

KUNGL. SKOGSHÖGSKOLANS SKRIFTER

BULLETIN OF THE ROYAL SCHOOL OF FORESTRY
STOCKHOLM, SWEDEN

Nr 5—6

1951

BERÄKNING AV
SLUTAVVERKNINGEN

CALCUL DE LA POSSIBILITÉ

AV

SVEN PETRINI

DIE GESCHWINDIGKEIT UND DER
VERLAUF DES TRANSPIRATIONS-
STROMES BEI DER BIRKE

VON

AINO MATHIESEN



AB KARTOGRAFISKA INSTITUTET

Esselte AB, Stockholm 1951

Beräkning av slutavverkningen

Av

SVEN PETRINI

Uträkningen av årsavverkningens storlek är utomordentligt enkel då det är fråga om slutavverkning, om meningen är att ett nu förefintligt förråd $k \text{ m}^3$ skall avvecklas under en given period, omfattande n år. Därmed är ingalunda sagt att det skulle vara så enkelt att bestämma vilka delar av förrådet som skola slutavverkas och på hur lång tid dessa delar skola avvecklas. I det sammanhanget väcks frågan om omloppstidens längd, som kan vara olika för olika trädslag och olika bestånd; likaså uppträda här problem rörande utjämning av åldersklassfördelningen, ransoneringsfrågor och förnyringsspörsmål. Sedan emellertid programmet en gång är fastställt återstår själva uträkningen av årsavverkningens belopp under indelningsperioden. Det är detta begränsade område som föreliggande uppsats kommer att behandla. Därvid förutsättes en taxering vara gjord, så att nuförrådet $k \text{ m}^3$ och tillväxtprocenten p för ifrågavarande förråd äro kända storheter. Det antages vidare, att p är en *diskontprocent* gällande för den ålder som k nu har, och att p kan direkt användas som rabattprocent för räkning med enkel ränta framåt, d. v. s. att tillväxten årligen i absolut mått håller sig konstant. Detta beräkningssätt är i allmänhet berättigat när det gäller slutavverkningen, eftersom träden vid denna sena tidpunkt i sin utveckling ej längre kunna antas öka sin tillväxt. Det bör likväl observeras, att förutsättningen om konstant årlig tillväxt under den kommande perioden avser *begynnelseförrådets* tillväxt. Under avvecklingens gång minskas detta förråd, varför tillväxtbeloppet också måste avta.

Vi kunna urskilja två olika fall. Det enklaste är om total slutavverkning äger rum under perioden. Något mera komplicerat blir det om exempelvis en viss mängd förträdd skola bevaras eller om avvecklingstiden n är längre än indelningsperioden t . I det sistnämnda fallet är det av intresse att beräkna slutförrådet k_t vid indelningsperiodens slut.

Total slutavverkning under indelningsperioden

Indelningsperioden omfattar t år, kapitalet k m³ avvecklas fullständigt genom t stycken lika stora årsavverkningar, vardera lika med m m³. Om därvid förrådet i genomsnitt anses komma att stå kvar och växa under halva perioden, utgör det totala förråd som kan avverkas under hela perioden, då $n=t$:

$$tm = k \left(1 + \frac{t}{2} \cdot \frac{p}{100} \right)$$

Årsavverkningen blir alltså

$$m = \frac{k \left(1 + \frac{tp}{200} \right)}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Räkningen i formel 1 har utförts såsom om alla årsavverkningar hade sammanförts till en enda stor avverkning, utförd mitt i perioden. Hur stämmer nu detta beräkningssätt med verkligheten, då vi faktiskt utföra t stycken konsekutiva huggningar i stället för en?

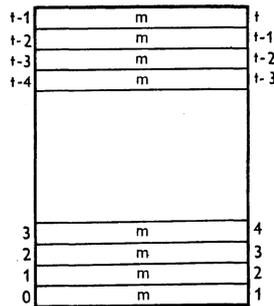


Fig. 1.

För att klargöra detta använda vi den schematiska fig. 1, där området som avverkas är indelat i t strimmor, representerande de olika årsavverkningarna, vardera omfattande m m³. Om avverkningarna äga rum efter vegetationsperiodens slut och om vi börja räkna på våren, så ha de olika strimmornas virkesförråd fått stå kvar och växa i det antal år som antecknats till höger i figuren.

