

ÜBER  
DIE FÄHIGKEIT DER BÄUME  
SICH GEGEN STURMGEGFAHR ZU  
SCHÜTZEN

VON

DR. ERKKI LAITAKARI

INSTITUT FÜR WALDBAU AN DER  
UNIVERSITÄT HELSINKI

## ANPASSUNG IN BEZUG AUF STAMM UND KRONE.

### Stammhöhe.

Je kürzer der Stamm eines Baumes ist, um so geringere Gefahr besteht für diesen von Windwurf oder Windbruch betroffen zu werden. Zunächst ist der Hebelarm in diesem Falle kürzer und dann können auch die kleinen Unebenheiten des Erdbodens Schutz bieten oder wenigstens die Windstärke verringern. Die folgenden Zahlen HELLMANS (BRAUN-BLANQUET 1920, S. 120) zeigen deutlich, wie die Windstärke vom Boden nach oben zunimmt. Die mittlere Jahresgeschwindigkeit des Windes betrug auf dem offenen Felde in Nauen in einer Höhe von 2 m 3.29 m/sek., von 16 m 4.86 m/sek. und in 32 m-Höhe 5.54 m/sek. Ähnlich wird für Südirland mitgeteilt, dass dort an der stürmischen Küste die mittlere Windgeschwindigkeit ungef. ebenso gross ist wie auf den Alpengipfeln in 2 000—3 000 m Höhe. Die bekannten Zahlen von STEVENSON (HANN 1915, S. 392) zeigen ebenfalls deutlich, wie die Windgeschwindigkeit bis zu einer Höhe von 15 m zunimmt. Dass die Windstärke auch in grösserer Höhe regelmässig wächst, geht u.a. aus den Zahlen von KALLIO (1926, S. 97) hervor, die auf Beobachtungen an der meteorologischen Station Ilmala bei Helsinki beruhen:

Höhe in m	63	300	500	700	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
Windgeschwindigkeit, Jahresmittel, m/sek.	5.85	7.6	8.5	9.0	9.6	9.8	10.9	12.0	12.4

Im Walde sind natürlich die Windverhältnisse andere als auf freien Flächen. Die Zunahme der Windgeschwindigkeit vom Boden aufwärts bis zu einer gewissen Höhe über den Baumgipfeln ist

natürlich hier viel schroffer als bei den entsprechenden Höhenlagen auf freiem Felde. Das zeigen sehr anschaulich die Messungen von GEIGER (1927, S. 164—165). Nach diesen steigt die Windstärke etwas über dem Erdboden bis zu einer Höhe von einigen Metern, bleibt dann aber bis zu ungef. halber Kronenhöhe ziemlich unverändert um dann zunächst langsam, darauf immer schneller zuzunehmen. In einem alten Kiefernbestand betrug die Windgeschwindigkeit unter den Baumkronen 40 % derjenigen ausserhalb des Waldes.

Wo der Wind von allen Seiten Zutritt hat, wie auf den Felsen in den äusseren Schären, treten die Bäume entweder in Strauchformen oder im Schutze des Bodens in Krüppelformen auf. Auch an anderen Stellen, welche dem Sturme sehr ausgesetzt sind, z.B. am Meere, auf Bergen und Hügeln, erreichen die Bäume nicht die gewöhnliche Höhe.

An der horizontalen Waldgrenze sind die Bestände licht und darum der Einwirkung des Windes stark ausgesetzt. Besonders im Winter macht sich diese sehr stark geltend wie vor allem von KAIRAMO (KIHLMAN 1890) nachgewiesen ist. Während der Boden gefroren ist, steigern die kalten und trockenen Winde die Verdunstung der Bäume in dem Masse, dass die obersten Zweige absterben, da das verdunstete Wasser nicht ersetzt werden kann. Schliesslich bleiben nur diejenigen Teile am Leben, welche durch die Schneedecke geschützt sind. An der äussersten Grenze können die Bäume mattenartige Formen annehmen, welche sich denjenigen des Bodens anpassen, so dass die Wirkung des Windes im Sommer wie im Winter recht gering ist. — In diesem Zusammenhang mag auf einen Umstand hingewiesen werden, der u.a. von KALLIO (1926, S. 45) angeführt worden ist, nämlich dass die mittlere Windstärke jedenfalls vom 20. Breitengrade nach N zu zunimmt.

Auch an der alpinen Waldgrenze erreicht ein Baumbestand nicht die gewöhnliche Höhe, sondern verkrüppelt und wird oft mattenartig. Die Windstärke auf hohen Bergen ist, wie wir aus den obigen Zahlen ersehen können, sehr gross. Die Bäume müssen sich deshalb im Schutze des Bodens halten und können keinen hohen Stamm

entwickeln. In den mitteleuropäischen Gebirgen sind die Bäume an der äussersten Waldgrenze meistens niedrig oder geradezu strauchförmig und nehmen auch unter günstigeren Verhältnissen keine andere Form an. Auf hohen Bergen wirken die Stürme besonders durch Erhöhung der Verdunstung verkümmern auf die Vegetation ein. Die Verdunstung kann in der dünnen Luft und bei der kräftigen Sonnenstrahlung so stark werden, dass der Baum nicht mehr im Stande ist sie zu ersetzen.

Auch wenn ein Baum an besonders exponierten Stellen nicht wächst, ist er durch den Sturm stark bedroht, wenn er nicht an anderen Bäumen in der Nachbarschaft Schutz findet. So entwickeln einzelstehende Bäume keinen hohen Stamm und lichte Bestände wie auch die eigentlichen Weidewälder haben verhältnismässig kurze Stämme.

Es fehlen leider nähere Untersuchungen darüber, wie viel grösser die Windstärke in lichten Beständen ist als in dichten. Die Messungen von GEIGER (1927, S. 174—178) zeigen jedoch, dass Fichtenunterholz in Kiefernbeständen die Windstärke in ungf. 1 m Höhe über dem Boden bedeutend vermindert, dass aber anderseits der Sturm ungehinderter über unterbaute Bestände hinweggeht, während die Luft in nicht unterbauten Beständen das Bestreben hat sich mit der Aussenluft zu vermischen und so eine Verringerung der Windstärke über dem Kronendach veranlasst. — Wir haben hier allerdings nur solche Bestände im Auge, wo der Wind verhältnismässig ungehindert zwischen den Bäumen hindurch streichen kann, wie z. B. in den eigentlichen Weidewäldern, für die ja bekanntlich kurze Stämme besonders charakteristisch sind.

In ausgedehnten Reisermooren mit nur wenig Bäumen sind diese ebenfalls nur kurz. Wenn natürlich auch die Unfruchtbarkeit der Standortes hierfür in erster Linie ausschlaggebend ist, so dürfte doch auch der Einfluss des Windes nicht ohne Bedeutung sein. Da sich nämlich die Bäume in dem weichen Boden nur schwach verankern können, wären hohe Bäume nicht im Stande sich aufrecht zu halten. — Wenn wir die naturnormalen Bestände der ver-

schiedenen Waldtypen an der Hand der Ertragstafeln von Y. ILVES-SALO (1920) mustern, fällt uns auf, wie licht Bestände vom Cladina-Typ im Verhältnis zu den andern sind, wenn wir nämlich Bestände mit einander vergleichen, bei denen die Bäume ihrem Kubikinhalt nach im Durchschnitt gleich gross sind. Der Grund liegt in der Magerkeit des Bodens, die einer dichteren Holzvegetation keine Existenzmöglichkeiten bietet. Die Nährstoffarmut des Bodens hindert die Bäume daran grössere Höhenmasse zu erreichen. Doch können wir annehmen, dass hier auch starke Winde von Einfluss gewesen sind, indem diese lichten Bestände gezwungen waren sich ähnlich wie die Reisermoorwälder dem Winddruck anzupassen u. a. dadurch dass sie viel niedriger blieben. Diese Möglichkeit ist umso wahrscheinlicher als es sich bei den Flechtenheiden ebenso wie bei den Reisermooren um verhältnismässig ausgedehnte, ebene und einheitliche Flächen handelt, wo der Wind eine grössere Kraft entwickeln kann als auf schmalen und zersplitterten Flächen.

