

8078

DIE AUSSENFAKTOREN BEI DER ENTSTEHUNG DER EXZENTRIZITÄT DER NADELHOLZSTÄMME

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER DOKTORDISSERTATION
DIE DER UNIVERSITÄT TARTU VORGELEGT IST VON

BERNHARD HALLER

Diese Dissertation wurde von der Landwirtschaftlichen Fakultät
zur Verteidigung am 31. Mai 1934 zugelassen.

Die offiziellen Opponenten:

Prof. Dr. rer. for. A. Mathiesen,
Doz. Dr. rer. for. K. Werberg,
Prof. O. Daniel.

TARTU, 1934

DIE AUSSENFAKTOREN BEI DER ENTSTEHUNG DER EXZENTRIZITÄT DER NADELHOLZSTÄMME

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER DOKTORDISSERTATION
DIE DER UNIVERSITÄT TARTU VORGELEGT IST VON

BERNHARD HALLER

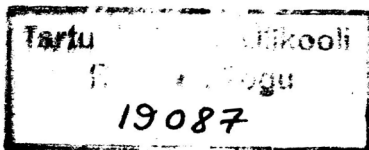
Diese Dissertation wurde von der Landwirtschaftlichen Fakultät
zur Verteidigung am 31. Mai 1934 zugelassen.

Die offiziellen Opponenten:

Prof. Dr. rer. for. A. Mathiesen,
Doz. Dr. rer. for. K. Werberg,
Prof. O. Daniel.

TARTU, 1934

Ex. A



53385494

Einleitung.

Das exzentrische Dickenwachstum, eine schon seit dem XVII. Jahrhundert beschriebene Erscheinung, ist in den späteren Jahrzehnten oft in der Literatur behandelt worden. Man hat die entwicklungsphysiologische Seite der Frage, den anatomischen Bau des exzentrisch gewachsenen Holzes (oft als Rotholz bezeichnet) untersucht, man hat Hypothesen über die Entstehung des exzentrischen Dickenwachstums aufgestellt, doch ist es bis heute noch nicht gelungen alle mit dieser Erscheinung in Verbindung stehende Fragen zu erklären.

Abgesehen von den Untersuchungen über die physiologische Seite der Erscheinung und dem anatomischen Bau des exzentrisch gewachsenen Holzes, womit sich eine Reihe hervorragender Botaniker und auch Forstwissenschaftler beschäftigt haben, greift diese Frage auch tief in die Forstwissenschaft ein, und erstreckt sich bis auf das Gebiet der Holzmesskunde, denn ebenso wie die Höhe des Stammes ist auch der Durchmesser ein wichtiger Faktor bei Ermittlung des Inhaltes des Stammes. Dabei kommt es darauf an, den Durchmesser des exzentrischen Stammes in solcher Richtung zu messen, dass man die wahre Querfläche des Stammes erhält. Ausserdem ist das exzentrische Dickenwachstum auch von praktischer Bedeutung, denn das exzentrisch gewachsene Holz ist oft technisch minderwertiger, als das aus regelmässigen Jahrringen aufgebaute, ja für manche Zwecke ist das exzentrische Holz sogar untauglich.

Die Untersuchungen über die Abweichungen der in verschiedenen Himmelsrichtungen gemessenen Durchmesser an Einzelstämmen und ganzen Beständen an geographisch verschiedenen Orten, haben öfters abweichende Resultate erge-

ben, ja man findet sogar direkte Widersprüche in den Resultaten der Messungen. Daraus lässt sich auf den ersten Blick schliessen, dass das exzentrische Dickenwachstum in einer bestimmten Richtung stattfinden muss und zweitens, dass es von den örtlichen Aussenwirkungen bedingt ist.

In Eesti sind bisher über diese Frage noch keine Untersuchungen angestellt worden, darum schien es nötig zu sein diese Frage auch an einheimischem Material zu untersuchen.

Grundmaterial.

Die Arbeit zerfällt in zwei Teile: 1) Untersuchungen der Exzentrizität am Bestande und 2) an Einzelstämmen. Dementsprechend ist auch das Grundmaterial geteilt.

Die Untersuchungen der Exzentrizität am Bestande wurden an 15 Probeflächen mit insgesamt 842 Stämmen angestellt. Die Probeflächen lagen in 4 Oberförstereien, und nämlich: eine mit 105 Stämmen (70 Kiefern + 35 Fichten) in der Lehr- und Versuchsoberförsterei der Universität Tartu, das mittlere Alter = 180 Jahre, die mittl. Höhe = 31 m, ebenes Gelände; fünf Probeflächen aus der Oberförsterei Orawa mit 301 Stämmen, alle 110-jährige Kiefern, H = 28 m, von diesen waren 2 Probeflächen auf ebenem Gelände und 3 von NNW-, S- und WSW-Hängen, deren Neigung 20° — 30° betrug; drei Probeflächen mit 138 Stämmen aus dem zur Oberförsterei Kongota gehörigen Forste Wapramäe, von diesen lag eine Probefläche am W-Hange (Neigung 13°) in 40-jährigem Kiefernbestande (H = 17 m), eine Probefläche an der SE-Seite des Abhanges im 50-jährigen Fichtenbestande (H = 22 m) und eine Probefläche aus einem 70-jährigen Fichtenbestande auf ebenem Gelände (H = 24 m); sechs Probeflächen mit 298 Stämmen aus dem zur Biologischen Station der Universität Tartu gehörigen Revier Kuusnõmme auf der Insel Saaremaa (Oesel), alle auf ebenem Gelände dicht an der Westküste der Insel liegend — hier waren vertreten 30—180-jährige Kiefernbestände, deren mittlere Höhe 8—20 m betrug. Alle Probeflächen wurden mit der Magnaliumkluppe

mit 1 mm Genauigkeit in bestimmten Himmelsrichtungen kluppiert.

