch mehrere Alters- oder Entwicklungsstufen zu behandeln — auf die Betrachtung von zwei Grenzfällen: den Einfluss der Mutterbäume auf den Jungwuchs und die Wechselwirkung mehr oder weniger gleichaltriger älterer Bäume auf einander.

Der Einfluss der Mutterbäume auf den Jungwuchs

Klimatische Wachstumsfaktoren. — In bezug auf den Einfluss der Mutterbäume auf die klimatischen Wachstumsfaktoren der Pflanzen sollen von diesen Licht, Wärme, Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure berücksichtigt werden.

Licht. — Bekanntlich hat man im Waldbau dem Licht immer eine massgebende Bedeutung zugeschrieben, gleichviel, ob man die Einwirkungen von Mutterbäumen auf die Pflanzen oder die gegenseitigen Beziehungen von älteren Bäumen vor Augen hatte. Das Licht ist der Wachstumsfaktor, auf welchen der Forstmann hauptsächlich und sogar allein einwirken kann und daher hat er auch allen Anlass sein Augenmerk besonders auf das Licht zu richten.

Lange schon hat man beobachtet, dass verschiedene Holzarten sich in ihrer Beziehung zum Licht verschieden verhalten, indem einige Arten mehr Beschattung vertragen oder schattenfester sind als andere. Man nennt auch die ersteren Schattenholzarten, die letzteren Lichtholzarten. Der gleiche Unterschied besteht auch zwischen älteren Baumindividuen, obgleich sie nicht das gleiche Verhalten zu zeigen brauchen wie der Jungwuchs. Holzarten, die am meisten beschatten, ertragen ebenfalls am meisten Schatten, wenn auch Abweichungen von dieser Regel vorkommen können. Auch hat man festgestellt, dass das Lichtbedürfnis der Baumpflanzen mit dem Wachstum letzterer zunimmt und dass die Pflanzen schattenfester sind als ihre Mutterbäume. Von den verschiedenen Rassen einer Holzart können einige lichtbedürftiger sein als andere. Ferner ist zu beachten, dass die Schattenfestigkeit an fruchtbarem Standort grösser als an dürftigem ist und desgleichen in wärmerem Klima grösser als in kälterem.

Anfangs beruhte die Auffassung, welche man von der Bedeutung des Lichts im allgemeinen hatte, auf rein empirischem Wissen, doch haben später angestellte wissenschaftliche Lichtmessungen (WIESNER u. a.) in der Hauptsache zu denselben Resultaten geführt. Bisher liegen jedoch

keine quantitativen Untersuchungen über die Einwirkung der Lichtintensität auf das Wachstum und den Ertrag der Baumpflanzen unter verschiedenen Verhältnissen vor. In dieser Hinsicht stehen wir noch immer auf dem überlieferten empirischen Standpunkt.³

Wärme. — Was den Einfluss der älteren Bäume auf die Wärmeverhältnisse der Luft in der Umgebung von Pflanzen betrifft, so steht dieser offenbar in enger Beziehung zu den Lichtverhältnissen und ist es deshalb schwer zu entscheiden, welche Bedeutung jeweilig der Wärme-, welche der Lichtenergie zukommt. Zudem gilt die Wärme sowohl als klimatischer als auch als bodenkundlicher Wachstumsfaktor. Nun ist allerdings festgestellt worden, dass der Wald einen Einfluss auf die Wärmeverhältnisse besonders dadurch ausübt, dass die Temperaturschwankungen im Walde nicht ebenso gross sind wie auf dem Felde. Aus der forstlichen Praxis ist ferner bekannt, dass das Kronendach des Bestandes, auch wenn er ziemlich locker ist, die Pflanzen in gewissem Grade gegen Frost schützen kann. Ausserdem wird u. a. auch noch behauptet, dass die Pflanzen von einigen Holzarten Schutz gegen die Sonne fordern, ein Umstand, dem z. B. bei dem Blendersaumschlag eine nicht unwesentliche Bedeutung beigelegt wird. Bisher fehlt uns jedoch jedwede genauere Kenntnis darüber, in welchem Masse die durch die Mutterbäume bedingten Veränderungen der Wärmeverhältnisse unter verschiedenen Umständen auf die Entwicklung der Pflanzen einwirken. Welchen Einfluss die Wärme überhaupt auf die Entwicklung von Baumpflanzen ausübt, ist bisher ebenfalls noch nicht experimentell festgestellt.