Medeltalet av siffrorna 1, 2, 3, t , som bilda en aritmetisk serie, är = summan genom antalet, alltså $\left(\frac{1+t}{2} \cdot t \right)$: $t = \frac{t}{2} + \frac{1}{2}$ år.

Det skulle sålunda gälla för hela figuren, att förråden stå kvar i genomsnitt $\frac{t}{2}$ år + $\frac{1}{2}$ år. — Skulle avverkningen i stället varje år utföras före vegetationsperioden, d. v. s. om vi börja räkna på hösten, finge vi använda siffrorna till vänster i fig. 1, och den genomsnittliga tillväxtperioden bleve i stället $\frac{t}{2} - \frac{1}{2}$ år.

Man är nu frestad att säga, att då avverkningarna sprida sig över hela året, så blir resultatet, att förrådet i genomsnitt står kvar exakt i $\frac{t}{2}$ år såsom vi ha förutsatt i formel 1. Men de största avverkningarna äga faktiskt rum under annan årstid än vegetationsperioden, och våra beräkningar bruka också alltid förutsätta att man utgår från vårförrådet och att avverkningen sker efter vegetationsperiodens slut. Man kan därför preliminärt endast säga att de gjorda övervägandena lett fram till att värdet $\frac{t}{2}$ år är en god approximation, då det endast är ett halvår för lågt.

Men ännu är medeltalsberäkningen inte riktigt färdig. Vi ha behandlat strimmorna i fig. 1 såsom om förrådet på var och en av dem vore lika stort, vilket är sant endast vid det ögonblick då de avverkas.

Begynnelseförrådet på de övre strimmorna är i själva verket mindre än på de nedre, eftersom de övre strimmornas förråd har längre tid på sig att växa fram till värdet m m³. Nu är det ju fråga om hur länge begynnelseförrådet k får stå och växa i medeltal, och för att få ett exakt värde på detta måste antalet år som varje strimma står orörd vägas vid medeltalsberäkningen med resp. strimmas begynnelseförråd.

Begynnelseförråden på de olika strimmorna, räknat nedifrån, utgör tydligen vid avverkning efter vegetationsperioden följande belopp:

$$\frac{m}{1 + \frac{p}{100}}, \frac{m}{1 + \frac{2p}{100}}, \frac{m}{1 + \frac{3p}{100}} + \dots + \frac{m}{1 + \frac{tp}{100}}.$$

Det är dessa belopp som skola användas såsom vikter vid uträknande av medeltalet av årantalen 1, 2, 3, t . Eftersom m ingår i alla vikter, kan m divideras bort. Medeltalet skall sålunda beräknas enligt formeln.

$$a = \frac{\frac{1}{1 + \frac{p}{100}} + \frac{2}{1 + \frac{2p}{100}} + \frac{3}{1 + \frac{3p}{100}} + \dots + \frac{t}{1 + \frac{tp}{100}}}{\frac{1}{1 + \frac{p}{100}} + \frac{1}{1 + \frac{2p}{100}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{tp}{100}}}$$

vilket kan förenklas till

$$a = \frac{\frac{1}{100 + p} + \frac{2}{100 + 2p} + \dots + \frac{t}{100 + tp}}{\frac{1}{100 + p} + \frac{1}{100 + 2p} + \dots + \frac{1}{100 + tp}}$$

Detta uttryck a betecknar således antalet år som begynnelseförrådet får stå och växa. Det är endast beroende av t och p , d. v. s. av periodens längd och av procentens värde. I tabell 1 nedan ha angivits a -värdena för 10-, 20-, och 30-åriga perioder samt för $p = 1$, resp. 2 och 3 procent.

Tab. 1. Värdet av a för olika tillväxtprocenter och perioder.

Procenten p	1 %	2 %	3 %
Period 10 år	5,42	5,35	5,29
» 20 »	10,20	9,95	9,73
» 30 »	14,85	14,34	13,93

Man kan säkert utgå ifrån att tillväxten i de bestånd som komma i fråga vid en avveckling alltid är lägre än 3 %. Med 10-årig avvecklingsperiod kommer förrådet att i genomsnitt få stå och växa under 5,3 à 5,4 år, så att en beräkning grundad på tillväxt under halva perioden innebär en obetydlig underskattning av denna tid. Med 20 års avvecklingstid stämmer antagandet om halva periodens tillväxt bäst överens — i de allra flesta fall, då tillväxtprocenten vanligen ligger vid 1,5 à 2 %, kan resultatet sägas vara exakt. Med 30-årig avveckling inträder å andra sidan en viss överskattning av tillväxtperiodens längd. Approximationen får genomgående anses tillräckligt god.