Das der Untersuchung der Exzentrizität der Einzelstämme dienende Material stammt ausschliesslich aus der Lehr- und Versuchsoberförsterei der Univ. Tartu. Zu diesem Zwecke wurden abgeholzt: eine Kiefernprobefläche (Nr. I) mit 112 Stämmen (dieselbe, auf die schon oben hingewiesen wurde) und eine Fichtenprobefläche (Nr. II) mit 30 Fichten von einem vor ca 50 Jahren entwässerten Übergangsmoor. Das Alter der Fichten betrug 40—90 Jahre und die Mittelhöhe war 16,5 m. Ausserdem wurden noch 83 Einzelstämme von verschiedenen Standortsklassen gefällt und analysiert. Insgesamt wurden somit Analysen — meist mit 1 m Sektionen — an 225 Stämmen ausgeführt. Bei den beiden Probeflächen wurden vor der Abholzung die Stämme aufgenommen und die Kronenprojektionen gemessen und graphisch dargestellt um einen Überblick über die Verteilung der Stämme und die Ausbildung der Kronen zu erhalten, was bei späteren Erwägungen in Betracht gezogen wird. An den Analysescheiben wurden nicht die Durchmesser, sondern die Radien vom Mark aus in 6 Richtungen: N, S, E, W, in der Richtung des grössten und kleinsten Radius gemessen, denn der Durchmesser veranschaulicht nicht die Exzentrizität, da die entgegengesetzten Radien, die einen Durchmesser bilden, bei sehr abweichenden Grössen den gleichen Durchmesser ergeben können. Was die Auswahl der abgeholzten Probeflächen anbelangt, so ist Nr. I einem auf festem Sandboden stehenden naturwüchsigen Bestande, den man sogar als Urwald ansprechen kann, entnommen. Das Alter der Bäume schwankt gruppenweise zwischen 160—270 Jahren. Einzelne Bäume erreichen die Höhe von 35,5 m, während die Mittelhöhe 31 m (Kiefer und Fichte) betrug. Der Bestand ist dem Winde wegen seiner Höhe und der erhöhten Bodenlage blossgelegt. Die Probefläche Nr. II wurde einem auf entwässertem Übergangsmoor wachsenden Fichtenbestande mit wenigen Kiefern entnommen, wo die Wurzeln nur bis 30 cm tief eingedrungen waren, meistens aber ganz flach, oder sogar auf dem Boden lagen. Auch das

Wurzelsystem der Kiefer ist hier ganz flach und die Pfahlwurzel ist nur mit einem ca 5 cm langen Rudiment gekennzeichnet. Nach der Entwässerung ist der Boden stark gesunken, was die Schiefstellung der bis zur Entwässerung gewachsenen Bäume bezweckt hat.

Die Exzentrizität der unterdrückten Stämme wurde an Einzelstämmen untersucht. Zur Untersuchung spezieller Fragen wurden auch noch sibirische Tannen (*Abies sibirica* Led.) herangezogen.

Exzentrizitätserscheinungen bei Bestandesuntersuchungen.

Die Abhängigkeit der übers Kreuz gemessenen Durchmesser vom herrschenden Winde.

Schon als man statt der Umfangsmessung die Durchmesser zu messen begann wurde festgestellt, dass die Durchmesser der Stämme, in verschiedenen Himmelsrichtungen gemessen, nicht gleich waren. Diese Frage behandelten zuerst Smalian, Klauprecht, C. Heyer, Th. Hartig, Musset, Baur und Kunze, bis im Jahre 1882 die grundlegende Arbeit Grundners (Untersuchungen ü. d. Querflächen-Ermittelung der Holzbestände) erschien. Grundner fand wesentliche Unterschiede in den nach den in NS- und EW-Richtungen gemessenen Durchmessern berechneten Querflächen der Bestände. So z. Beisp. war die nach den EW-Durchmessern berechnete Grundfläche bei der Kiefer um 8,4% grösser, als die nach den NS-Durchmessern berechnete. Die Vergrößerung des Durchmessers in der Richtung des herrschenden Windes schrieb er hauptsächlich der Wirkung des Windes zu, indem er sagt (S. 14): „...dass in nur einigermaßen exponierten Lagen der Wind stärker als die übrigen Momente auf die Querfläche einwirken...“. Dieser Grundsatz ist bis heute gültig geblieben. Durchblättern wir einerlei welches Buch der Holzmesskunde, z. Beisp. Müller, Tischendorf, Orloff (russisch) etc., so finden wir überall die obengenannte Arbeit Grundners zitiert und den erwähnten Grundsatz ange-

führt. Ja sogar die Versuchsarbeit basiert auf diesem Satze: sämtliche Probeflächen, wo grössere Genauigkeit erforderlich ist, werden auf Grund dieses übers Kreuz in der Richtung des herrschenden Windes (W) und perpendicular zu dieser Richtung gemessen. Um nun diesen Satz den lokalen Verhältnissen anzupassen, ist nur nötig die Richtung des herrschenden Windes nach den meteorologischen Beobachtungen zu bestimmen und danach die Richtung der Kluppierung festzustellen.

Der Wind.

Bevor man zur Analyse der einzelnen Komponenten des Windes schreitet, muss klargelegt werden, in welchem Zeitraume der Wind überhaupt das Wachstum beeinflussen kann. Eine Reihe Untersuchungen, die die Dauer der Vegetationszeit behandeln, sind in Mitteleuropa angestellt worden. Unseren Verhältnissen dürften am nächsten liegen die Untersuchungen, die in Schweden von Romell angestellt sind; auch die in der Lehr- und Versuchsoberförsterei der Univ. Tartu im Jahre 1930 gemachten Untersuchungen über die Dauer der Wachstumsperiode bestätigen diese Annahme. Danach dauert die Wachstumsperiode bei uns von Mai bis September.

Die meteorologischen Daten wurden von den den Versuchsflächen am nächsten liegenden Stationen genommen. So die Daten für die Versuchsflächen der Lehr- und Versuchsoberförsterei d. Univ. Tartu von der in derselben liegenden Station Järwselja ($\varphi = 58^{\circ} 17' N$, $\lambda = 27^{\circ} 21' E$ Gr.); für die Versuchsflächen der Oberförsterei Orawa von der ca 27 km südwestlich liegenden Station Wõru ($\varphi = 57^{\circ} 51' N$, $\lambda = 27^{\circ} 01' E$ Gr.); für die Versuchsflächen aus Wapramäe von dem ca 25 km nordöstlich liegenden Observatorium Tartu ($\varphi = 58^{\circ} 22' 45'' N$, $\lambda = 26^{\circ} 42' 54'' E$ Gr., $H = 80,81$ m über dem Meeresspiegel); für die auf der Insel Saaremaa (Oesel) im Revier Kuusnõmme liegenden Versuchsflächen vom ca 10 km westlich liegenden Leuchtturme Wilsandi ($\varphi = 58^{\circ} 23' N$, $\lambda = 21^{\circ} 49' E$ Gr.). Aus den vorhandenen Daten wurde die mittlere Windrichtung während der Vegetationszeit berechnet. Die Abweichungen in der mittleren Windrichtung

der einzelnen Stationen betragen nur einige Grade, so dass man die Daten im allgemeinen als fast gleich betrachten kann. Danach wurden die 50-jährigen Mittelwerte des Observatoriums in Tartu als gültig angesehen. Nach diesen Daten war die mittlere Windrichtung 249° von N über E gehend. Was die Häufigkeit der Windrichtungen in % anbetrifft, so stimmen auch hier die Daten der einzelnen Stationen gut überein. Nur die mittlere Windgeschwindigkeit war abweichend: an der Küste bedeutend grösser, als im Inlande. Danach herrschte während der Vegetationszeit auch in unseren Verhältnissen vorwiegend der Westwind.