Wasser. — Über die Bedeutung des Wassers als klimatisch-physikalischer Wachstumsfaktor lässt sich nicht viel sagen. Die relative Feuchtigkeit im Sommer ist zwar im Walde etwas grösser als auf dem Felde, wir wissen jedoch noch keineswegs, welche Bedeutung diesem Umstande für die Pflanzen zukommt.

Kohlensäure. — Nachdem die mit Kulturpflanzen ausgeführten Versuche erwiesen hatten, dass man den Ertrag steigern kann, indem man den Kohlensäuregehalt der Luft erhöht, hat man dem Wachstumsfaktor Kohlensäure besonders in letzter Zeit auch im Waldbau eine wichtige

³ Nachdem das obige schon niedergeschrieben war, ist von SCHMIDT eine interessante Abhandlung über den Ertragsfaktor Licht erschienen (Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw. 56 [1924], 461—72) Es wird dort u. a. gezeigt, wie die Schattenholzarten geringere Lichtintensitäten besser auszunützen vermögen als die Lichtholzarten.

Rolle zuerteilen wollen. Da der Kohlensäuregehalt der Luft auf der Bodenoberfläche im Bestande höher ist als auf dem offenen Felde, nahm man an, dass dieser Umstand vorteilhaft auf die Pflanzen einwirke. Der wachstumsbefördernde Einfluss der sog. Reisigdüngung, den man in vielen Fällen feststellen konnte, dürfte auch als eine Folge der aus dem Reisig herrührenden Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft zu betrachten sein. Ebenso wenig jedoch wie hinsichtlich der schon erwähnten physikalischen Faktoren, weiss man, in welcher Weise bestimmte Kohlensäuremengen auf das Wachstum und den Ertrag einwirken.

Sauerstoff und Stickstoff. — Dass der Sauerstoff ein Wachstumsfaktor ist, welcher nach dem allgemeinen Gesetze der Wachstumsfaktoren wirkt, ist auf Grund von Versuchen an Kulturpflanzen bewiesen und man kann annehmen, dass die Baumpflanzen in dieser Hinsicht keine Ausnahme bilden. Es ist jedoch ganz unsicher, ob die Mutterbäume auf den Sauerstoffgehalt der die Pflanzen umgebenden Luft einwirken und von welcher Bedeutung ein eventueller Einfluss für die Pflanzen sein dürfte. — Dasselbe lässt sich vom Stickstoff sagen. Da die Pflanzen höchstens nur in sehr beschränkter Masse den freien Stickstoff der Luft verwerten können, kommt diesem Wachstumsfaktor jedenfalls in dem von uns betrachteten Zusammenhange keine nennenswerte Bedeutung zu.

Bodenkundliche Wachstumsfaktoren. — *Wasser.* — Dass die Bäume auf die Wasserverhältnisse des Bodens einwirken, ist schon längst bekannt.

Zunächst halten die Mutterbäume in ihren Kronen eine bedeutende, von Holzart, Regenmenge etc. abhängende Wassermenge zurück, die also den Pflanzen verloren geht. Wie gross die Wassermenge ist, die den Pflanzen dadurch entzogen wird, ist jedoch nicht zu Genüge bekannt. Die mit den gewöhnlichen Regenmessern unter den Bäumen angestellten Messungen allein sind nicht beweiskräftig, da ein bedeutender Teil des Regenwassers längs dem Stamme abfließt.

Ausserdem sind die Bäume unter allen Pflanzen die grössten Wasserverbraucher. Es ist festgestellt worden, dass der Wassergehalt im Bestande in den Bodenoberschichten, wo die Wurzeln sich hauptsächlich ausbreiten, niedriger ist als in entsprechenden Schichten auf offenem Felde. Was den Wassergehalt der obersten Bodenschichten betrifft, so sind die Resultate verschiedener Untersuchungen noch nicht ganz eindeutig.

Ferner ist in Betracht zu ziehen, dass die Bäume auf die Bodenvege-

tation einwirken und dadurch mittelbar die Wasserverhältnisse des Bodens beeinflussen.

Wenn auch die Mutterbäume den Pflanzen bald mehr bald weniger Wasser entziehen, so kann ihre Einwirkung auch von entgegengesetzter Natur sein, indem sie nämlich mittels der von ihnen gebildeten Streudecke und mittels ihrer Kronen die Verdunstung aus der Bodenoberfläche herabsetzen.