Auch sonst können wir an Stellen, wo der Boden mager ist oder andere Faktoren die Entstehung dichter Bestände verhindern, beobachten, dass die Bäume niedrig bleiben. So sind z.B. die Savannenwälder, oder genauer die Bäume auf Savannen niedrig ebenso auch in Halbwüsten, mag es sich nun um gemässigte oder tropische Zone handeln. Es ist nämlich für diese oft sehr wichtig sich nach Möglichkeit der Einwirkung des Windes zu entziehen. Ausser der mechanischen Wirkung kann nämlich auch der die Verdunstung steigernde Einfluss des Windes gefährlich werden. Wir finden allerdings in Südastralien subtropische Savannenwälder mit hohen Eucalyptusbäumen. Doch stehen nach den Beschreibungen zu urteilen (vgl. SCHIMPER 1898, S. 527) diese Bäume verhältnismässig dicht bei einander, so dass sie sich bei Sturm stützen können, wenn sich auch das Laubwerk nicht unmittelbar berührt, und dann lassen sich die verzweigten Bäume dieser Savannenwälder wohl kaum in der Höhe mit den schlanken, riesigen Stämmen der Eucalyptusbäume in waldbaulich begründeten Beständen vergleichen (vgl. KOTZÉ u. HUBBARD 1928).

Die geringe Höhe der Bäume an Stellen, die dem Winde ausgesetzt sind, hat natürlich viele Ursachen, auf die wir oben schon teilweise hingewiesen haben. In erster Linie ist hier die mechanische Wirkung des Windes zu nennen, welche das Höhenwachstum hemmt. Ein zweiter wichtiger Umstand ist die verhältnismässig kräftige Ausbildung der Krone in Beständen, welche an solchen Standorten im allgemeinen licht sind, und als Folge davon die schwächere Entwicklung des Stammes. Da weiter das Befestigungsorgan des Baumes besonders stark in Anspruch genommen wird, ist vor allem zur Verstärkung des Wurzelwerkes so viel Baumaterial erforderlich, dass auch dadurch die Entwicklung des Stammes geschwächt wird. Ausserdem konzentriert sich das Wachstum des Stammes zwecks Befestigung auf den basalen Teil (vgl. weiter unten), so dass der Höhenzuwachs des Stammes zurückbleibt. Doch besteht auch die Möglichkeit, dass ein Baum, wenn das Wurzelwerk aufs äusserste in Anspruch genommen ist und der Baum eine verhältnismässige Höhe erreicht hat, sich mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln gegen die Gefahr des Umstürzens sichern muss. Und eins der sichersten Mittel in dieser Beziehung ist gerade die Beschränkung des Höhenzuwachs. Dieser würde demnach nicht nur durch die mechanische Einwirkung des Windes, sondern auch durch innere Gründe, welche mit der Sicherung der Existenz des Baumes zusammenhängen, verlangsamt.

#### K r o n e.

Die dichte Stellung der Bäume wirkt, wie oben schon erwähnt wurde, förderlich auf den Höhenzuwachs derselben ein. Jedes Baumindividuum muss versuchen seine Krone in der Höhe der obersten Kronenschicht frei zu halten, wenn es nicht durch andere Individuen im Lichtgenuss beeinträchtigt werden soll. Wenn aber ein Baum allein wächst, fällt dieser Zwang fort; auch findet keine Seitenbeschattung statt, so dass die untersten Zweige genügend Licht erhalten. So entwickelt sich die Krone eines allein wachsenden Bau-

mes anders als bei einem Baume, der im Bestande wächst. Ein grosser Teil der Wuchsenenergie wird zur Bildung der Zweige und Blätter verbraucht und der Anteil des Stammes wird geringer. Ausserdem ist es besonders bei Laubbäumen sehr gewöhnlich, dass der Stamm sich in mehrere Teile gabelt und diese wieder in Seitenäste. Von unsern Nadelbäumen zeigt die Kiefer, wenn sie allein wächst, Neigung sich zu gabeln, doch trifft man nicht selten auch allein stehende Fichten, welche stark gegabelt sind, wobei jedoch die Haupttriebe vertikal wachsen. Die Gabelung ist natürlich schon an sich geeignet das Höhenwachstum des Baumes zu verringern; die gleiche Wirkung hat auch, wie oben erwähnt wurde, eine kräftige Ausbildung der Krone.

Weiter ist die Ausbildung der Krone zum Teil ein Ergebnis der unmittelbaren Einwirkung des Windes, andererseits aber auch des Bestrebens bei dem Baume sich nach Möglichkeit gegen den Wind zu schützen.

Wenn wir z.B. die Krone einer frei wachsenden Fichte betrachten, so sehen wir, dass sie sich sehr geschickt gegen den Einfluss des Windes zu schützen verstanden hat. Ihre Zweige reichen zunächst ganz oder fast ganz bis zum Boden und wenn diese dann auch bis zu einer Höhe von etwa 2 m vertrocknen und abfallen, so hängen doch die niedrigsten Zweige unter dem eigenen Gewicht bis fast auf den Boden herab. So verlagert sich der Schwerpunkt der Krone möglichst nahe zum Erdboden hin, was noch besonders durch die spitze Form der Krone betont wird. Die Fichte bildet ja selten eine kalottenförmige Krone, jedenfalls ist der basale Teil viel breiter als der obere (vgl. das Zitat aus KAIRAMOS Arbeit auf S. 13—14 dieses Aufsatzes). Der Baum sucht gewissermassen auf dem Boden Schutz gegen den Wind. Diese Eigentümlichkeit ist besonders deutlich z.B. auf den Abhängen der Fjelde und an der Waldgrenze in Lappland ausgeprägt. Dort ist die Krone der Fichte im Basalteil des Baumes so dicht, dass es fast unmöglich ist an den Stamm heranzukommen. An der Waldgrenze schlagen die auf den Boden herabhängenden Zweige ausserdem häufig (schon in Süd-Suomi kann man das hier

und da beobachten) Wurzeln und verstärken auf diese Weise direkt den Baum gegen die Einwirkung des Windes. So erwähnt KAIRAMO (KIHLMAN 1890, S. 67) in bezug auf die Fichte an der Waldgrenze: »... und diese Festigkeit wird noch durch das so gewöhnliche Auswachsen zahlreicher bewurzelter Seitentriebe aus den untersten Zweigen beträchtlich erhöht».

Zu erwähnen ist weiterhin noch, dass die Zweige der Fichte, auch wenn sie mehrere Meter lang sind, verhältnismässig dünn und biegsam sind. Die winkelrecht gegen die Windrichtung stehenden Zweige können so bei starkem Sturme in weitgehendem Masse nachgeben, so dass die vom Sturme betroffene Fläche sich natürlich verschmälert. Diese Eigenschaft besitzen frei wachsende dickästige Kiefern nicht, Birken jedenfalls nicht in demselben Grade wie Fichten.

Verringert wird die vom Winde angegriffene Fläche auch durch den Umstand, dass die Zweige einer grossen Fichte im allgemeinen etwas herabhängen. Dadurch wird das Gewicht der Zweige näher an den Stamm verlagert als z.B. bei dem steifen Zweigwuchs der Kiefer.

Die Fichte bedarf dieses Schutzes, den die Form der Krone bietet, in besonderem Masse. Vor allem ist ja sowohl das Zweigwerk als die Benadelung bei diesem Baume recht dicht (die Fichte ist der einzige Baum bei uns, unter dem man Schutz vor Regen suchen kann) und bietet also dem Winde eine gute Angriffsfläche. Auch sind die vertikalen Wurzeln bei der Fichte verhältnismässig schwach, wenn auch nicht immer so schwach, wie allgemein in der Literatur behauptet wird (vgl. z.B. LAITAKARI 1927, Referat S. 378 und VOLGER 1926). Drittens wächst die Fichte im allgemeinen auf frischen Böden, wo die Wurzeln den Baum nicht genügend verankern können.