Partiell slutavverkning

Om fröträd skola kvarställas, så får tydligen inte hela beloppet $k \left(1 + \frac{tp}{200}\right)$ avverkas under perioden t . Det är naturligt att föreställa sig, att fröträden kvarlämnas just vid det tillfälle då årsavverkningen av en viss strimma utföres, så att virkesmängden fröträd fixeras vid och för varje sådant tillfälle. Detta innebär, att ställandet av sammanlagt k' m³ fröträd i genomsnitt äger rum vid periodmitten, d. v. s. efter $\frac{t}{2}$ år. För uträknandet av årsavverkningen erhålles då formeln

$$m = \frac{k \left(1 + \frac{tp}{200}\right) - k'}{t} \dots \dots \dots (2)$$

Vill man sedan veta hur stort förrådet av fröträd kan beräknas bli vid periodens slut, uträknas först begynnelseförrådet k'_0 av fröträden enligt $k'_0 \left(1 + \frac{tp}{200}\right) = k'$ och därefter låter man k'_0 växa till periodens slut, varav erhålles

$$k'_t = k'_0 \left(1 + \frac{tp}{100}\right) = \frac{k' \left(1 + \frac{tp}{100}\right)}{1 + \frac{tp}{200}} = k' \cdot \frac{100 + \frac{tp}{2}}{100 + \frac{tp}{2}} \dots \dots \dots (3)$$

Skulle man i något fall önska från början fixera den virkesmängd fröträd k'_t som skall finnas kvar vid slutet av perioden t år, så erhålles begynnelsekapitalet av k'_t såsom

$$k'_0 = \frac{k'_t}{1 + \frac{tp}{100}}, \text{ och avverkningsbeloppet blir bestämt enligt formeln}$$

$$m = \frac{(k - k'_0) \left(1 + \frac{tp}{200}\right)}{t} \dots \dots \dots (4)$$

Ett annat fall, som torde vara rätt vanligt förekommande, är att man tänker sig en avveckling av beståndet på en tidsperiod av n år, då $n > t$; exempelvis en avvecklingstid av 20 år, då planläggningen endast omfattar en 10-årsperiod.

Beräkningen av *årsavverkningen* kan nu göras på precis samma sätt som tidigare, endast med den skillnaden, att n insättes i formeln i stället för t .

$$\text{Vi få således } m = \frac{k \left(1 + \frac{np}{200}\right)}{n}, \text{ och } m \text{ skall gälla för indelningsperioden, så att } t \text{ st}$$

årsavverkningar uttagas.

Komplikationen inställer sig först när det efterfrågas hur stort det återstående förrådet är vid slutet av perioden t .

Vid lösningen av detta problem kan man utgå från att kapitalet k om det finge växa orört, skulle ha uppnått värdet $k \left(1 + \frac{tp}{100}\right)$ vid periodens slut. Emellertid avverkas varje år m m³, d. v. s. sammanlagt $t m$ m³, som skall avdragas för att vi skola närma oss det rätta värdet på slutkapitalet. Men ej nog härmed. I uttrycket $k \left(1 + \frac{tp}{100}\right)$ ingår också tillväxten under t år på begynnelsekapitalet av varje kvantitet m som avverkas. Dessa begynnelsekapital kunna benämnas $m_{x_1}, m_{x_2} \dots m_{x_t}$, då m_{x_1} är begynnelsekapitalet för den första årsavverkningen och m_{x_t} begynnelsekapitalet för den sista årsavverkningen.