Analyse der Probeflächen.

Nach den Untersuchungen Grundners sollte man erwarten, dass der mittlere EW-Durchmesser derjenigen Probeflächen, die nicht vor dem herrschenden Winde geschützt sind, grösser sei als der NS-Durchmesser. Weiter konnte man noch erwarten, dass die Abweichung des EW-Durchmessers vom NS-Durchmesser desto grösser sein müsste je grösser die mittlere Windgeschwindigkeit am gegebenen Orte ist. Danach müssten die aus Kuusnõmme, von der Westküste der Insel Saaremaa (Oesel), stammenden sechs Probeflächen die grösste Exzentrizität aufweisen, denn ihre Lage ist ungeschützt, dicht am Strande. Auch müsste bei allen anderen vor Wind nicht geschützten Probeflächen der EW-Durchmesser grösser als der NS-Durchmesser sein.

Wider Erwarten wurde aber aus den Kluppierungsdaten ersichtlich, dass bei der Probefläche Nr. I in Kuusnõmme, die einem 90-jährigen, dicht am Strande liegenden Kiefernbestande entnommen war, der NS-Durchmesser grösser als der EW-Durchmesser war; auch die Probefläche Nr. I in Orawa, die ebenfalls auf ebenem Gelände und vor Wind unbeschützt liegt, wies einen grösseren NS-Durchmesser auf. Schon diese zwei Fälle weisen darauf hin, dass die Kluppierungsdaten mathematisch analysiert werden müssen bevor man die Exzentrizität der Wirkung des herrschenden Windes zuschreiben kann.

Aus den übers Kreuz in der Richtung NS und EW mit 1 mm Genauigkeit gemessenen Kluppierungsdaten wurden zuerst die mittleren Durchmesser jeden Stammes berechnet. Danach wurde die Abweichung jeden EW-Durchmessers vom mittleren Durchmesser berechnet und mit + oder — bezeichnet. Nach Summierung der Abweichungen und Dividierung der Summe mit der Stammzahl wurde die mittlere arithmetische Abweichung des EW-Durchmessers erhalten. Da aber die Durchmesser der Einzelstämme sehr abweichend sind, so ist es nicht zulässig die weiteren Berechnungen auf die absoluten Grössen zu basieren. Demnach wurden die Abweichungen der EW-Durchmesser von den entsprechenden mittleren Durchmessern in Prozenten ausgedrückt und das arithmetische Mittel der Abweichungen berechnet. Aus diesem arithmetischen Mittel zog Grundner den Schluss über die Wirkung des herrschenden Windes auf die Entstehung der Exzentrizität. Durchsieht man aber unsere Daten und die Daten Grundners (in der obenerwähnten Arbeit), so liegen in beiden Fällen auch negative Werte vor, die darauf hinweisen, dass in manchen Fällen unabgesehen von der Wirkung des herrschenden Windes auch der NS-Durchmesser grösser ist. Danach kann man die Wirkung des herrschenden Windes nicht in allen Fällen als massgebend betrachten, denn der herrschende Wind muss als ein in bestimmter Richtung wirkender konstanter Faktor angesehen werden, der in allen ungeschützten Lagen seine Wirkung ausüben muss, wenn die Exzentrizität wirklich vom Winde abhängig ist, wie Grundner es annimmt. Durchsieht man jetzt noch die Abweichungen der Einzelstämme unserer Probeflächen (in der gedruckten Ausgabe der Untersuchungen Grundners ist leider das Grundmaterial nicht vorhanden), so sieht man, dass oft auch der NS-Durchmesser grösser als der EW-Durchmesser ist. Dieser Umstand veranlasst uns die wahrscheinliche Abweichung¹⁾ zu berechnen,

¹⁾ Hier ist absichtlich statt des mathematischen Ausdruckes „Fehler“, der Ausdruck „Abweichung“ gebraucht worden, da die Natur nicht fehlerhaft arbeitet, wie es schon Busse betonte.

woraus ersichtlich werden muss, ob die Exzentrizität wirklich durch die dominierende Wirkung des Windes zustande kommt, oder ist der Wind nur als mitwirkender Faktor betätigt.

Zur Berechnung der wahrscheinlichen Abweichung wurde folgender Weg eingeschlagen. Es wurden zunächst die Abweichungen (v) der Einzeldurchmesser vom arithmetischen Mittel berechnet, ihre Quadrate (v^2) gebildet und danach das quadratische Mittel der Abweichungen (m) ermittelt, wonach die wahrscheinliche Abweichung (r) erhalten wurde:

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n}}; r = m \cdot 0,674.$$

Die Resultate der Berechnungen der wahrscheinlichen Abweichung ergaben, dass bei allen auf ebenem Gelände liegenden und vor Wind nicht geschützten Probeflächen die wahrscheinliche Abweichung grösser war, als das entsprechende arithmetische Mittel. Danach kann hier der Wind nicht als massgebender Faktor bei der Entstehung der Exzentrizität in Betracht gezogen werden.