Im allgemeinen können wir annehmen, dass die Mutterbäume mit den Pflanzen um das Wasser konkurrieren und die Wasseraufnahme des Jungwuchses mehr oder weniger — am meisten wohl in trockenem Klima — erschweren. Welche Bedeutung diesem Umstande jedoch für die Entwicklung der Pflanzen zukommt, lässt sich noch nicht übersehen. Zur Zeit fehlt noch eine exakte versuchsmässige Arbeit über den Einfluss des Wassers auf das Wachstum der Baumpflanzen; auch wissen wir nicht, wie viel Wasser den Pflanzen in verschiedenen natürlichen Verhältnissen zur Verfügung steht.

Wärme. — Wie MITSCHERLICH gezeigt hat, wirkt die Bodenwärme bei den Kulturpflanzen auf den Ertrag nach dem Gesetze der Wachstumsfaktoren. Sinkt die Temperatur bis $+5-6\text{ C}^{\circ}$, so können z. B. Senf und Timothee nicht mehr leben. Nun sind zwar keine ähnlichen Versuche mit Baumpflanzen gemacht worden, wir müssen jedoch annehmen, dass auch diese in ihrem Leben von der Temperatur des Bodens abhängig sind. Dass die Temperatur der obersten Bodenschichten im Bestände im Sommer dank der Beschattung niedriger ist als auf freiem Felde, ist durch Messungen bewiesen und auch ohne weiteres einleuchtend. Auch ist der Einfluss der Bäume hier bedeutender als bezüglich der Temperatur der Bestandsluft. Der Einwirkungsgrad hängt von Holzart, Bestandsdichte u. a. ab.

Was nun den hierdurch bedingten Einfluss der Mutterbäume auf die Pflanzen betrifft, so wird bisweilen angenommen, dass das mangelhafte Wachstum oder gar Fehlen der Pflanzen in der Nähe von Mutterbäumen wenigstens zum Teil von der Herabsetzung der Bodentemperatur durch die Mutterbäume herrührt. Eingehendere Untersuchungen zur Klarstellung dieser und hiermit zusammenhängender Fragen sind vorläufig noch nicht ausgeführt worden.

Pflanzennährstoffe. — In Fällen, wo die Mutterbäume in dieser oder jener Weise auf den Wasserhaushalt der Pflanzen einwirken, müssen sie selbstverständlich auch auf den Gehalt der im Wasser aufgelösten Nährstoffe einen Einfluss ausüben. Wenn auch die Mutterbäume den Pflanzen

dadurch Nährstoffe entziehen, muss doch berücksichtigt werden, dass die alljährlich abfallende Streu eine wirksame Düngung bedeutet. In welchem Masse und auf welche Weise die Mutterbäume auf die Assimilation der Nährstoffe seitens der Pflanzen tatsächlich einwirken, können wir noch nicht im Einzelnen überschauen. Es sei nur erwähnt, dass nach einigen Untersuchungen die Mineralisation der Stickstoffverbindungen auch von der Beschattung abhängig ist und dass die Mutterbäume dadurch auf die Stickstoffassimilation der Pflanzen einen — meistens wohl nachteiligen — Einfluss haben können.

Gleichaltrige Bäume in ihrer Beziehung zu einander

Klimatische Wachstumsfaktoren. — *Licht.* — Wie bei den Beziehungen der Mutterbäume zu den Pflanzen, wird auch bei der Einwirkung von mehr oder weniger gleichaltrigen Bäumen auf einander dem Lichte eine massgebende Bedeutung zuerkannt. Die von einer Lichtholzart gebildeten Bestände sind undichter und lichten sich rascher als bei einer Schattenholzart, aus dem Grunde, weil die Bäume im ersteren Falle mehr Licht als im letzteren erheischen. Aus demselben Grunde sind die Baumbestände in einem kälteren Klima undichter als in einem wärmeren (da die Bäume im ersteren Falle mehr Licht fordern als in letzterem). Als Ursache der Bildung der sog. Entwicklungsklassen im Bestände (die herrschenden, die beherrschten Stämme usw.) wird auch die Abhängigkeit der Beleuchtungsverhältnisse von der gegenseitigen Einwirkung der Bäume auf einander angenommen.

Nach bisherigen Erfahrungen ist also im allgemeinen das Licht der hauptsächlichste Wachstumsfaktor, welcher für Durchforstungen, Durchforstungsgrad usw. bestimmend ist. Allerdings hat man geltend machen wollen, dass hier auch noch anderen Wachstumsfaktoren eine Rolle zukommen dürfte, doch ist die erstere Auffassung die vorherrschende.