Die Krone der Kiefer formt sich, wenn der Baum frei wächst, wesentlich anders als bei der Fichte. So reichen die Zweige nicht bis zum Boden, weswegen der Schwerpunkt der Krone nicht sehr tief liegt. Doch wird der Stamm alleinstehender Kiefern nicht in derselben Höhe astrein wie in geschlossenem Bestande. Die Krone

wird oben rundlich oder flach, die Zweige entwickeln sich sehr kräftig und erstrecken sich in horizontaler Richtung weit vom Stamme. So erinnert die Krone der Kiefer in den äussersten Fällen an einen Schirm und bietet, da sie dem Wind nur einen schmalen Rand entgegenhält, diesem keinen besonders grossen Widerstand. Die Gabelung des Hauptstammes, die an exponierten Stellen nicht selten ist, trägt dazu bei das ausgedehnte Zweigwerk gegen den Sturm zu verstärken. — Auch wenn sich die Krone der Kiefer nicht schirmförmig entwickelt, bietet sie dem Winde doch keine feste Angriffsfläche, da das Zweigwerk und die Benadelung undicht sind (besonders bei den Kiefern auf Reisermooren) und den Wind durchlassen. Dazu kommt noch der Umstand, dass die Krone der Kiefer oft zwischen dichteren Zweiggruppen Lücken aufweist, durch die der Wind ungehindert hindurchstreichen kann. Im allgemeinen spielt die Kronenform bei der Kiefer keine so grosse Rolle wie bei der Fichte, da ihr Wurzelsystem meist recht stark ist, so dass auch bei grösseren Kronen die Gefahr des Windwurfs nicht gross ist. Auch wächst die Kiefer, abgesehen von Reisermooren, auf Standorten, wo sich das Wurzelwerk gut verankern kann.

Die Birke hat gegenüber der Sturmgefahr in ihrer Krone besondere Vorteile, welche der Fichte und Kiefer fehlen. Vor allem ist sie im Winter kahl und leidet dann nicht nennenswert unter Stürmen und, was noch wichtiger ist, zur Zeit der Frühlings- und Herbststürme ist sie entweder noch kahl oder die Blätter sind noch so klein oder sitzen schon so lose, dass der Wind sie leicht loslöst. Auch im Sommer reisst ein heftiger Sturm soviel Blätter ab, dass der Widerstand, den die Krone bildet, etwas geringer wird. Dieser Widerstand ist auch sonst nicht gross, denn das Laubwerk der Birke ist bekanntlich auch bei sehr schattigen und frei wachsenden Bäumen licht.

Eine frei wachsende Birke ist gewöhnlich bis zu einer Höhe von einigen Metern astrein. Die Zweige werden lang und kräftig, der Stamm gabelt sich oft oder einige Äste wachsen sich so kräftig aus, dass sie mit dem Hauptstamm konkurrieren oder diesen beherrschen. Besonders für *Betula odorata* sind grosse und steife Zweige charak-

teristisch. In einer Gegend, wo eine gute Birkenrasse herrscht, kann man jedoch einzel stehende Exemplare (besonders von *Betula verrucosa*) finden, deren Stamm tadellos ist und wo die Zweige dünn sind und erst in ziemlicher Höhe über dem Erdboden beginnen. In diesem Falle ist die Krone im ganzen ziemlich gedrückt. — Wenn die Zweige der Birke nicht grob und ähnlich wie die Gabelungen des Stammes sind, geben sie im Winde nach, so dass die vom Wind betroffene Fläche dann, wie bei der Fichte klein wird. — Das Wurzelsystem der Birke ist bis jetzt kaum untersucht worden (vgl. LAITAKARI 1927, Referat S. 379), doch scheint es auf jeden Fall den Baum fester im Boden zu verankern als das der Fichte. So kann der Schwerpunkt der Krone höher als bei der Fichte liegen, ohne dass dies dem Baume schädlich würde, besonders da die Krone sehr licht ist.

Was die Kronenformen in entlegeneren Ländern betrifft, so wird in der Literatur erwähnt, dass einzelstehende Bäume oft schirmförmige, flache Formen haben. Diese werden z.B. durch die *Pinus*-Arten und Zedern an der Mittelmeerküste sowie durch die Schirmakazien der afrikanischen Savannen und südindischen Wüsten vertreten. Auch die Adansonien der afrikanischen Savannen gehören zu diesem Typ. Ganz den entgegengesetzten Typ vertritt die Zypresse (*Cupressus sempervirens*) der Mittelmeerländer, deren schmale Formen sehr windfest sind. Eine Entsprechung dazu bildet unsere Fichte (in gewissen Fällen auch die Kiefer), die in Lappland oft eine sehr schmale und spitze Krone hat (vgl. ARNDT 1928). Bei einigen Bäumen der südlicheren Länder trifft man auch Etagenausbildung der Krone, eine Erscheinung, die bei unserer Kiefer und auch bei der Fichte bisweilen zu beobachten ist. Fichten und Tannen mit sehr schmalen Kronen findet man auch in Nordamerika, auch Kiefernarten mit spitzen Kronenformen (z.B. *Pinus monticola*) kommen dort vor.

An Stellen, die dem Winde sehr ausgesetzt sind und wo eine bestimmte Windrichtung herrscht, z.B. in den mitteleuropäischen Gebirgen und an der Meeresküste, passen sich die Kronen der Bäume

auch auf andere Weise dem Sturme an. So entwickeln sie auf der dem Winde ausgesetzten Seite kaum Zweige und die Stämme neigen sich oft stark in der herrschenden Windrichtung (vgl. SCHIMPER 1898, S. 86 CAJANDER 1916, S. 106—117; KLEIN 1913, S. 375, 441). Hier ist natürlich auch die mechanische Wirkung des Windes von grosser Bedeutung. Ausserdem steigert dieser die Transpiration und übt dadurch eine austrocknende Wirkung aus. Doch kann man in diesem Falle auch eine Anpassung an die Verhältnisse deutlich beobachten. — Als Parallelerscheinung sei beiläufig erwähnt, dass auch das Längenwachstum der horizontalen Wurzeln in der Hauptsache sich dahin konzentriert, von wo am seltensten der Wind kommt (LAIKAKARI 1927, Referat S. 341).

Einige grossblättrige Gewächse der südlichen Länder wie die Bananen werden dadurch windfest, dass ihre Blätter durch den Sturm zerfetzt werden, ohne dass ihre Funktion dadurch irgendwie beeinträchtigt würde.

Wir haben oben, als wir von der Kronenbildung sprachen, in erster Linie frei wachsende Bäume im Auge gehabt. Im Bestande, besonders wenn dieser dicht ist, schützen sich die Bäume im allgemeinen gegenseitig so, dass die Kronen nicht windfest zu werden brauchen. Fast alle Bäume entwickeln dabei eine Krone, welche verhältnismässig hoch über dem Boden steht. Von unseren Holzarten ist jedoch die Fichte offenbar zur Astreinigung am wenigsten geneigt, ein Faktor, der z.B. bei plötzlicher Durchlichtung eines Bestandes für diesen Baum oft von Vorteil sein kann. — Eine Fichte, die in einem dichten Bestande aufgewachsen ist und ihre Äste bis zu einer ziemlichen Höhe über dem Erdboden abgeworfen hat, hat jedoch einen schweren Stand, wenn sie plötzlich isoliert wird. Der Schwerpunkt der Krone liegt dann unbedingt zu hoch und diese strebt, sobald sie von allen Seiten Licht erhält, danach immer breiter zu werden. Natürlich befinden sich Kiefer und Birke in der gleichen Lage, ihre Kronen sind jedoch viel lichter und die Verwurzelung fester.

### Stammform.

Neben der Höhe und Kronenform ist natürlich auch die Stärke und Form des Stammes von grosser Bedeutung für die Windfestigkeit eines Baumes. In einem dichten Bestande entwickeln sich hohe, schlanke, gleichmässig dicke Stämme, die oft nur eine schopfförmige Krone haben. Die schwächsten Individuen haben, indem sie zum Licht streben, fast kein Dickenwachstum, sondern bleiben dünne Peitscher. Solche Bäume sind natürlich am wenigsten windfest. Im lichterem Bestande werden die Baumkronen viel grösser und auch die Stämme viel stärker, besonders der Teil des Stammes unterhalb der grünen Krone, während der Kronenteil des Stammes verhältnismässig schnell sich verschmälert. Wenn die Krone fast bis auf den Boden reicht, entwickeln sich die Stämme stark im Basalteil und werden dann leicht kegelförmig, »zuckerhutartig«, was natürlich aus waldbaulichem Gesichtspunkt sehr wenig wünschenswert ist. Man ist deshalb bestrebt die Bestände genügend dicht zu begründen und zu erziehen, und wenn eine Krone sich zu nahe nach dem Boden hin entwickelt, durch Ausästung nachzuhelfen.