Auf geneigtem Gelände war das arithm. Mittel in zwei Fällen grösser, als die wahrscheinliche Abweichung: 1) bei einer vor Wind nicht geschützten Probefläche vom Westhange (Neigungswinkel 13°) lag der grössere Durchmesser in der Richtung des herrschenden Windes und hier muss die Wirkung des Windes als massgebend angesehen werden; 2) bei einer Probefläche vom vor Wind geschützten NNW-Hange (Neigungswinkel 25° — 30°) lag der grössere Durchmesser in der Richtung der Horizontale, hier muss die Neigung als massgebend betrachtet werden. Die anderen von Abhängen stammenden Probeflächen waren gleichzeitig unter der Wirkung des Windes und der verhältnismässig grossen Neigung, so dass hier zwei Faktoren gemeinsam, aber in verschiedenen Richtungen wirkten, was bezweckte, dass die wahrscheinliche Abweichung grösser war als das arithmetische Mittel.

Zusammenfassend kann man schliessen, dass in unseren auf ebenem Gelände stehenden Beständen die wahrscheinliche Abweichung der in der Richtung des herrschenden

Windes gemessenen Durchmesser immer grösser ist als das arithmetische Mittel der Abweichungen, weshalb der Wind nicht als dominierender, sondern nur als mitwirkender Faktor bei der Entstehung der Exzentrizität des Bestandes angesehen werden kann. Da der Wind aber in den meisten Fällen als konstanter Faktor in einer bestimmten Richtung wirkt, die anderen Faktoren aber in verschiedenen Richtungen wirken, so ist oft die Summe der EW-Durchmesser grösser, als die Summe der NS-Durchmesser. Der Satz Grundners über die massgebende Wirkung des Windes bei der Entstehung der Exzentrizität kann demnächst am Bestande nicht als gültig angesehen werden.

Nur in den an sanften Abhängen dem herrschenden Winde blossgelegten Beständen, wo die Baumkronen einander nicht vor Wind schützen, ist die Exzentrizität direkt durch die Wirkung des Windes hervorgerufen.

An steilen, vor Wind geschützten Abhängen ist der Horizontaldurchmesser infolge der Neigung am grössten.

Um die Wirkung der anderen, die Exzentrizität hervorruhenden Faktoren klar zu stellen, müssen die einzelnen Glieder des Bestandes, die Einzelstämme, untersucht werden.

Exzentrizität der Einzelstämme.

Literarische Übersicht.

Eine reichliche Literatur behandelt das exzentrische Dickenwachstum. Viele Forscher haben diese so häufig auftretende Erscheinung zu erklären versucht, doch ist es bis jetzt noch nicht gelungen die Ursachen dieser Erscheinung endgültig zu erklären. Pfeiffer (in „Abnormes Dickenwachstum“) sagt, dass die entwicklungsphysiologischen Ursachen bis jetzt noch nicht völlig erklärt sind und eine kausal-mechanische Erklärung, die das finale Moment nicht berührt, ist fürs erste unmöglich. Auf demselben Standpunkte war auch Ursprung.

Zusammenfassende Übersichten diese Frage betreffend finden wir in den Arbeiten von Kny, Rittmeyer, Schwarz, Ursprung, Engler, Pfeiffer und Hartmann.

Im Verlaufe von ca zwei Jahrhunderten, da man die Exzentrizität behandelt hat, sind die verschiedensten Hypothesen und Theorien aufgestellt worden, doch die meisten sind eine nach der anderen verworfen worden. So hat man die Entstehung der Exzentrizität in Zusammenhang gebracht mit der Himmelsrichtung, dem Grundgestein, der Zentrifugalkraft, der Ernährung, der Schwerkraft, dem Längsdrucke, der Rindenspannung, der Beleuchtung, der Feuchtigkeit, dem mechanischen Festigkeitsprinzip usw. Die neueste, von Hartmann aufgestellte „Reaktionsholztheorie“ beweist, dass die Entstehung des Reaktionsholzes nicht im kausalen Zusammenhange mit Zug- und Druckkräften steht, auch die Annahme vom Geotropismus soll als gescheitert angesehen werden. Ferner wird bewiesen, dass das exzentrische Dickenwachstum nur durch die inneren Gleichgewichtsverhältnisse bedingt wird.

Zuletzt sei bemerkt, dass einige bekannten Forscher (Büsgen, Münch) auch jetzt noch die Schwerkraft und das mechanische Festigkeitsprinzip bei Entstehung der Exzentrizität als massgebend betrachten. Die Theorie Hartmanns umfasst wohl alle bisher bekannten Erscheinungen am exzentrischen Dickenwachstum, aber eine kausale Erklärung dieser Erscheinung hat sie nicht gegeben. Hartmann verneint jede direkte Aussenwirkung auf das exzentrische Dickenwachstum, er sagt aber dabei, dass die Entstehung des Reaktionsholzes mit den inneren und äusseren Gleichgewichtsstörungen beginnt. Welche aber diese das innere Gleichgewicht störenden Bedingungen sind, das ist nicht klar. Prof. Münch sagt, dass innere Bedingungen wenigstens teilweise äussere verborgene Bedingungen sind.

Drehwuchs, Ernährung und exzentrisches Dickenwachstum.

Bei den abgeholzten Probeflächen wurde auch der Drehwuchs der Stämme registriert. Dabei ergab sich, dass 90% aller Stämme erkennbar drehwüchsig waren, die übrigen 10% waren entweder geradfaserig oder aber war der Dreh-

wuchs so schwach ausgebildet, dass man ihn nicht sicher feststellen konnte.

Bezug nehmend darauf, dass die überwiegende Mehrzahl der Stämme drehwüchsig war, muss zu allererst klar gelegt werden, ob das exzentrische Dickenwachstum mit dem Drehwuchse in irgend einem Zusammenhange steht oder nicht.

Diese Frage wurde an fünf drehwüchsigen, vertikalstehenden und einseitig beasteten Kiefernstämmen untersucht. Das Alter der Stämme betrug 140—165 Jahre, die Höhe 23,8—29,8 m. Die Stämme standen am Rande eines südlich von den Stämmen liegenden Moores; von anderen Himmelsrichtungen vor Wind durch höher liegende Bestände geschützt. Die Spirale des Drehwuchses machte um den astlosen Stamm, bis zum ersten rohen Ast, wo der Gang der Spirale undeutlich wurde, eine Drehung von 30° — 270° (der erste rohe Ast lag in der Höhe von 10,5—14,8 m). Die Stämme trugen Äste nur auf der südlichen und westlichen Seite, das Rotholz befand sich aber bei allen Stämmen konstant im nördlichen Teil des Stammes.