Hinsichtlich der übrigen physikalischen Wachstumsfaktoren, *Wasser* und *Wärme*, sind zu ihrer näheren Erklärung keine besonderen Untersuchungen ausgeführt und hat man ihnen auch sonst nur wenig Beachtung geschenkt.

Kohlensäure. — Obgleich dem Licht stets eine so wichtige Rolle zuerteilt wurde, ist es tatsächlich nie so recht klar gewesen, wie seine Wirkung vom Standpunkte der Bestandserziehung aus eigentlich zu erklären sei. Erst in letzter Zeit hat man versucht in dieser Hinsicht einen

klaren Einblick zu gewinnen, indem man die Untersuchungen auf die Fähigkeit der Kohlensäureassimilation der Bäume und auf die Art, wie diese geschieht, richtete. Hierbei wurde festgestellt, dass die Blätter die Kohlensäure am wirksamsten assimilieren können, wenn die Intensität des Lichts nur einen bestimmten Teil derjenigen des vollen Tageslichts beträgt. Eine praktisch wichtige Schlussfolgerung hieraus ist, dass ausser einer möglichst grossen Blattmenge auch die Kronenform eine solche sein muss, dass ein möglichst kleiner Teil von Blättern dem vollen Tageslicht ausgesetzt ist.

Über die Bedeutung und Einwirkung der übrigen chemischen Wachstumsfaktoren lässt sich noch nichts nennenswertes sagen.

Bodenkundliche Wachstumsfaktoren. — Hinsichtlich der Rolle, welche sowohl die physikalischen als auch die chemischen bodenkundlichen Wachstumsfaktoren in bezug auf die in Frage stehenden Verhältnisse spielen, erlauben unsere Kenntnisse noch nicht ein klares Bild zu gewinnen.

Man ist zwar auch der Ansicht gewesen, dass die in Naturbeständen auf mageren Böden beobachtete, langsame Abscheidung der Stämme und das schlechte Wachstum der dichten Bestände (Wuchsstockung) überhaupt vom Nährstoffmangel abhängt und dass also das verbesserte Wachstum nach einer Auslichtung als eine Folge davon zu bezeichnen wäre, dass jetzt jedem einzelnen Stamme mehr Nährstoffe (incl. Wasser) zur Verfügung stehe. Ferner ist festgestellt worden, dass nach den Durchforstungen u. a. der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens steigt. Auch dieser Umstand braucht natürlich noch nicht zu beweisen, dass das verbesserte Wachstum ausschliesslich als eine Folge von den veränderten Feuchtigkeitsverhältnissen anzusehen wäre. Eine allgemeinere Bedeutung hat man den hier angeführten wie auch den übrigen bodenkundlichen Wachstumsfaktoren in der waldbaulichen Praxis nicht zugeschrieben.

Schlussbetrachtungen

Im Grossen und Ganzen lassen die obigen allgemeinen Ausführungen erkennen, dass wir vorläufig nur wenig darüber wissen, auf welche Weise die Bäume auf einander einwirken. Tatsächlich ist diese Frage von den dargelegten Gesichtspunkten aus noch nicht einmal Gegenstand der Forschung gewesen.

Von einer systematischen Bearbeitung der verschiedenen Wachstumsfaktoren in gleichem Masse wie auf dem Gebiete der Landwirtschaft kann im Waldbau überhaupt noch nicht die Rede sein. Unsere Kenntnisse gründen sich zum grössten Teil auf in der Natur gemachte, vergleichende Beobachtungen ohne sachgemässe Versuche und exakte Messungen und ausserdem hauptsächlich nur auf klimatische Wachstumsfaktoren. Im allgemeinen ist alles, was in den forstlichen Lehrbüchern u. a. angeführt wird, ein Wissen, das sich mehr auf qualitative als auf quantitative Untersuchungen gründet und das auf mehr oder weniger unsicherer Grundlage ruht. Man braucht nur z. B. die Lichtfrage etwas näher zu prüfen, um sich hiervon zu überzeugen.

Niemand dürfte in Abrede stellen wollen, dass das Licht den Baumpflanzen, so wie allen anderen Pflanzen als Lebensbedingung eine *conditio sine qua non* ist und dass sowohl die Mutterbäume den Pflanzen als auch die gleichaltrigen Bäume einander Licht nehmen können. Zudem zeigen die verschiedenen Holzarten unter sich Unterschiede in ihrer Beziehung zum Licht, indem einige Arten unter der Beschränkung des Lichtgenusses mehr leiden als andere.