Es ist nicht zu bezweifeln, dass der Wind von grossem Einfluss auf die Kronenbildung und damit auch auf die Stammbildung ist. Einige Forscher (besonders METZGER) sind sogar so weit gegangen, dass sie den Wind als den wichtigsten Faktor bei der Stammbildung betrachten. Auf METZGERS Theorie fusst die Formpunktmethod von JONSON (vgl. JONSON 1912).

Ein kegelförmiger Stamm ist für einen Baum mit grosser Krone die vorteilhafteste Stammform. Eine solche Stammform in Verbindung mit einer kegelförmigen Krone kann auch die Fichte sehr windfest machen, wie z.B. KAIRAMO (KIHLMAN, 1890, S. 67) für die Waldgrenze in Lappland nachgewiesen hat. Er schreibt darüber: »Nach meinen Erfahrungen in Lappland ist die Gewaltthätigkeit des Sturmes viel geringfügiger, als man dieses nach der Häufigkeit und der rasenden Wut seiner Angriffe erwarten könnte. Selbst die Fichte, die durch ihre flache Wurzelgestaltung und dichte Benadelung wohl

am meisten gefährdet erscheint, hat durch die breit konische Form sowohl des Stammes als des Astwerkes genügende Festigkeit gewonnen . . . Überhaupt war ich erstaunt zu sehen, wie selten die parkähnliche Sauberkeit der Fichtenbestände an der Baumgrenze durch Windbruch gestört wurde . . .» Obwohl die Fichte an der Waldgrenze in Lappland vor allem in ihrer geringen Höhe einen guten Schutz gegen die Einwirkung der Stürme besitzt, ist es für waldbauliche Massnahmen im allgemeinen von Wichtigkeit darauf hinzuweisen, dass eine Fichte mit breit kegelförmiger Stamm- und Kronenform die besten Voraussetzungen besitzt sich gegen Stürme zu schützen.

Wenn sich ein Baumstamm gabelt, wie das bei frei wachsenden Laubbäumen, aber auch bei Kiefern häufig der Fall ist, ist der Basalteil des Stammes bis zur Gabelungsstelle oft sehr dick. Die ungewöhnlich hohen Umfangszahlen, die man oft für grosse Bäume angegeben findet (die eigentlichen Baumriesen ausgenommen), beziehen sich gerade auf solche Bäume. Wegen ihrer oft sehr ausgedehnten Krone und ihres schweren Astwerkes ist ein solcher dicker Basalteil auch unbedingt notwendig für sie.

Aber auch bei normaler Ausbildung des Stammes und der Krone, also bei Bäumen, die im Bestande gewachsen sind, können wir eine eigentümliche Entwicklung des Basalteiles feststellen. Es handelt sich hier nicht um eine Erweiterung des Wurzelhalses, von der weiter unten die Rede sein soll, sondern um den sogen. Wurzelanlauf, der eine ziemliche Höhe erreichen kann. Wenn man die Stammkurve eines Baumes betrachtet, sieht man, dass der Teil, welcher den Fuss des Stammes wiedergibt, in seiner Form von der übrigen Kurve abweicht. Wenn man eine Stammkurve im Basalteil des Baumes nach ihrem »normalen« Verlauf verlängert, fällt die Figur, welche den Durchschnitt des Wurzelanlaufes auf einer Seite des Baumes darstellt, ausserhalb der Kurve. Der Wurzelanlauf erstreckt sich bis zu dem Punkt (Inflektionspunkt), wo die konkave Kurve in die konvexe Stammkurve übergeht.

Die Untersuchungen SCHIFFELS (1905) über die Lärche zeigen, dass der Wurzelanlauf sich bei dieser Holzart um so höher erstreckt,

je kleiner der Formquotient ist. In der gleichen Formquotientklasse wiederum wird er um so höher, je höher der betr. Baum ist. In den äussersten Fällen erreicht der Wurzelanlauf nach SCHIFFELS Tabellen sogar eine Höhe von 6 m.

In ihren Untersuchungen über die Form der Sägestämme in Norwegen haben ARCHER (1920) und EIDE (1922) unabhängig von einander festgestellt, dass der Einfluss des Wurzelanlaufes auf das Volumen der Sägestämme in dem Masse wächst, wie der Durchmesser am oberen Ende des Stammes zunimmt, aber mit der Länge desselben abnimmt. Nach den mitgeteilten Stammkurven scheint der Wurzelanlauf eine Höhe von wenigstens  $2\frac{1}{2}$  m von der Basis der Sägestämme gerechnet erreichen zu können. In dem Wassergebiet von Trøndelag, auf das sich die Untersuchungen von EIDE beziehen, ist der Wurzelanlauf stärker entwickelt als weiter südlich. Nach den Ergebnissen von EIDE war der Einfluss des Wurzelanlaufes auf das Stammvolumen bei der Fichte grösser als bei der Kiefer. Die Zahlen von ARCHER ergeben jedoch das Gegenteil. Es sei noch darauf hingewiesen, dass in dem nördlichen Teil des von EIDE untersuchten Gebietes der Wurzelanlauf grösser war, obwohl die Form der Bäume hier bedeutend besser war als in dem südlichen Teile.

In seinen Untersuchungen über die Form der Fichte hat JONSON (1910) beobachtet, dass der Wurzelanlauf im Mittel um so grösser wird, je mehr die Höhe des Baumes zunimmt. Eine direkte Korrelation zwischen Formklasse und Wurzelanlauf ist jedoch nicht festgestellt.

HILDÉN (1926) hat in seinen Untersuchungen über die Birke in Nordkarelien nachgewiesen, dass die Grösse des Wurzelanlaufes mit dem Anwachsen der Höhe und des Durchmessers des betr. Baumes zunimmt und dass der Wurzelanlauf bei Bäumen mit ungef. gleicher Höhe, Durchmesser und Krone bedeutenden Schwankungen unterworfen ist. Aus HILDÉNS Zeichnungen geht weiter hervor, dass in der Höhenklasse 21.1—23.0 der Wurzelanlauf bei manchen Bäumen eine Höhe von 5 m und darüber hinaus erreicht. — Eine Korrelation zwischen dem Wurzelanlauf und der Kronenlage, vom Boden gerechnet, liess sich nicht feststellen.

Die Gründe, welche die Ausbildung des Wurzelanlaufes bedingen, sind vorläufig noch nicht klargestellt. EIDE (1922) hat z.B. nicht zu zeigen versucht, warum der Wurzelanlauf bei der Fichte im nördlichen Teile des von ihm untersuchten Gebietes bedeutender ist als im südlichen. JONSON (1910, S. 308\*) meint, dass der Basalteil eines Baumes keine besondere Verstärkung gegen Windbruch notwendig habe, da sie sich nicht bei allen Bäumen findet. Als Zweck des Wurzelanlaufes sieht er die Verankerung des Baumes im Boden an. Die freie Stellung, bedeutende Höhe und Grossgipfeligkeit eines Baumes werden als Faktoren angeführt, welche die Verstärkung durch den Wurzelanlauf notwendig machen, auch ist ein Baum mit flachem Wurzelsystem in grösserem Masse dieser Verstärkung bedürftig als ein Baum mit einer Pfahlwurzel. — Es scheint, als wenn JONSON hier vor allem eine durch den Wurzelhals veranlasste Erweiterung im Auge habe, aber keinen eigentlichen Wurzelanlauf, denn er spricht von dem Übergang zwischen Wurzel und Stamm. — Ein Wurzelanlauf, wie wir ihn meist bei der Kiefer finden, wo diese durch die Erhebung des Wurzelhalses veranlasste Erweiterung nicht vorhanden ist, scheint für die Verankerung des Baumes keine grosse Bedeutung zu besitzen, während er für die Befestigung des Stammes ohne Zweifel von Wichtigkeit ist. Wenn ausserdem nach ARCHER (1920) im südlichen Norwegen der Wurzelanlauf bei der Kiefer grösser ist als bei der Fichte, so scheint doch die Aufgabe des Wurzelanlaufes (nicht der durch den Wurzelhals bedingten Erweiterung) vor allem in der Befestigung des Stammes zu bestehen. Wenn er sich nicht bei allen grossen Bäumen findet, so lässt sich dies durch die Lage der betr. Bäume erklären. Auf jeden Fall muss man annehmen, dass ein Baum sein Baumaterial nicht auf eine so eigenartige Stelle konzentrieren würde, wenn diese nicht die Aufgabe hätte die Festigkeit des Baumes in erster Linie gegen Windgefahr zu erhöhen. Diese Vermutung wird auch durch die übereinstimmende Beobachtung aller oben erwähnten Forscher bestätigt, dass der Wurzelanlauf mit der Höhe des Baumes zunimmt.