Nehmen wir an, dass die Ernährungshypothese richtig ist, wonach das intensivere Wachstum an der Stelle stattfindet, wo der Stamm besser ernährt wird, dann sind nach R. Hartig zwei Möglichkeiten zur Entstehung der Exzentrizität: 1) die Säfte fließen nach der Spirale des Drehwuchses, 2) die Säfte strömen in vertikaler Richtung. Im ersten Falle müsste das Rotholz auch dem Gange der Drehwuchsspirale folgen, im zweiten aber müsste das Rotholz auf der Seite liegen, wo die Krone ist. An den analysierten Stämmen sehen wir aber, dass das Rotholz weder dem Drehwuchse folgt, noch auf der Seite der Krone liegt. Daraus kann man schliessen, dass das exzentrische Wachstum unabhängig ist, sowohl vom Drehwuchse, wie auch von der Ernährung und aus ganz anderen Gründen entsteht.

Die Abhängigkeit des exzentrischen Dickenwachstums von äusseren Einwirkungen.

Infolge der so oft auftretenden Exzentrizität (auch bei jungen Bäumen) stellt sich die Frage, ob die Exzentrizität nicht als normale oder vererbte Erscheinung anzusehen ist. Zur Er-

klärung dieser Frage wurden 5 vollständig vertikale und gleichmässig bekronte 23-jährige Fichten analysiert, die mit 1,6×1,6 m Abständen gepflanzt worden waren und vor Wind von einem 28 m hohen Birkenbestande mit Fichten-Nachwuchs geschützt waren.

Die Daten der Analyse zeigten, dass die Abweichungen der Radien nicht über 1 mm stiegen. Meistens waren die Scheiben aber kreisrund und die kleinen Differenzen (bis 1 mm) waren durch kleine eingewachsene Äste bedingt. Rotholz trat nirgends auf. Übrigens sei bemerkt, dass auch dieser Bestand, unabgesehen von seiner gut geschützten Lage, vor äusseren Einflüssen nicht absolut geschützt war. Daraus könnte man schliessen, dass bei vollständig vertikalen, gut geschützten und regelmässig bekronten Bäumen keine Exzentrizität auftritt. Somit müsste man nach den die Exzentrizität hervorrufenden Einflüssen suchen.

Der Einfluss des Windes auf den Einzelstamm.

Oben sahen wir, dass bei in geschützter Lage stehenden vertikalen Stämmen, mit regelmässiger Krone keine Exzentrizität auftritt. Jetzt wurden zunächst 10 der höchsten Stämme (überragende) des Bestandes (Kiefer, Fichte, sibirische Tanne) analysiert, die gleichfalls in vertikaler Lage standen und eine regelmässige Krone trugen. Das Alter der Bäume betrug 23—73 Jahre. Dabei ergaben die Resultate der Analysen, dass bei allen Stämmen der zwischen N und NE liegende Radius der grösste war, wo auch das Rotholz sich befand. Die Exzentrizität war am grössten bei den unteren Scheiben, während bei einigen Stämmen die obersten Scheiben sogar kreisrund waren.

Sind die Bäume aber so gelegen, dass sie vor dem herrschenden Winde geschützt sind, dagegen aber von einer anderen Seite dem Winde der Zugang ermöglicht ist, so ändert sich auch dementsprechend die Lage des Rotholzes, resp. d. grössten Radiuses. So z. Beisp. wurden analysiert vier ca 160-jährige Kiefern, denen der Zutritt des Windes nur von der S-Seite möglich war, und bei allen war der N-Radius der grösste.

Ferner wurden noch solche Stämme analysiert, die unter

dem Schutze des Bestandes gewachsen waren und dann nach dem Hiebe als Randbäume stehen geblieben waren. Bei diesen Stämmen hatte sich gleich nach einseitiger Freilegung intensives Dickenwachstum auf der unter dem Winde stehenden Seite eingelegt mit gleichzeitiger Rothholzbildung. Dabei ist bemerkenswert, dass bei einer Fichte, die von der NE-Seite vor 2 Jahren freigelegt wurde, auch sich Rothholz bildete und nämlich auf der SW-Seite — also gerade der herrschenden Windrichtung entgegengesetzt — woraus ersichtlich wird, dass der Wind in allen Himmelsrichtungen wirken kann, wenn der Baum so gelegen ist, dass der herrschende Wind ihn nicht erreichen kann, eine andere Himmelsrichtung aber offen steht.

Um nun den Einfluss des Windes auf den Nachwuchs zu untersuchen wurden 14 Fichten analysiert, die unter einem 32 m hohen gut geschlossenen Kiefernbestande wuchsen. Die Höhe der Fichten betrug 18—24 m. Von diesen 14 Stämmen konnte man nur bei 2 Stämmen geringe Exzentrizität beobachten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zusammenfassend kann man schliessen, dass der Wind auf überragende vertikalstehende Stämme des Bestandes sicher wirkt, indem der Radius, der unter dem Winde stehenden Seite am grössten ist, wo auch Rothholz ausgebildet ist. Bei teilweise geschützten Bäumen wirkt der Wind in der Richtung, wo die freie Seite des Baumes ist. Am unterdrückten Bestande ist die Wirkung des Windes minimal.

Schiefe Stellung des Stammes.

Es ist schon längst bekannt, dass bei schiefstehenden Nadelholzstämmen die untere Seite des Stammes breitere Jahrringe bildet als die obere. Weniger sind aber die Ursachen behandelt, die die schiefe Stellung hervorrufen. Unter anderen hat sich auch R. Hartig mit den schiefstehenden Stämmen beschäftigt, er erwähnt aber nur, dass infolge des Winddruckes der Baum schiefe Stellung einnimmt, insbesondere wenn Wurzeln gerissen werden. Man kann aber nicht anerkennen, dass in allen Fällen der Wind die schiefe Stellung verursacht, denn

in manchen Verhältnissen sind schiefstehende Stämme in überwiegender Anzahl vorhanden.

Die äusserste Grenze der Schiefstellung wird erreicht, wenn der Baum in die horizontale Lage kommt und so weiter vegetiert. Eine derart gelegene, mit Ballen gestürzte sibirische Tanne wurde analysiert und es hatten sich nach dem Absturze nur auf der unteren Seite Jahrringe gebildet. Auch eine Fichte, die infolge von Wurzelbruch schiefe Stellung eingenommen hatte, zeigte Rotholz und breitere Jahrringe auf der unteren Seite, hier waren aber auch auf der oberen Seite Jahrringe vorhanden. Solche Fälle, wo die Stämme mit Ballen abstürzen, oder der Wind die Wurzeln zerreist, treten in unseren Verhältnissen sehr selten auf, viel häufiger ist die schiefe Stellung der Stämme durch andere Ursachen hervorgerufen.