För de olika delbeloppen gäller i övrigt relationen

$$m = m_{x_1} \left(1 + \frac{p}{100}\right) = m_{x_2} \left(1 + \frac{2p}{100}\right) = m_{x_3} \left(1 + \frac{3p}{100}\right) \dots \dots = m_{x_t} \left(1 + \frac{tp}{100}\right)$$

Nu har emellertid inte m_{x_1} fått växa i t år såsom har förutsatts i uttrycket $k \left(1 + \frac{tp}{100}\right)$ utan endast i 1 år. Tillväxtförlusten skall alltså avdragas liksom alla tillväxtförluster på övriga m -värden, belöpande sig till $t-1$ år för den första, $t-2$ år för nästa, 1 år för den näst sista och 0 år för den sista avverkningen.

Kallas den sammanlagda tillväxtförlusten på avverkningsbeloppen för ΣZ_m så skulle vår formel för det kvarstående förrådet vid indelningsperiodens slut lyda

$$k_t = k \left(1 + \frac{tp}{100} \right) - tm - \Sigma Z_m \dots \dots \dots (5)$$

Det enda som behöver bestämmas i formel 5 är ΣZ_m . Utgå vi från den nyssnämnda aritmetiska serien för tillväxtförlusterna 0, 1, 2, 3, (t-1), så är summan $\frac{t-1}{2} \cdot t$ och medeltalet $\frac{t-1}{2}$ år. Även i detta fall gäller det emellertid att medeltalet bör vägas med begynnelsekapitalens storlek, och liksom i den tidigare undersökningen (tab. 1) kan man med god approximation säga, att begynnelsekapitalet för årsavverkningarna får stå och växa i $\frac{t}{2}$ år, vilket betyder att tillväxtförlusterna i medeltal utgöra $\frac{t}{2}$ års tillväxt på begynnelsekapitalet.

Vi acceptera därför värdet $\frac{t}{2}$ såsom riktigare än $\frac{t-1}{2}$.

Tydligen är då

$$tm = \left(1 + \frac{tp}{200} \right) \Sigma m_x \dots \Sigma m_x = \frac{tm}{1 + \frac{tp}{200}}$$

och den under $\frac{t}{2}$ år förlorade tillväxten

$$\Sigma Z_m = \frac{tm}{1 + \frac{tp}{200}} \cdot \frac{tp}{200} = \frac{t^2 mp}{200 + tp} \dots \dots \dots (6)$$

Slutformeln för det återstående förrådet vid slutet av indelningsperioden t får därför följande utseende

$$k_t = k \left(1 + \frac{tp}{100} \right) - tm - \frac{t^2 mp}{200 + tp} = k \left(1 + \frac{tp}{100} \right) - tm \cdot \frac{100 + tp}{100 + \frac{tp}{2}} \dots \dots \dots (7)$$

Eftersom denna formel även skall gälla om $k_t = 0$, kan detta värde insättas, varvid formel 7 övergår till formel 1.

Exempel på formlernas användning

Antag en huggningsklass V omfattande 100 ha med 10 000 m³, diskontprocent 1,5, planläggning för 20 år.

a) hela förrådet avvecklas på 20 år. Årsavverkning enl. formel 1, där $n = t = 20$:

$$m = \frac{k \left(1 + \frac{tp}{200} \right)}{t} = \frac{10\,000 \left(1 + \frac{20 \cdot 1,5}{200} \right)}{20} = 5\,75 \text{ m}^3.$$

b) fröträd med 30 m³/ha ställas å varje årshygge, sammanlagt 3 000 m³. Årsavverkning enl. formel 2 med $t = 20$:

$$m = \frac{k \left(1 + \frac{tp}{200} \right) - k'}{t} = \frac{11\,500 - 3\,000}{20} = 4\,25 \text{ m}^3$$

Förrådet av fröträd vid periodens slut fås ur formel 3:

$$k_t' = k' \frac{100 + tp}{100 + \frac{tp}{2}} = 3\,000 \frac{130}{115} = 3\,391 \text{ m}^3$$

c) planläggningen sker för 10 år, men den totala avvecklingen av huggningsklassen tar 20 år i anspråk. Avverkning per år under 10-årsperioden är som förut med $n = 20$:

$$\frac{10\,000 \left(1 + \frac{20 \cdot 1,5}{200} \right)}{20} = 5\,75 \text{ m}^3$$

Återstående förrådet efter 10 år fås enligt formel 7, då $t = 10$

$$\begin{aligned} k_t &= k \left(1 + \frac{tp}{100} \right) - t m \cdot \frac{100 + tp}{100 + \frac{tp}{2}} = 10\,000 \left(1 + \frac{10 \cdot 1,5}{100} \right) - 5\,750 \frac{115}{107,5} = \\ &= 11\,500 - 6\,151 = 5\,349 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Résumé

Calcul de la Possibilité

L'article donne les formules nécessaires pour calculer — pour toute la forêt ou pour toute l'inspection — la taxe annuelle et le matériel ligneux, qui reste à la fin de la période de t ans, le taux étant p et le capital initial k .