#### ANPASSUNG IN BEZUG AUF DAS WURZELSYSTEM.

Von der Beschaffenheit des Wurzelsystems hängt natürlich in erster Linie die Verankerung des Baumes im Erdboden und damit auch seine Windfestigkeit ab. Am besten wird ein Baum ohne Zweifel durch ein Wurzelsystem im Erdboden befestigt, dessen mittlerer Teil aus einer starken Hauptwurzel besteht, welche gewissermassen die direkte Fortsetzung des Stammes nach unten bildet, die sog. Pfahlwurzel. Wenn, um ein naheliegendes Beispiel hier anzuführen, eine Flaggenstange von 20—30 m Länge ohne Bodenverstrebung aufgerichtet werden soll, so muss sie statt dessen ein Stück in den Boden gesetzt werden. Nun können jedoch auch hohe Bäume ohne Pfahlwurzel sich sehr fest im Boden verankern. In diesem Falle bilden die nach allen Seiten sich ausbreitenden, an der Basis sehr starken horizontalen Wurzeln die Stütze des Stammes und diese ihrerseits werden wieder durch die zahlreichen horizontalen und vertikalen Seitenwurzeln und ihre Verzweigungen befestigt. Aber auch Bäume mit starker Pfahlwurzel haben noch starke horizontale Seitenwurzeln zur Verstärkung der Befestigung.

Die Pfahlwurzel der Kiefer ist allgemein bekannt, doch ist auch gerade für die nordischen Länder festgestellt worden, dass sie sich bei diesem Baum keineswegs immer findet (vgl. z.B. CAJANDER 1917, S. 291—293, AALTONEN 1920 S. 28; LAITAKARI 1927, Referat S. 360—363; ROMELL 1928, S. 143). Es gibt ausserdem viele andere Wurzelsysteme. So kann ein Baum in der Nähe der Basis reichlich und fast gleich starke Vertikalwurzeln entwickeln, das Zentralwurzelsystem kann ein verwickeltes, reich verzweigtes Wurzelgeflecht bilden und schliesslich kann ein tiefer dringendes Wurzelsystem auch ganz fehlen, ohne dass der Boden ein Hindernis bildet (vgl. LAITAKARI 1927, Referat S. 368—369). In solchen Fällen, wo die Befestigungswurzeln schwach sind, müssen die horizontalen Wurzeln in immer höherem Grade die Verankerung des Baumes übernehmen. Zu diesem Zwecke verdicken sie sich an der Basis stark und um den Baustoff möglichst vorteilhaft zu verwenden entwickeln sie sich

flach in vertikaler Richtung. Dass diese Abplattung zur Verstärkung des Wurzelsystems dient, geht u.a. daraus hervor, dass sie bei Keimpflanzen und ganz jungen Baumindividuen kaum festzustellen ist, auch nimmt sie mit der Wurzeltiefe ab und findet sich nur bis zu einer Entfernung von etwa 1.5 m vom Stamm. Ausserdem ist die Abplattung der Wurzelbasen, sowohl was ihre Häufigkeit wie auch den Grad betrifft, um so ausgeprägter, je grösser die betr. Durchmesserklasse ist. Es hat sich auch gezeigt, dass die horizontalen Wurzeln gewöhnlicher bei solchen Kiefern abgeplattet sind, die keine Pfahlwurzel oder sonst kein starkes Tiefenwurzelsystem haben. Besonders allgemein scheint Abplattung der Wurzelbasen bei Reisermoorkiefern zu sein, worauf schon CAJANDER (1916, S. 106) in seinem Lehrbuch »Metsänhoidon perusteet« hingewiesen hat. Aber auch für trockene Böden trifft das zu, was oben über die Häufigkeit dieser Erscheinung bei Bäumen ohne Pfahlwurzeln gesagt ist. Weiter hat sich gezeigt (LAIKAKARI 1927, Referat S. 347), dass die Wurzeln an der Basis bei solchen Bäumen ohne Pfahlwurzeln verhältnismässig stärker sind (verglichen mit dem Brusthöhendurchmesser). — Obwohl bei uns im allgemeinen keine so ausgesprochene Windrichtung vorherrscht wie in einigen anderen Ländern, kann man doch für die Sommerzeit gewisse Hauptwinde feststellen; im Winter, wo der Boden gefroren ist, können ja die Stürme kaum auf die Wurzelentwicklung einwirken. Es erscheint a priori sehr wahrscheinlich, dass in einem Wurzelsystem, das sich möglichst windfest zu gestalten sucht, die herrschende Windrichtung festzustellen ist. Dabei ist die relative Dicke der Wurzeln an der Basis und ihre Abplattung zu beachten. Wenn sich nun in dieser Beziehung etwas feststellen lässt, ist das ein Beweis dafür, dass die obenerwähnten Eigenschaften der Wurzeln die Anpassung an die herrschende Verhältnisse zum Ausdruck bringen. Meine Untersuchungen (LAIKAKARI 1927, Referat S. 348) haben deutlich erwiesen, dass die dicksten (horizontal gemessen) und am stärksten abgeplatteten Wurzeln bei einem Baume immer genau gegenüber wachsen und zwar so, dass sich die letzteren auf der Seite der herrschenden Windrichtung, die ersteren dagegen auf der ent-

gegengesetzten Seite befinden. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung durch die verschiedene Inanspruchnahme der Wurzeln auf den verschiedenen Seiten eines Baumes. Auf der dem Winde zugekehrten Seite handelt es sich vor allem um Zugfestigkeit, auf der entgegengesetzten Seite um Druckfestigkeit. Wenn man bedenkt, dass die letztere bei einer Kiefer in radialer Richtung 2—3 mal kleiner ist als die Zugfestigkeit, wird es verständlich, dass die Wurzeln auf der dem Winde abgekehrten Seite dicker sind. Da auf dieser Seite ausserdem Biegung der Wurzeln eintritt, ist Abplattung derselben natürlich ebenfalls vorteilhaft. Auf der Windseite wiederum genügen, was die Zugfähigkeit anbelangt, die dünneren Wurzeln, die auch hier durch ihre Abplattung gegen Biegung geschützt sind. — Die abweichende Wurzelbildung auf den verschiedenen Seiten eines Baumes findet auch durch die verschiedene Einwirkung des Windes ihre Erklärung. Auf der dem Winde zugekehrten Seite sind die Wurzeln infolge der Zugspannung dünner und abgeplatteter als auf der entgegengesetzten Seite, wo die Druckwirkung die Wurzeln gewissermassen komprimiert und dadurch verdickt. — Diese Abplattung der Wurzeln auf der Windseite ist für eine Pappelart in Schweden auch von ROMELL (1928, S. 142) beobachtet worden.

Über die Abplattung der Wurzeln der Fichte liegen noch keine Untersuchungen vor. Die Fichten, welche Verf. auf diese Erscheinung hin untersuchte, waren fast ausschliesslich kleine Unterholzbäume, bei denen sich natürlich diese Erscheinung kaum erwarten liess. Besondere Beachtung verdient jedoch eine Beobachtung von HEIKINHEIMO (1920, S. 5), die um so beachtenswerter ist, als sie von ihm bei den Untersuchungen über die Bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln gemacht wurde. Danach sind die vom Wurzelhals ausgehenden Hauptwurzeln fast ausnahmslos höher als in den entsprechenden Verhältnissen bei der Kiefer. Besonders auf Bruchmooren wie überhaupt auf nassen Böden ist diese Erscheinung nach HEIKINHEIMO sehr deutlich festzustellen. Unter Höhe der Wurzeln versteht er natürlich die Eigentümlichkeit, dass der vertikale Durchmesser grösser ist als der horizontale.

Auf Grund des oben Angeführten verdient diese Beobachtung HEIKINHEIMOS, die ich früher nicht beachtet habe, besonderes Interesse, und ihre Stichhaltigkeit wird durch meine Untersuchungen vollauf bestätigt. Wenn die Horizontalwurzeln bei Kiefern, die keine Pfahlwurzel besitzen oder sonst ein schwaches Tiefenwurzelsystem haben, an der Wurzelbasis im allgemeinen abgeplatteter sind als bei solchen mit Pfahlwurzeln, so muss es durchaus einleuchten, dass die Wurzeln der Fichte sehr stark abgeplattet sind, da bei dieser Holzart fast immer die Pfahlwurzel fehlt und auch sonst das Tiefenwurzelsystem recht schwach ist. Auf nassen Standorten bildet auch die Kiefer stark abgeplattete Wurzeln, so dass die gleiche Erscheinung bei der Fichte uns nicht verwundern kann.