Es ist allbekannt, dass ohne menschliche Eingriffe der Kampf um die Herrschaft im jungen dichten Bestände von dem Momente beginnt, da die Kronen der jungen Bäume einander berühren und dieser Kampf dauert bis ins hohe Alter. Dabei werden die meisten Stämme schwach und gehen zuletzt zugrunde. Die schwachen Stämme werden besonders im Winter unter der Last des auf den Ästen liegenden Schnees geknickt oder gebogen, wodurch der Stamm seine Vertikalstellung verliert. Sehr bildlich war dieser Vorgang an einer 17-jährigen Plätzeaat zu beobachten, wo auf jedem 60×60 cm grossen Platze 20—50 junge Kiefern wuchsen. Die meisten Stämmchen waren schwach und unter Schneedruck gekrümmt, nur ein oder zwei Bäumchen hatten die Herrschaft erobert. Die gekrümmten Stämmchen hatten schon alle Rotholz gebildet und ihr Querschnitt war exzentrisch. Dauert dieses Wachstum ohne jegliche menschliche Eingriffe fort, so dauert auch der Kampf um die Herrschaft immer fort, dabei können aber zwei oder mehrere naheliegenden Stämme gleichstark sein und bis zum hohen Alter konkurrieren. In solchem Falle stehen die Stämme in der Richtung der freien Seite schief und es bildet sich bei allen Stämmen auf der unteren Seite Rotholz. Solchen 160—270-jährigen Bestand repräsentiert

die Probefläche Nr. I auf Abt. 32 in der Lehr- und Versuchsoberförsterei der Univ. Tartu.

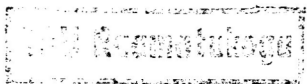
Auf Übergangs- und Niederungsmooren sinkt der Boden nach der Entwässerung sehr stark. Die schon vor der Entwässerung gewachsenen Bäume erholen sich und geben guten Zuwachs. Gleichzeitig sinkt der Baum infolge der Senkung des Bodens und des zunehmenden Gewichtes des Baumes. Dabei bleiben die Bäume wie auf Stelzen stehen. Ist das Wurzelsystem aber derart ausgebildet, dass eine Seite ohne Wurzeln ist, so stellt sich der Baum in der Richtung, wo keine Wurzel ist, schief. Die Probefläche Nr. II liegt in einem solchen Bestande.

Ausserdem kann die schiefe Stellung noch durch unordentliche Pflanzung hervorgerufen werden.

In allen diesen Fällen, wo die Stämme schief stehen, wird exzentrisches Dickenwachstum hervorgerufen.

Gegenseitige Beeinflussung vertikaler sehr nahe stehender oder teilweise verwachsener Stämme.

Teilweise verwachsene oder sehr nahe stehende Stämme sind mit exzentrischem Querschnitt, daher stellt sich die Frage, ob vielleicht auch nicht die Stämme einander beeinflussen können, was Exzentrizität hervorrufen könnte. Die einheimischen Kiefern und Fichten nehmen immer schiefe Stellung ein, oder werden krumm, wenn sie sehr nahe einander wachsen, oder teilweise verwachsen sind, daher kommt die Exzentrizität schon infolge der schiefen Stellung oder der Krümmungen zustande. Ganz anders verhält sich aber die sibirische Tanne, die viel Schatten vertragen kann, dabei aber sehr geradschäftig bleibt und keine Ausweichungen aus der vertikalen Lage macht. Es wurden untersucht vor 36 Jahren paarweise gepflanzte sibirische Tannen, die von Kiefern überwachsen waren und daher vor Wind geschützt standen. Viele der Stämme waren unten paarweise verwachsen, behielten aber ihre vertikale Lage im Verlaufe der ganzen Höhe. Bei der Analyse ergab es sich, dass bei sämtlichen Stämmen die äusseren Seiten



aus breiteren Jahrringen gebildet waren als die inneren und dass an den Aussenseiten Rotholz ausgebildet war.

Als Beispiel sollen hier angeführt werden zwei sibirische Tannen, die 7,7 und 7,6 m hoch waren und im Abstände von 4 cm gepflanzt waren. Die Stämme waren bis 0,4 m Höhe verwachsen und hatten sich bei der Verwachsung auseinander gepresst, dann aber wieder parallel zueinander weitergewachsen, so dass der Abstand der Stämme von einander oberhalb der verwachsenen Stelle und bis zur Spitze 14 cm (von der Mittellinie gemessen) betrug. In der ganzen Länge waren die Stämme exzentrisch und auf der Aussenseite befand sich Rotholz. Von der verwachsenen Stelle würde eine Scheibe genommen und auf dieser war die Ausbildung des Rotholzes an den Aussenseiten deutlich sichtbar. Es stellt sich nun die Frage, wie konnte hier Exzentrizität und Rotholz entstehen. Anfangs als die Stämme einander nur berührten übten sie zweifellos mechanischen Druck auf einander aus, was die Bildung der Exzentrizität und des Rotholzes verursachte. Dann bildete sich schon ein gemeinsamer Jahrring für beide Stämme, worauf noch 22 solche gemeinsame Jahrringe folgten. Das Rotholz wurde aber mit jedem neuen Jahrring weitergebildet. Es ist möglich, dass nach der Bildung des gemeinsamen Jahrringes der eingewachsene Teil des Kambiummantels noch weiter vegetierte und in die Dicke wachsend mechanischen Druck ausübte. Demnach musste sich der noch nicht verholzte gemeinsame Jahrring entsprechend deformieren. In den nächsten Jahren, als der eingewachsene Teil des Kambiummantels noch weiter vegetierte, konnte kein Druck mehr auf die äusseren Jahrringe ausgeübt werden, denn die dazwischen liegenden Jahrringe waren schon verholzt. Wäre das Holz aber soweit elastisch, dass es sich auch noch später deformieren könnte, dann müsste der Druck auf die äussersten Jahrringe immer kleiner werden und die Intensivität des Rotholzes abnehmen. Wir sehen aber gerade das Entgegengesetzte, die Intensivität des Rotholzes nimmt zu. Wäre der Druck grösser, als die Widerstandsfähigkeit der Jahrringe, so müssten die Jahrringe zerrissen werden. Auch dieses sieht man