Hierbei darf jedoch nicht vergessen werden, dass falls man z. B. einen beschattenden Mutterbaum entfernt, damit nicht nur die Menge und die Beschaffenheit des Lichts sich verändern, sondern auch andere klimatische und sogar bodenkundliche Wachstumsfaktoren eine weitgehende Veränderung erleiden.

Aus welchem Grunde die Pflanzen z. B. unter einem alten Kiefernbestande fehlen, lässt sich kaum mit Sicherheit begründen. Keineswegs dürfte jedoch das unzureichende Licht als einzige Ursache anzusehen sein. Wir dürften wenige so dichte Kiefernbestände haben, wo der Lichtmangel allein hinreichend wäre um dem Auftreten und Wachstum von Kiefernpflanzen im Bestande eine Grenze zu stecken. Leider hat man in dieser Hinsicht noch keine Messungen angestellt, es lässt sich aber leicht durch Beobachtung feststellen, unter wie verschiedenen Lichtverhältnissen u. a. die Kiefernpflanzen zu gedeihen vermögen.

Die bekannte Erscheinung, dass der Jungwuchs an besseren Standorten in kleineren Lücken im Bestande besser als an schlechteren, mithin unter ungünstigeren Lichtverhältnissen gedeihen kann, lässt sich mit dem MITSCHERLICH'Schen Gesetz der Wachstumsfaktoren wohl in Einklang bringen, ist aber durch das LIEBIG'Sche Minimumgesetz, das ja keine solche Ersatzmöglichkeit eines Wachstumsfaktors durch einen anderen zulässt, nicht zu erklären.

Was die Steigerung des Lichtbedürfnisses in kälterem Klima (an höherliegenden Orten usw.) betrifft, so ist zu berücksichtigen, dass das Lichtbedürfnis von der Beschaffenheit des Standorts abhängt und dass die Lichtmessungen also, um mit einander vergleichbare Werte zu liefern, immer an gleichwertigen Standorten angestellt werden sollten. Dieser Umstand macht derartige Messungen ziemlich schwierig und gegenwärtig noch beinahe unmöglich. Es scheint, dass man diesen Umstand bisher nicht genügend beachtet hat. Richtiger wäre es wohl zu sagen, dass die Beschaffenheit des Standorts von der geographischen Lage und dadurch auch mittelbar das von dem Standorte abhängige Mass des Lichtbedürfnisses abhängt.

Warum die Pflanzen im Anfangsstadium weniger Licht erfordern als später, ist eine noch unaufgeklärte Tatsache.

Ob beispielsweise das Auftreten von Fichtenpflanzen unter einem Birken- oder Kiefernbestande nur davon abhängt, dass die Fichtenpflanzen, wie man allgemein behauptet, am meisten Schatten vertragen können, ist keineswegs sicher. Im übrigen kann z. B. in Nord-Finnland unter Birkenbeständen oft schöner Kiefernjungwuchs vorkommen. Übrigens haben z. B. die Untersuchungen von KNUCHEL gezeigt, dass die Zusammensetzung des Lichts bei seinem Durchgang durch die Blätter sich verändert.

Wie die Lichtfrage, so ist auch die Kohlensäurefrage noch strittig. Was die Kohlensäure als Wachstumsfaktor im allgemeinen betrifft, so kann man nach MITSCHERLICH für erwiesen halten, dass die Wirkung dieses Faktors von der Intensität des Lichts abhängig ist; im Freien, in Luftverhältnissen mit normalem Kohlensäuregehalt, beträgt der Ertrag 95,4 % vom höchsten Ertrage, den man mit künstlicher Kohlensäurezufuhr erreichen kann und kann daher also kaum von einer Kohlensäuredüngung die Rede sein. Vermindert sich aber die Lichtintensität, so wirkt die Kohlensäurezufuhr immer ertragssteigernd. Man könnte also annehmen, dass eine Vermehrung des Kohlensäuregehalts eine vorteilhafte Wirkung auf die von Mutterbäumen beschatteten Pflanzen haben müsste. Andererseits ist jedoch zu beachten, dass durch die Beschattung auch andere Wachstumsfaktoren, Wärme, Wasser etc. verändert werden und so verbleibt die Bedeutung der durch die Mutterbäume verursachten Steigerung des Kohlensäuregehalts ganz unsicher. Welche Wirkung die künstliche Kohlensäurezufuhr mittels Reisigdüngung haben kann, falls der Kohlensäuregehalt dadurch wirklich gesteigert wird, bleibt noch zu erforschen.