Das oben Gesagte stimmt gut zu dem Bilde, das wir bei einer Untersuchung des Wurzelwerkes von Fichten erhalten, welche der Sturm geworfen hat.

Über das Wurzelsystem der Birke wissen wir, wie schon erwähnt wurde, nur wenig. Nur soviel können wir als sicher annehmen, dass es den Stamm im allgemeinen besser verankert als die Wurzeln der Fichte. Darauf deutet schon die verhältnismässig tiefe Lage der horizontalen Wurzeln und ihr Bestreben hin an der Wurzelbasis schräg nach unten zu wachsen um dann später wieder mehr an die Oberfläche zu steigen (vgl. LAITAKARI 1927, Referat S. 379—380). Jedenfalls sind auch die Wurzeln der Birke an der Wurzelbasis abgeplattet. Es seien hier einige Beispiele für Wurzelmasse am Wurzelhals einer Birke, die auf flachgründigem Moränenboden gewachsen ist, angegeben (horiz. Mass  $\times$  vertik. Mass in cm): 49  $\times$  94, 39  $\times$  90, 29  $\times$  60, 50  $\times$  101, 22  $\times$  44, 39  $\times$  94.

In diesem Zusammenhang sei noch ein Vorgang erwähnt, welcher zwar für unsere einheimischen Holzarten sehr wenig untersucht ist, der jedoch für die hier behandelte Frage von grosser Bedeutung ist, nämlich die Erscheinung, dass der Wurzelhals und teilweise auch die Wurzeln sich über den Erdboden erheben. Diese Erscheinung ist bei der Kiefer nur selten zu beobachten, im allgemeinen berühren die Seiten des Stammes hier den Boden ziemlich gerade, während

diese Erhebung bei der Fichte sehr gewöhnlich und auch bei der Birke häufig festzustellen ist. In dem früher erwähnten Falle (ROMELL 1928, S. 142), der eine Pappel betraf, hatte sich der Wurzelhals (auf der Seite der herrschenden Windrichtung) ebenfalls bedeutend in die Höhe entwickelt.

Ohne Zweifel besitzen auch in dieser Eigentümlichkeit die Bäume ein Mittel sich gegen Sturmgefahr zu schützen (vgl. JONSON 1910, S. 308\*, und was oben darüber gesagt ist). Denn die Verlegung der Stütze bedeutend über den Boden trägt natürlich auch dazu bei, den Baum stark zu befestigen. Der Vergleich mit dem »Plankengerüst« bei Bäumen in wärmeren Ländern liegt hier sehr nahe (vgl. CAJANDER 1916, S. 105). Auch die Abplattung der Wurzelbasen ist eine ähnliche Erscheinung, aber hier kann man ohne graben zu brauchen eine Art Entsprechung feststellen. Bei der Fichte kann diese Erhebung des Wurzelhalses über dem Boden (die man aber nicht mit dem oben behandelten Wurzelanlauf verwechseln darf) bis zu einem halben Meter betragen, wenn es sich um einen grossen Sägestamm handelt, und die Wurzeln können bis zu einer Entfernung von ca 2 m vom Stamme teilweise über dem Boden verlaufen. Nach meinen Beobachtungen findet man diese Erhebung in dichten Beständen nicht sehr deutlich ausgebildet, abgesehen vielleicht von Bruchwäldern. Dagegen ist sie gewöhnlich bei frei oder in lichtigem Bestand wachsenden Fichten. Diese Tatsachen wie auch der von ROMELL (1928) angeführte Fall deuten also ohne Zweifel auf den Zweck der Erhebung hin, nämlich den Stamm zu stützen. Von unsern Waldbäumen bedarf gerade die Fichte diesen Zuschuss an Stütze durchaus. Bei der Birke beobachtet man die erwähnte Bildung besonders deutlich auf nassen Böden, kaum aber auf trockenen. Bei Bruchmoorbirken können die Wurzelhäuse als eine Art Pfeilerförmiger Seitenverstrebung noch höher reichen als bei der Fichte, aber sie bilden dann im allgemeinen keine so breite Erweiterung. — ROMELL (1928, S. 142) erwähnt, dass bretterwurzelartige (offenbar über den Boden sich erhebende) Bildungen ausser bei Pyramidenpappeln auch bei Erlen und Buchen (wahrscheinlich in

Schweden) festgestellt sind. Für die Plankengerüste der Pyramidenpappel liegen auch aus Deutschland (Potsdam) Angaben vor (HERBERG 1923, S. 240—241). Es handelt sich in diesem Falle um Parkbäume. Nach den Abbildungen zu schliessen erreichte diese Stützbildung eine Höhe von ungf. 2 m. Auch für die Plankengerüste von *Ulmus campestris* kenne ich vier Angaben in der Literatur, alle aus Deutschland (VON SCHWERIN 1922, S. 74; LÜSTNER 1923, S. 241; BERCKLING 1923, S. 241; FREUND 1926, S. 317). Weiter liegt eine ähnliche Beobachtung für *Carpinus betulus*, ebenfalls aus Deutschland vor (VON SCHWERIN 1922, S. 74).

Oben wurde schon auf die »Plankengerüste«, »Brettergerüste« bei Bäumen in wärmeren Ländern hingewiesen. Sie bilden hohe, dünne, strahlenförmig vom Stamm ausgehende und niedriger werdende Wandungen, welche den Baum sehr kräftig stützen. Diese Wandungen sind in der Nähe des Stammes bis zu 5 m hoch. Man trifft sie besonders im Gebiet der tropischen Regen- und Monsunwälder und zwar vorzugsweise bei sehr hohen und verhältnismässig dünnen Stämmen. Als besonders typisch in dieser Hinsicht wird die Familie der Sterculiaceae bezeichnet. Doch macht PECHUEL-LÖSCHE (SCHIMPER 1898, S. 323) in seiner Beschreibung der westafrikanischen Regenwälder u. a. folgende Angabe: »Die meisten Stämme zeigen an ihrem Wurzelende in auffallender Weise die Neigung zur Pfeilerbildung . . .« Eine schöne Plankengerüstbildung bei *Ceiba pentandra* teilt FREUND (1926, S. 317) von der Küste Liberias mit.

Besonders stark ist das Wurzelgerüst bei den Bäumen in tropischen oder tropenähnlichen Sumpfwäldern, wie *Taxodium distichum* und *Nyssa aquatica*. Bei dem ersteren Baum erinnert es an ein Plankengerüst, bei dem letzteren bildet es eine einheitliche kugelförmige Wurzelanschwellung (vgl. UPHOF, 1923, S. 13—15).

In seiner Monographie über die *Nothofagus*-Wälder auf Neuseeland beschreibt COCKAYNE (1926) eine plankengerüstartige Wurzelstütze (»buttresses«). Sie findet sich bei gewissen *Nothofagus*-Arten und zwar vor allem bei hohen und gutgewachsenen Bäumen (diese Arten erreichen eine Höhe von ungf. 100 Fuss). Weiter wird erwähnt,

dass diese Stützbildungen selten so plankenartig ausgebildet sind wie bei einer Holzart namens *Laurelia nova-zelandiae*, die aber nicht weiter beschrieben wird. Neuseeland wird zu der Zone der Regenwälder gerechnet, aber die Regenmenge ist dort viel geringer als in den tropischen Regenwäldern. COCKAYNE (1926) bezeichnet die Wälder auf Neuseeland als subantarktische Regenwälder.