nicht. Ferner kann hier auch nicht die Rede sein von Gleichgewichtsstörungen, denn von dem Momente an, wo sich der gemeinsame Jahrring gebildet hat, sind an dieser Stelle die verwachsenen Stämme als ein Stamm anzusehen und wenn sich auf beiden entgegengesetzten äusseren Seiten Rothholz bildet, dann müsste das Gleichgewicht zugleich in zwei entgegengesetzten Richtungen gestört sein, was aber nicht möglich ist. Ferner kann in den verwachsenen Teil auch Feuchtigkeit eindringen und besonders im Winter das gefrorene Wasser grossen Druck ausüben. Dabei müsste aber der Stamm entzwei gerissen werden, denn in gefrorenem Zustande ist die Elastizität des Holzes minimal. Es haben sich aber keine Risse gebildet. Demnach lässt sich hier die Entstehung von Rothholz nur durch gegenseitige Beeinflussung der Stämme erklären. Wäre diese Annahme richtig, so müsste die Bildung des Rothholzes von dem Momente an aufhören, da einer der im unteren Teile verwachsenen Stämme entfernt wird. Es gelang nur einen solcher Stämme zu finden, wo der nebenstehende Stamm vor 7 Jahren bei einer Durchforstung entfernt worden war. Der Querschnitt des stehen gebliebenen Stammes zeigte tatsächlich nach der Fällung des Nebenstammes gleichen Zuwachs in allen Himmelsrichtungen und Rothholz trat jetzt nicht mehr auf. Da es sich hier aber nur um eine Beobachtung (infolge von Mangel an entsprechendem Material) handelt, so muss dieser Fall als vorläufige Angabe angesehen werden und später noch kontrolliert werden.

Lokale Exzentrizität.

Ausser den oben behandelten Einflüssen, die auf den ganzen Stamm wirken und die Exzentrizität des ganzen Stammes hervorrufen gibt es eine ganze Reihe solcher Faktoren, die nur an einer gewissen Stelle des Stammes wirken und so die lokale Exzentrizität verursachen. Hierher gehören hauptsächlich die pathologischen Vorgänge, wie z. Beisp. die Beschädigung des Stammes durch Käfer, Pilze, mechanische Verletzungen usw. Ferner sind die Krümmungen der z. B. krummwüchsigen Kiefernrasen hierher zu rechnen usw. Auch an sehr schnell-

wüchsigen Kiefernpflanzen kann man beobachten, dass die Jahrestriebe nicht gerade, sondern gebogen sind.

Beim Nadelholze entsteht auf der unteren Seite der Krümmung das Rotholz.

Bei unter Rindenbrand leidenden Fichten stirbt in unseren Verhältnisse nur selten der Kambiummantel ab, meist wird der Zuwachs auf der von der Sonne beschienenen Seite gelähmt. Oft beteiligt sich auch der Wind bei der Entstehung der Exzentrizität dieser plötzlich freigestellten Bäume, so dass hier die Exzentrizität in den meissen Fällen 1) durch die Lähmung des Zuwachses infolge des Rindenbrandes auf der von der Sonne beschienenen Seite des Stammes und 2) von der Wirkung des Windes (Rothholzbildung auf der Lehseite) zustande kommt.

Analyse der Probefläche Nr. I.

Aus den Kronenprojektionen wird ersichtlich, dass die Kronen in der Richtung ausgebildet sind, wo sie Raum hatten. Wenn aber alle Himmelsrichtungen der Ausbildung der Krone frei waren, dann ist die breiteste Seite der Krone nach Süden gerichtet. Besonders deutlich ist die Verbreitung der Krone nach Süden zu erkennen, wenn man abzählt, in welcher Richtung sich die meisten Äste des Baumes befinden. So lagen von 112 Bäumen bei 95 Bäumen die meisten Äste in südlicher Richtung. Danach liegt auch das grösste Gewicht der Krone im Süden und es müssten hier die Stämme nach Süden schief stehen. Man sieht aber, dass die meisten Stämme nicht nach Süden schief stehen, sondern dass sie mehr nach SE gerichtet sind, was aus folgender Tabelle ersichtlich wird.

Die Stämme stehen schief in den Himmelsrichtungen:

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	vertikal	Summe
---	----	---	----	---	----	---	----	----------	-------

In Prozenten:

3½	5½	17	24	12½	5½	1	2½	28½	100
----	----	----	----	-----	----	---	----	-----	-----

Die Stämme sind also nicht dem einseitigen Gewichte der Krone gefolgt, sondern sie haben (insbesondere die überragenden) infolge des herrschenden Westwindes die Stellung zwischen den beiden Richtungen eingenommen. Ein Teil dieser Stämme ist aber wegen den räumlichen Verhältnissen in die ge-

gebene Lage gezwungen. Weiter ist ersichtlich, dass 28½% aller Bäume die vertikale Stellung beibehalten haben. Vergleicht man die Höhen der nebeneinander stehenden Bäume, so sieht man, dass diese (vertikalstehenden) hauptsächlich die niedrigsten sind. Daraus kann man schliessen, dass der schiefe Stand der Bäume hauptsächlich durch zwei Aussenfaktoren: den Wind und das einseitige Gewicht der Krone zustande kommt. Dementsprechend war auch die Lage des Rotholzes verteilt.

Die Daten der Analysen zusammenfassend kann man schliessen, dass die Exzentrizität im Bestande bei überragenden Stämmen hauptsächlich durch den Wind und bei anderen Stämmen durch die schiefe Stellung hervorgerufen wird. Alle anderen Einflüsse treten seltener auf. Der grösste Durchmesser wird sich infolgedessen nicht in einer bestimmten Richtung befinden, sondern er wird von der Summe der Einflüsse, die auf jeden einzelnen Stamm wirken, bedingt.

Analyse der Probefläche Nr. II.