Wird ein Bestand durchforstet, so wird dadurch die Lage und das Leben der nachgebliebenen Bäume in verschiedener Weise verändert. Sie bekommen natürlich mehr Licht und können mehr Kohlensäure assimilieren, aber gleichzeitig verändern sich auch andere Faktoren, die bei der Einwirkung der Bäume auf einander in Frage kommen.

Bei den forstwissenschaftlichen Untersuchungen hat man im allgemeinen der gegenseitigen Wechselwirkung der verschiedenen Wachstumsfaktoren viel zu wenig Beachtung geschenkt.¹

Es sei z. B. der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens in einem Bestande und in einer nebenbelegenen Lücke zu bestimmen. In beiden Fällen ist Nachwuchs vorhanden, nur sind im ersteren Falle die Pflanzen grösser und kräftiger als im letzteren. Aus den Messungen kann sich ergeben, dass die obersten Bodenschichten mehr Wasser in der Lücke als im Bestande enthalten. Damit ist jedoch noch nicht gesagt, ob und in welchem Masse sich der Unterschied in der Entwicklung der Pflanzen im Bestande und in der Lücke von dem verschiedenen Wassergehalt des Bodens herleitet. Dasselbe gilt auch für die übrigen Wachstumsfaktoren. Die heutzutage übliche Sonderstellung eines Wachstumsfaktors, wie des Lichts, des Stickstoffs u. a. ist keineswegs berechtigt.

Man kann u. a. BOYSEN-JENSEN² schwerlich ohne weiteres darin beistimmen, wenn er sagt: »at der er Bladene, der er de produktive Organe paa Traet og man maa derfor, hvis man vil have en stor Stoffproduktion sørge for, at man faar mange Blade«. Es ist natürlich wichtig, dass die Blattmenge möglichst gross ist und die Blätter in einer solchen Lage sind, dass sie möglichst gut assimilieren können, jedoch ist das nur eine Seite der Medaille. Das Wurzelsystem und die Nahrungsaufnahme durch die Wurzeln sind ebenso wichtig. Können die Wurzeln nicht genügend Wasser aufnehmen, so hört auch die Kohlensäureassimilation auf. Die klimatischen und bodenkundlichen Wachstumsfaktoren können auch in diesem Falle nicht getrennt von einander behandelt werden. Tut man dieses, so können die Resultate einer Untersuchung höchstens für die Verhältnisse und in der Umgebung, wo die Untersuchung gemacht wurde, eine Bedeutung haben.

Es sei auch erwähnt, dass BÜHLER, der in seinem Werke »Der Waldbau«³ eine ausführliche, die Lichtfrage betreffende Literaturübersicht

¹ Vgl. auch z. B. CIESLAR, Centralbl. f. d. ges. Forstw. 24 (1898), 85—90.

² Skogsvårdsför. Tidskr. 21 (1923), 269—81.

³ ANTON BÜHLER, Der Waldbau, I Bd., Stuttgart 1918.

gibt und der selbst zahlreiche diesbezügliche Versuche angestellt hat, in seinen Schlussfolgerungen erwähnt, dass man die Veränderungen des Wachstums unter verschiedenen Lichtverhältnissen nicht nur als Einwirkungen des Lichts ansehen könne. »Sie sind vielmehr auch durch die Änderungen der übrigen Wachstumsfaktoren (Temperatur, Feuchtigkeit) hervorgerufen«. Die Frage gestaltet sich hierdurch, wie auch BÜHLER bemerkt, viel verwickelter, als man angenommen hat.

Die niedere Pflanzendecke (Bodenvegetation) ist in mancher Hinsicht mit den Baumpflanzen vergleichbar, und dürfte die Sache auch in bezug auf sie nicht so einfach sein, wie z. B. RUBNER¹ meint, wenn er sagt: »dass der entscheidende oder, wie man auch sagen kann, der im Minimum vorhandene Faktor in der Regel das Licht ist (und nicht Wärme und Wasser) zeigt jede objektive Beobachtung im Walde«.