Das Vorkommen von plankengerüstartigen Wurzeln ist noch nicht näher untersucht. Nach SCHIMPER (1898, S. 328) ist ihre Bedeutung für die Bäume unklar, CAJANDER (1916, S. 105) dagegen stellt sie in unmittelbarem Zusammenhang mit der Windfestigkeit der Bäume. Darauf deutet auch schon der Umstand hin, dass man Plankengerüste fast ausschliesslich nur bei grossen und hohen Bäumen kennt. Da der Boden in Regenwäldern ständig neue Feuchtigkeit erhält, entwickeln die Bäume dort kaum ein tieferes Wurzelsystem, und infolgedessen ist wenigstens für die langschäftigen Bäume eine über den Boden hinaufreichende Wurzelbildung von Nutzen. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass nach einer brieflichen Mitteilung COCKAYNES, des besten Kenners der Flora und Wälder auf Neuseeland, die meisten der dortigen Bäume Flachwurzler (»surface-rooters«) sind. Wenn man weiter berücksichtigt, dass gleichartige Bildungen auch sonst (z. B. in Suomi, Deutschland, Schweden) angetroffen sind, und dass zwischen ihnen und der herrschenden Windrichtung einerseits und dem Standort andererseits eine deutliche Beziehung festgestellt ist, darf man wohl die Plankengerüste als Stützbildung betrachten, welche die Windfestigkeit der Bäume erhöhen.

Von den übrigen die Verankerung eines Baums verstärkenden Faktoren seien noch die Stelzwurzeln erwähnt, welche von den Ästen und Verzweigungen eines Baumes ausgehen, im Boden festwachsen und mit der Zeit den Baum verstrebbende Pfeiler bilden. Solche Wurzelbildungen finden sich in den tropischen Ländern, z. B. bei einigen *Rhizophora*-Arten, welche in der Regenzeit tief im Wasser stehen. Sie sind also wegen des Hochwassers sehr notwendig, dürften aber an der Meeresküste auch zur Verstärkung der Windfestigkeit

dienen. Bei einigen Bäumen, z.B. den *Ficus*-Arten, haben die Stelzwurzeln ausserdem auch noch die Aufgabe, den reich verzweigten Stamm in sich zu stützen.

Eine direkte Entsprechung für solche Stelzwurzeln haben wir in Suomi zwar nicht, man könnte jedoch darauf hinweisen, dass die Wurzeln von Kiefern, welche an sandigen Steilhängen wachsen, häufig blossgelegt werden und der Baum dann, wenn er mehrere Vertikalwurzeln besitzt, gewissermassen auf mehreren Füßen zu stehen scheint. Wenn diese Wurzelteile den Einflüssen der Witterung ausgesetzt sind, wachsen sie schnell in die Dicke und erhalten die gleiche Borke wie der Stamm. Ähnliche Kiefern findet man bisweilen auch auf Flugsandfeldern sowie hie und da auch an Landstrassen, wenn Kies als Wegebaumaterial um den Baum herum fortgenommen ist. — In ihrer Wirkung in gewisser Weise mit den Stelzwurzeln zu vergleichen ist auch die oben schon erwähnte Bewurzelung der untersten Äste bei der Fichte, die ja der Befestigung des Baumes dient.

In der Wurzelbildung eines Baumes lassen sich noch weitere Erscheinungen beobachten, die ebenfalls der Windverstärkung desselben dienen. So verdient das ungewöhnlich dichte, an Flechtwerk erinnernde Wurzelnetz der auf Tonboden wachsenden Kiefern Beachtung, das sich  $1\frac{1}{2}$ —2 m vom Stamme ausdehnt. Ein solches an einen breiten Lampenfuss erinnerndes Wurzelgewebe scheint nur dann zu entstehen, wenn sich keine Pfahlwurzel oder andere Tiefenwurzeln haben bilden können (vgl. LAITAKARI 1927, Referat S. 369). Auch auf kräftigem Sumpfboden, der nicht unter zu grosser Feuchtigkeit leidet, habe ich ein sehr dichtes horizontales Wurzelwerk gefunden, und zwar auch hier nahe am Stamm, doch war es nicht so zusammenhängend wie bei Bäumen auf Tonboden.

Die Festigkeit des Wurzelsystems hängt, wenigstens bei Bäumen ohne Pfahlwurzel, in grossem Masse auch von dem unterirdischen Stammteil ab, aus dem die horizontalen Wurzeln wachsen und den ich früher (LAITAKARI 1927, Referat S. 337) »base of the stump« (Stockunterlag) genannt habe. Bei Keimpflanzen findet sich kaum eine

solche. Sobald aber die horizontalen Wurzeln am Wurzelhals Dickenwachstum zeigen und die breitesten Jahresringe auf der oberen Seite entwickeln, wird ein Teil des Stammes unter die Erdoberfläche gedrückt. Die Länge dieses Stammteiles (am Wurzelhals gemessen) ist ungef. die gleiche wie der vertikale Durchmesser der dicksten und der Oberfläche am nächsten liegenden Wurzel. Wie LIESE (1926, S. 160—161) nachgewiesen hat, wirkt hier allerdings auch das immer grösser werdende Gewicht des Stammes mit ein.

Es liegen leider, abgesehen von nassen Böden, keine Untersuchungen darüber vor, auf welchen Böden bei uns die meisten Sturm Schäden eintreffen. Lockerer, steinfreier Sandboden dürfte in dieser Hinsicht von den trockenen Waldböden am meisten bedroht erscheinen. Andererseits entwickelt die Kiefer auf Sandboden häufiger eine Pfahlwurzel als auf anderen Böden, so dass es sehr zweifelhaft ist, ob unsere mit Kiefern bestandenen Sandheiden wirklich stärker bedroht sind als die anderen Böden. Allerdings erwähnt BONSDORFF (1918, S. 47) in seiner Beschreibung des Oktobersturmes 1912, »dass Bruch- und sonstiger weicher Waldboden sowie auch sandige Heiden von den grössten Windschäden betroffen worden sind«, doch dürfte diese Äusserung kaum auf wirklichen Untersuchungen fussen. Die Fichte dagegen ist sicher auf Sandboden mehr gefährdet als z.B. auf Moränenböden.

In der Ausdehnung des Wurzelsystems lassen sich kaum irgendwelche Anpassungserscheinungen in bezug auf den Wind feststellen. Grössere Tiefe des horizontalen Wurzelsystems kann jedoch eine Äusserung des Strebens nach stärkerer Verankerung sein. So können wir bei der Kiefer mit der Zunahme des Durchmessers auch eine Zunahme der durchschnittlichen Tiefenzahl beobachten.

Schliesslich mag noch erwähnt werden, dass ein Baum sein Wurzelwerk in der Nähe des Stammes durch Verwachsungen bedeutend verstärken kann. Solche Verwachsungen zwischen horizontalen Wurzeln einerseits, wie auch zwischen diesen und den vertikalen Wurzeln andererseits sind besonders wichtig. Solange ein Baum klein und eine Verstärkung des Wurzelwerkes noch unnötig ist,

finden keine Verwachsungen statt, aber wenn sich der Einfluss des Windes geltend macht, beginnen diese. Ein solches Zusammenwachsen oder auch nur Verknäueln der Wurzeln nahe beieinander stehender Bäume trägt natürlich, soweit es sich um starke Wurzeln in der Nähe der Stämme handelt, zur Verstärkung der Windfestigkeit bei jedem Individuum bei.

Zum Schluss seien noch kurz einige Erscheinungen erwähnt, welche die Windfestigkeit der Bäume bedeutend beeinflussen, obwohl diese ihnen gegenüber meist passiv sind. Das Gefrieren des Bodens im Winter macht die Bäume während dieser Zeit sehr windfest. Vereinzelt alleinstehende Bäume können zwar brechen, doch kommen wirkliche Sturmschäden nur selten vor, solange der Boden gefroren ist. — Die Schneedecke schützt an der Waldgrenze die Bäume vor der vertrocknenden Einwirkung der Winde und erhält sie lebenskräftig, wenn auch die über den Schnee hinausragenden Triebe den schädlichen Wirkungen des Windes ausgesetzt sind. Der Schnee sammelt sich natürlich mehr um diese verkrüppelten Baumindividuen als auf offenem Gelände und so decken sie sich unbewusst mit einer schützenden Schneedecke ein. Da der Schnee sich zum grossen Teil auf den Baumkronen auflagert, besteht bei Stürmen leicht die Gefahr, dass die Bäume ihren Gipfel verlieren, eine Erscheinung, die z.B. in den Schneeschadengebieten von Nord-Suomi sehr gewöhnlich ist. (Allerdings kann die Krone auch ohne Sturm, nur unter der Schneebelastung brechen.) Dabei kommen der Fichte der spitze Gipfel und die biegsamen Äste, welche die Schneebelastung verringern, sehr zu statten. Die Untersuchungen von HEIKINHEIMO (1920) haben gezeigt, dass die Fichte viel schneefester ist als die Kiefer. Es sei auch darauf hingewiesen, dass die Biegefestigkeit der Fichte nach CAJANDER (1916)  $466.13 \text{ kg/cm}^2$  beträgt, während die entsprechende Zahl für die Kiefer  $287.21 \text{ kg/cm}^2$  ist. Die Birke wird im Winter im allgemeinen durch ihre Unbelaubtheit vor der vereinigten schädlichen Wirksamkeit von Sturm und Schnee geschützt. In Nord-Suomi jedoch, wo der Rauhreif einen beträcht-

lichen Teil der Schneebelastung bildet, leidet auch die Birke und zwar noch mehr als die Fichte. Der Rauhreif lagert sich nämlich leicht auch auf den entblätterten Bäumen auf und bietet dann eine gute Unterlage für Schneefall. Die steiferen Zweige und offenbar auch der sprödere Gipfel machen die Birke in dieser Hinsicht verhältnismässig empfindlicher als die Fichte.