Die Geschwindigkeit und der Verlauf des Transpirationsstromes bei der Birke

von

AINO MATHIESEN

Aufgabe und Methode

Die Bahn und die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes in den Baumstämmen sind im allgemeinen bekannt, ebenso sind bekannt die Kräfte, welche diese Bewegung aufrecht halten. Obgleich das hydrostatische System bei allen Bäumen auf dasselbe Grundprinzip begründet ist: ununterbrochene Wassersäulen von den aufnehmenden Wurzelzellen bis zu den transpirierenden Blattzellen, ist in der letzten Zeit wieder unterstrichen worden, dass solche Systeme in ihren Einzelheiten, wegen des verschiedenen anatomischen Baues einzelner Holzarten, sehr verschieden sein können. Eingehende Untersuchungen darüber, welche Teile des Stammes, welche Elemente eines Jahresringes den aufsteigenden Strom leiten, sowie über die zeitlichen Veränderungen der Geschwindigkeiten sind bei einzelnen Baumarten noch notwendig. Viele entgegengesetzte Auffassungen sind in Fragen, die den Transpirationsstrom behandeln, gerade dadurch entstanden, dass man Resultate, die bei Versuchen mit einer einzelnen Baumart gewonnen sind, auch auf alle anderen, nach der Konstruktion ganz verschiedenen Bäume übertragen hat. So spricht man im allgemeinen über die apikale Verlangsamung des Transpirationsstromes, während HUBER (1936) erwies, dass die Geschwindigkeit des steigenden Stromes bei gewissen Baumarten gegen den Wipfel steigt, bei anderen fällt. Über die tangential Bewegung finden z. B. HARVEY (1930) bei *Prunus* sp. und ARNDT (1929) bei *Coffea*, dass sie fast fehlt, während AUCHTER (1923) bei *Prunus persica* findet, dass sie ziemlich stark ist. Gleichfalls existieren Meinungsverschiedenheiten über den Übergang des Transpirationsstromes von einem Jahresring in andere. Wie verschieden die wasserleitenden Teile des Holzes während derselben Zeit bei einzelnen Baumarten sein können, zeigen die eingehenden Arbeiten von MACDOUGAL, OVERTON und SMITH (1929). Sie fanden, dass im Juni bei einer *Salix*-Art, in allen Jahresringen nur das Spätholz wasserführend war, bei einer *Alnus*-Art nur das Frühholz, bei einer *Juglans*-Art die äussersten Spätholz- und die innersten Frühholzschichten und dass bei einer *Pinus*-

Art alle Teile eines Jahresringes Wasser leiteten. Solche Arbeiten sind aber nicht zahlreich, ausserdem sind sie oft an ganz jungen oder kleindimensionalen Bäumen durchgeführt.

Die folgende Arbeit bringt Angaben über den Transpirationsstrom bei Birken (*B. pubescens* Ehrh. und *B. verrucosa* Ehrh.) von 4,5—27 m Höhe, wobei a) die Geschwindigkeit des steigenden Stromes und b) seine Bahn behandelt wird. Obgleich der anatomische Bau dieser beiden Arten etwas verschieden ist, insbesondere in der Länge der Holzfasern und der leitenden Elemente (WALLDÉN, 1934), konnte man bei den Versuchen keinen Unterschied zwischen den beiden Arten finden, weshalb sie auch in den folgenden Tabellen nicht unterschieden sind.

Die Versuchen wurden mit Birken im Alter von 13—95 Jahren, insgesamt mit 55 Stämmen in den Sommern 1945, 1946 und 1947 in Torsåker (Gästrikland) und Malingsbo (Dalarna) durchgeführt.