Diese Probefläche liegt auf entwässertem Übergangsmoore, wo der Zuwachs nach der Entwässerung stark gestiegen ist. Ebenso wie auf der Probefläche Nr. I sind die Kronen hier auf der südlichen Seite (wo dazu Raum war) entwickelt. Es treten dieselben Erscheinungen wie bei Probefläche Nr. I auf, nur dass hier die Schiefstellung der Bäume im grossen Masse von der Stellung der Seitenwurzeln abhängig ist. Die Bäume, die nach der Entwässerung stark an Gewicht zugenommen haben, sind infolge der Senkung des Bodens auf ihren Wurzeln wie auf Stelzen stehen geblieben. Das Gewicht der Krone ist meistens nach Süden gerichtet und in allen Fällen, da keine Wurzel in südlicher Richtung vorhanden war, sind die Stämme gegen Süden schief gesunken. Im Allgemeinen kann man hier konstatieren, dass der Baum in der Richtung schief steht, wo die Last der Krone liegt, wenn auf dieser Seite keine Wurzel die Schiefstellung verhindert. Ferner tritt hier oft lokale Exzentrizität ein infolge neuer Gipfelbildung, denn auf solchen Standorten erfrieren bei Spätfrösten sehr oft die jungen Triebe der Fichten.

Die schiefgesunkenen Stämme haben sich mit der Zeit aufgerichtet, dabei haben sie oft die Vertikallinie überschritten, wodurch Überkrümmungen zustande gekommen sind. Solche Überkrümmungen findet man bei manchen Stämmen mehrere, bis der Baum schliesslich den Gleichgewichtszustand erreicht hat. Den Krümmungen entsprechend ändert auch das Rotholz seine Lage, immer auf der unteren Seite der Krümmung sich befindend.

Exzentrisches Dickenwachstum der Laubbölzer.

Es wurden nur diese Stämme vorübergehend analysiert, die sich auf den Probeflächen befanden und ausserdem je ein Stamm von *Tilia cordata*, *Fraxinus excelsior*, *Betula verrucosa* und *Alnus glutinosa*. Alle diese Analysen ergaben, dass die Exzentrizität der untersuchten Laubbäume diametral entgegengesetzt den Nadelbäumen verläuft.

Zusammenfassung.

Die Resultate der Untersuchungen über die Einzelstämme zusammenfassend ergibt sich, dass die Exzentrizität bei unseren Nadelholzbäumen sehr oft vorkommt. Aus regelmässigen Jahrringen gebildete Stämme findet man selten, und als solche gelten vertikalstehende und vor Wind gut geschützte Stämme, die nicht sehr nahe nebeneinander wachsen. Der Wind übt auf die dem Winde zugänglichen Stämme mechanischen Druck aus, was auf der Lehseite die Rothholzbildung verursacht. Bei schiefstehenden Stämmen bildet sich auf der unteren Seite des Stammes Rotholz und im äussersten Falle fehlen die Jahrringe auf der oberen Seite. Einander sehr nahe stehende oder teilweise verwachsene Stämme, auch in vertikaler Lage, werden gegenseitig so beeinflusst, dass sich bei ihnen auf den Aussenseiten Rotholz bildet.

Thesen.

Die Einzelstämme betreffend:

1. Das exzentrische Dickenwachstum steht nicht im Zusammenhange mit dem Drehwuchse und der Ernährung.

2. Bei vertikalstehenden, vor Wind geschützten Stämmen tritt keine Exzentrizität auf.

3. Infolge des herrschenden Windes ist bei allen vertikalstehenden, herrschenden Stämmen, deren Kronen vor Wind nicht geschützt sind, der Zuwachs auf der Lehseite am intensivsten, wo auch Rotholz gebildet wird.

4. Auf die vor dem herrschenden Winde geschützten Stämme wirkt der Wind in der Richtung, wo der Zutritt zum Stamme offen ist.

5. Die Einwirkung des Windes auf Nachwuchs und überhaupt auf die unterdrückten Stämme ist minimal.

6. Bei allen schiefstehenden Stämmen ist der grösste Radius auf der zur Erde gekehrten Seite, wobei das intensivste Rotholz bei horizontalliegenden Stämmen auftritt, dabei können die Jahrringe auf der oberen Seite des Stammes vollständig fehlen von dem Momente beginnend, da der Stamm in die Horizontallage geriet.

7. Bei sehr nahe zu einander stehenden und dabei auch in vertikaler Lage stehenden Stämmen tritt auf den Aussen-seiten der Stämme das intensivere Dickenwachstum mit Rotholz auf.

8. Lokale Exzentrizität entsteht an Krümmungen (ausgenommen die pathologischen Erscheinungen).

9. Die Aufgabe des exzentrischen Dickenwachstums ist den Stamm in die Gleichgewichtslage zu bringen, oder die Gleichgewichtslage zu behalten.

Den Bestand betreffend:

1. In unseren, auf ebenem Gelände wachsenden Beständen, ist der grösste Durchmesser der exzentrischen Stämme in sehr verschiedenen Himmelsrichtungen gelegen. Die Richtung des grössten Durchmessers kann nur zufällig zusammenfallen mit der Richtung des herrschenden Windes, darum ist der Satz, dass infolge des herrschenden Windes der grösste Durchmesser in der Richtung des herrschenden Windes liegt nicht begründet.

2. Es ist wohl recht, dass infolge des herrschenden Windes die Summe der EW-Durchmesser häufig grösser ist als

die Summe der NS-Durchmesser, besonders in älteren Beständen. — Es tritt aber auch das Entgegengesetzte auf.

3. Die Exzentrizität ist in unseren Verhältnissen so gering, dass praktisch genommen, wo die Durchmesser mit der Genauigkeit von 2 cm gemessen werden, es zwecklos ist die Durchmesser übers Kreuz zu messen.

4. Im forstlichen Versuchswesen und bei der Untersuchung wissenschaftlicher Fragen, wo grössere Genauigkeit erforderlich ist, sollte man den grössten und kleinsten Durchmesser unabgesehen der Himmelsrichtung messen, nicht aber die EW- und NS-Durchmesser.

5. In Beständen an Abhängen, die vor dem herrschenden Winde nicht geschützt sind, wo die Baumkronen einander nicht vor Wind schützen, ist der mittlere Durchmesser des Bestandes in der Richtung des herrschenden Windes am grössten. In diesen Beständen müssen die Durchmesser in jedem Falle übers Kreuz gemessen werden und nämlich in der Richtung des herrschenden Windes und perpendicular dazu.

6. In Beständen an steilen, vor Wind geschützten Abhängen, ist der Durchmesser in der Richtung der Horizontale am grössten. Hier müssen die Durchmesser in allen Fällen übers Kreuz gemessen werden und nämlich in der Richtung der Horizontale und Vertikale.