Unsere Laubbäume sowie die Lärche sind während des Winters im allgemeinen recht gut gegen Sturmgefahren geschützt. Der gefrorene Boden befestigt das Wurzelsystem und die unbelaubte Krone bietet den Stürmen eine viel geringere Angriffsfläche als sonst. Sehr wichtig ist der Umstand, auf den oben schon hingewiesen wurde, dass die Laubbäume während der Herbst- und Frühjahrsstürme unbelaubt sind. Den gleichen Vorteil haben z.B. auch die Bäume der afrikanischen Savannen, die ihr Laub gerade in der schlimmsten Sturmzeit verlieren, welche gleichzeitig auch die regenlose Zeit ist, die das Abfallen der Blätter eigentlich hervorruft.

Die Windfestigkeit der Bäume ist vom waldbaulichen Standpunkt aus eine sehr wichtige Eigenschaft, und die Klärung der Umstände, welche darauf einwirken, von grosser Bedeutung. Unter ihnen spielen offenbar die Anpassungserscheinungen eine grosse Rolle. Wenn man weiss, mit welchen Mitteln ein Baum sich gegen Windgefahr zu schützen versucht, kann man die waldbaulichen Massnahmen gegebenenfalls so einrichten, dass dieser Selbstschutz sich genügend entwickeln kann um die Windfestigkeit der Bäume sicher zu stellen. Man braucht nur an die Pflege von besonders exponierten Beständen und an die Erziehung von Samenbäumen zu denken, um die Bedeutung dieser Frage zu verstehen.

#### LITERATURVERZEICHNIS.

- AALTONEN, V. T. 1920. Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. (Acta forest. fenn., 14.) Helsinki.

- ARCHER, ERLING. 1920. Om tømmerets form i Glommens och Drammens vasdrag. (Medd. fra d. norske Skogforsøksvæsen. H. 1.) Kristiania.
- ARNDT, ALWIN. 1928. Wuchsformen der Kiefer, *Pinus silvestris*, in Lappland. (Mitt. d. D. Dendr. Ges., Jahrb. 1928.) Wendisch-Wilmersdorf.
- BERCKLING, E. 1923. Bretterwurzeln bei *Ulmus campestris*. (Mitt. d. D. Dendr. Ges., Jahrb. 1923.) Wendisch-Wilmersdorf.
- BONSDORFF, A. J. 1917. Studien über die Sturmrichtungen in Finnland. (Acta forest. fenn., 8.) Helsinki.
- »— 1918. Beiträge zur Kenntnis der Sturmschäden in Finnland. (Ibid.)
- BRAUN-BLANQUET, J. 1928. Pflanzensoziologie. Berlin.
- CAJANDER, A. K. 1916. Metsänhoidon perusteet. I. Porvoo.
- »— 1917. Metsänhoidon perusteet. II. Porvoo.
- COCKAYNE, L. 1926. Monograph on the New Zealand beech forests. Part. I. Wellington.
- EIDE, ERLING. 1922. Om tømmerets form i Trøndelags vasdrag. (Medd. fra d. norske Skogforsøksvesen. H. 2.) Kristiania.
- FREUND, WALTER. 1926. Bretterwurzeln der *Ceiba pentandra*. (Mitt. d. D. Dendr. Ges., Jahrb. 1926.) Wendisch-Wilmersdorf.
- GEIGER, RUDOLF. 1927. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig.
- HANN, JULIUS VON. 1915. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig.
- HEIKINHEIMO, OLLI. 1920. Kuusen iän määräämisestä ja kuusen myöhäisjuurista. (Mit deutschem Referat: Über die Bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln. (Comm. ex Inst. quaest. forest. Finl. ed., 2.) Helsinki.
- HERBERG, M. 1923. Bretterwurzeln auch bei Pyramiden-Pappeln. (Mitt. d. D. Dendr. Ges., Jahr. 1923.) Wendisch-Wilmersdorf.
- HILDÉN, N. A. 1926. Koivun kuutioimisesta massataulukkojen avulla. (Mit deutschem Referat: Über die Kubierung der Birke mittels Massentafeln.) (Acta forest. fenn., 32.) Helsinki.
- HUBBARD, C. S. 1928. Siehe KOTZÉ 1928.
- ILVESSALO, YRJÖ. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. (Mit deutschem Referat: Ertrags tafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte Finnlands.) (Acta forest. fenn., 15.) Helsinki.
- JONSON, TOR. 1910. Taxatoriska undersökningar om skogsträdens form. I. Granens stamform. (Skogsvårdsfören. tidskr., fackavd.) Stockholm.
- »— 1912. Taxatoriska undersökningar över skogsträdens form. III. Formbestämning å stående träd. (Ibid.)
- KAIRAMO, A. OSW. 1890. Siehe Kihlman 1890.

- KALLIO, NIILLO. 1926. Windverhältnisse der oberen Luftschichten. (Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys.-Math. III, 3.) Helsinki.
- KIHLMAN, A. OSW. 1890. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. (Acta Soc. pro Fauna et Flora fenn., T. VI, Nr. 3.) Helsingfors.
- KOTZÉ, J. J. and HUBBARD, C. S. 1928. The Growth of Eucalypts on the High Veld & South-Eastern Mountain Veld of the Transvaal. (Union of South Africa. Forest Department. Bull. No. 21. Pretoria.
- KLEIN, LUDVIG. 1913. Forstbotanik. (Handbuch der Forstwissenschaften, begr. von Prof. Tuisko Lorey.) Tübingen.
- LAITAKARI, ERKKI. 1927. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus. (Mit engl. Referat: The Root System of Pine [*Pinus silvestris*]. A Morphological Investigation.) (Acta forest. fenn., 33.) Helsinki.
- LIESE, J. 1926. Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Kiefer (*Pinus silvestris*). (Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw.) Berlin.
- LÜSTNER, OTTO, 1923. Dendrologische Beobachtungen. (Mitt. d. D. Dendr. Ges., Jahrb. 1923.) Wendisch-Wilmersdorf.
- METZGER, C. 1893. Der Wind als massgebender Faktor für das Wachstum der Bäume. (Mündener Forstliche Hefte, 3.) Berlin. (Nach JONSON 1912.)
- »— 1894—1895. Studien über den Aufbau der Waldbäume und Bestände nach statischen Gesetzen. (Mündener Forstliche Hefte 5, 6, 7.) Berlin.
- ROMELL, LARS-GUNNAR. 1928. Trädens byggnad och liv. (Sveriges skogar. I.) Stockholm.
- SAMUELSSON, CARL. 1926. Studien über die Wirkungen des Windes in den kalten und gemässigten Erdteilen. (Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. XX.) Uppsala.
- SCHIFFEL, A. 1905. Form und Inhalt der Lärche. (Mitt. a. d. forstl. Versuchswes. Österr., H. XXXI.) Wien.
- SCHIMPER, A. F. W. 1898. Pflanzengeographie. Jena.
- SCHWERIN, FRITZ GRAF VON. 1922. Dendrologische Notizen. XIII. (Mitt. d. D. Dendr. Ges., Jahrb. 1922.) Wendisch-Wilmersdorf.
- UPHOF, J. C. TH. 1923. Der nordamerikanische Sumpfwald. (Ibid.)
- VOLGER, K. 1926. Die Bewirtschaftung des Hilssandsteingebietes im Forstamtsbezirke Wenzel. (Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw.) Berlin.

*Erkki Laitakari.*