Auf dem Gebiete der Landwirtschaft wurde ehemals angenommen, dass das Gedeihen der Pflanzen vor allem von dem Humusgehalte des Bodens abhängt. Dann kam eine Zeit, wo die mineralischen Nährstoffe die wichtigsten waren. Erst allmählich hat man einsehen gelernt, dass Wachstum und Ertrag der Pflanzen das Resultat der Gesamtwirkung von vielen verschiedenen Faktoren darstellt. In bezug auf den Waldbau steht man noch auf derselben Entwicklungsstufe wie in der Landwirtschaft zur Zeit der Humustheorie oder der Mineraltheorie.

Nun wäre es ja ziemlich gleichgültig, wie man sich u. a. die Einwirkung der Bäume auf einander theoretisch erklärt, wenn man in der Praxis die Bestände doch auf gleiche Weise behandeln könnte. Es muss deshalb ausdrücklich betont werden, dass, wenn man nur die oberirdischen Teile der Bäume in Betracht zieht, der Charakter des Standorts nicht zu seinem Rechte kommt. Man behandelt die Bestände von verschiedenen Standorten auf gleiche Weise, was zu den grössten Misserfolgen führen muss.

Ausser der übermässigen und unberechtigten Betonung eines Wachstumsfaktors muss man auch noch als einen ziemlich allgemeinen Fehler der forstwissenschaftlichen Forschung hervorheben, dass sie der Beschaffenheit des Standorts nicht genügend Beachtung schenkt.

Bekanntlich ist wiederholt darauf hingewiesen worden, dass man die Resultate von forstlichen Untersuchungen, von neuen forstlichen Betriebsarten usw. nur mit Vorsicht oder überhaupt nicht verallgemeinern

¹ Forstwiss. Centralbl. 43 (1921), 327—45.

dürfte. Man ist auch ohne Zweifel dazu berechtigt so lange dem Begriff Standort nur eine so untergeordnete Bedeutung zuerkennen wird wie bisher.

Allem Anschein nach rühren u. a. die verschiedenen Ansichten über die Rolle und Bedeutung des Lichts zum grossen Teil davon her, dass sie auf Grund von Beobachtungen an verschiedenartigen Standorten entstanden sind. Ein Forscher, welcher seine Beobachtungen z. B. nur in den fruchtbarsten Hainwäldern macht, kommt kaum auf den Gedanken, dass hinsichtlich der Dichte, der Verjüngung usw. eines Bestandes die sog. Wurzelkonkurrenz eine Rolle spielen könnte. Ein anderer Forscher, welcher an dürrtigeren Standorten, sagen wir in flechtenreichen Kiefernwäldern, arbeitet, kommt dagegen bald zu dem Resultat, dass die undichten Bestände, das Auftreten von Pflanzen nur in relativ grossen Lücken u. a. viel mehr von den bodenkundlichen Wachstumsfaktoren als vom Lichte abhängt. Wenn die Wälder, in welchen der Waldbau und die waldbauliche Forschung zuerst ihr Material für Beobachtung fanden, trockene Heidewälder gewesen wären, ist es höchst wahrscheinlich, dass die Auffassung über die Bedeutung der verschiedenen Wachstumsfaktoren eine andere und vielleicht der jetzt in den forstlichen Lehrbüchern üblichen entgegengesetzte wäre.

Dafür, dass man der Bedeutung der Standortsbontät so wenig Beachtung geschenkt hat, dürfte es zahlreiche Gründe geben.

Eine wichtige Ursache ist sicherlich der Umstand, dass man für die Standorte keine solche Klassifizierung oder Ordnung gehabt hat, die es ermöglichen würde, die Beschaffenheit des Standorts objektiv und derart zu charakterisieren, dass auch andere als der betreffende Forscher selbst sich ein Bild davon machen könnten, um was für einen Standort es sich handelt. Dass dieser Umstand wirklich als ein Hindernis bezeichnet werden muss, welches die Entwicklung der forstwissenschaftlichen Forschung gehemmt hat, wird schon von der raschen Entwicklung dieses Forschungszweiges in unserem Lande während der letzten Jahre bestätigt. Die forstwissenschaftliche Klassifizierung der Standorte mit Hilfe der sog. Waldtypen hat sich als geeignet erwiesen, der Forschung und der Praxis ganz neue Bahnen zu eröffnen.

Insofern die Waldtypen als Grundlage für forstwissenschaftliche Forschung und Waldbau dienen sollen, werden die letztgenannten sich auf die Pflanzengeographie gründen.

Hier muss nun allerdings berücksichtigt werden, dass die Pflanzengeographie, besonders die ökologische Pflanzengeographie, sich vorläufig

noch in einem so unentwickeltem Stadium befindet, dass sie uns bei der Erklärung der Grundlagen des Waldbaus nicht genügend weit führen kann. Die ganze pflanzengeographische Forschung ist vorläufig noch beinahe ausschliesslich qualitativer Natur. Sie giebt die allgemeine Richtung und Beschaffenheit der Erscheinungen an, sagt aber kaum etwas über die quantitative Seite der Vorgänge. Hier muss die forstwissenschaftliche Forschung sich selbst weiter entwickeln. Und es scheint, dass man am besten zum Ziel kommt, wenn man sich derselben Arbeitsmethoden, die auf dem Gebiete der Landwirtschaft schon lange angewendet worden sind, speziell der *Vegetationsversuche*, bedienen wollte.

In unserem Lande hat man sich bei den diesbezüglichen Untersuchungen bisher ausschliesslich auf in der Natur gemachte, vergleichende Beobachtungen gestützt. Material für solche Beobachtungen war im Überfluss vorhanden und ziemlich leicht zu beschaffen. Auch andere Umstände waren für sie günstig und machten sie sogar allein möglich. Auch in anderen Ländern hat man die Vegetationsversuche nur in beschränktem Masse zur Anwendung gebracht. Der pflanzengeographischen Forschung sind sie, wie erwähnt, im allgemeinen fremd geblieben.

Mit den in der Natur gemachten vergleichenden Beobachtungen und Versuchen allein kann man nicht genügend weit kommen. Man kann ja allerdings im Walde untersuchen, wie z. B. die Beschattung durch die Mutterbäume unter verschiedenen Verhältnissen auf die Pflanzen einwirkt, aber erst die Vegetationsversuche, bei welchen die übrigen Wachstumsfaktoren konstant und optimal gehalten werden und nur die Lichtmenge variiert, können zeigen, auf welche Weise eine bestimmte Lichtmenge die Entwicklung der Pflanzen beeinflusst. Dasselbe gilt natürlich auch für die anderen Wachstumsfaktoren, wie Wärme, Wasser, Kohlensäure. Was das Auftreten der niederen Pflanzendecke betrifft, so kann dasselbe ebensowenig nur mittels vergleichender Beobachtungen erklärt werden.

Auch von den Vegetationsversuchen, mit denen hier hauptsächlich die sog. Gefässversuche gemeint sind, darf man jedoch vorläufig noch nicht zu viel erwarten. Man braucht sich nur zu vergegenwärtigen, wie schwer, wenn nicht gar unmöglich es ist, den Einfluss verschiedener Wachstumsfaktoren getrennt von einander zu bestimmen. Die Resultate der Vegetationsversuche sind zudem selten ohne weiteres auf die natürlichen Verhältnisse anwendbar, wo viele verschiedene und mehr oder weniger unkontrollierbare Faktoren gleichzeitig einspielen. Als eine eigenartige Schwierigkeit bei forstwissenschaftlichen Versuchen ist noch

die lange Lebensdauer der Bäume hervorzuheben. Ein Versuch muss in den meisten Fällen durch eine längere Zeit hindurch fortgesetzt werden.

Jedenfalls aber dürften die Vegetationsversuche wenigstens bezüglich der Einwirkung der Bäume auf einander wertvolle Aufklärungen liefern. Auch darf nicht vergessen werden, dass die niedere Pflanzendecke in gewissen Beziehungen mit den Baumpflanzen vergleichbar ist und dass demnach die verhältnismässig leichter und einfacher anzustellenden Untersuchungen über die Lebensbedingungen der Bodenvegetation auch geeignet sind, das Leben der Baumpflanzen zu erklären.

Voraussichtlich würde es also der forstwissenschaftlichen (und auch pflanzengeographischen) Forschung jedenfalls, wo es sich um die Wechselwirkung der Bäume auf einander handelt, zum grossen Vorteil gereichen, wenn man

den gegenseitigen Wechselbeziehungen der Ertragsfaktoren mehr Beachtung als bisher schenken würde;

mehr Gewicht auf die Natur des Standorts legte und die Charakterisierung oder Bestimmung des Standorts überall nach denselben Normen vornehmen würde;

neben den in der Natur angestellten, vergleichenden Beobachtungen und zu ihrer Ergänzung die Vegetationsversuche zur allgemeinen Anwendung nähme um den Einfluss der verschiedenen Faktoren quantitativ zu bestimmen.