Für die Beobachtung des steigenden Stromes wurde die Farbstoff-Injektions-Methode gewählt. Die Injektions-Methode hat in letzter Zeit im Zusammenhang mit Schädlingsbekämpfung viel Anwendung gewonnen. Um die Wasserbewegungen in den Pflanzen zu verfolgen, haben sie z. B. MACDOUGAL (1929), PEIRCE (1929), COSTER (1931), BAKER und JONES (1933), STRUGGER (1943) u. a. benutzt. Ein Nachteil der Injektionsmethode ist, dass sie das ununterbrochene Wassersystem in den Stämmen öffnet, ein anderer, dass die Steigung der Farbstofflösung wegen der Adsorption durch die Zellwände langsamer ist als die Steigung des Wassers. Andererseits ist aber die Schädigung durch Injektion gering, die Farbe kommt fast unmittelbar in die unbeschädigten Stammteile und die Grösse der Verspätung der Farbstofflösungen ist bekannt oder bestimmbar. Die Geschwindigkeiten, die man durch Versuche mit der Injektionsmethode erhalten hat, unterscheiden sich nicht viel von den mit anderen Methoden gewonnenen Resultaten, z. B. von den von HUBER (1932) und BAUMGARTNER (1934) mit der thermoelektrischen Methode gemessenen Geschwindigkeiten. Unzweifelhaft werden der Wirklichkeit nähere Resultate erhalten mit Farb- resp. Salzlösungen, die nicht oder sehr wenig adsorbiert werden, z. B. Li-Nitrat, Fluorescein, Berberidin u. a., oder mit radioaktiven Isotopen einiger Metalle (STOUT und HOAGLAND 1939), aber bei so grossen Stämmen, wie sie in der folgenden Arbeit angewendet wurden, würde ihre Lokalisierung und eine nähere Verfolgung des Transpirationsstromes schwer sein. Eine eingehende Übersicht über die Lösungen und Konzentrationen, die für Injektionsversuche geeignet sind, findet man bei HARVEY (1930). Bei folgenden Versuchen wurden nach Vorversuchen mit Methylenblau, Neutralrot, Säurefuchsin, Eosin und Lichtgrün die zwei letzteren gewählt, mit Konzentration 0,1 %. Die Farblösungen wurden in die Stämme der Versuchsbäume durch möglichst luftdichte Bohrlöcher von 2,5 cm Diam. und von gewünschter Tiefe geleitet. Die Bohrlöcher wurden in rechten Winkel zu den Jahresringen gerichtet. Die Lösungen wurden aus Behältern, die etwas höher als die Bohrlöcher standen, in die Stämme gesaugt. Resultate mit Eosin (giftig für Pflanzen) und Lichtgrün (unschädlich) waren gleich.

Hiermit möchte ich meinen grössten Dank an Dir. S. NORDENGREN, AB Förenade Superfosfat-Fabriken und an Prof. B. LINDQUIST aussprechen, die es ermöglicht haben diese Arbeit durchzuführen.

Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes

Die tägliche Kurve der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes (Tab. 2), gemessen mit 3-Stündigen Intervallen an Basalteilen der Stämme der 13—15 jährigen Birken im Juli ist ähnlich den täglichen Transpirationskurven, wie man sie z. B. in der Arbeit von MILLER (1931) u. a. findet. Das tägliche Maximum beginnt und aufhört später als bei Transpirationskurven während der Mittsomerzeit. Man findet auch einen Rückgang während der Mittagszeit, was oft auch bei Transpirationskurven zu finden ist. Die Geschwindigkeitskurve ist zusammengestellt nach einmaligen Messungen, die erhaltenen Geschwindigkeiten stimmen aber mit zahlreichen anderen, im anderen Zusammenhang erhaltenen gut überein (Tabl 1).

Die mittlere Geschwindigkeit für die Steigung der Farblösung ist während des täglichen Maximums in Basalteilen der 4,5—12 m hohen Bäume 1,50—1,81 m in der Stunde (Tab. 1). Wenn man die Geschwindigkeit der Eosinlösung nach STRASSBURGER (1893) als 80 % von der des Wassers annimmt, erhält man für die Geschwindigkeit des Wasserstromes 1,9—2,25 m/Stunde. In den folgenden Tabellen 1—7 sind die Steigungsgeschwindigkeiten für die Farblösungen ohne Umrechnung angegeben.

Individuelle Unterschiede bei einzelnen Versuchsbäumen sind ziemlich gross. Einen Zusammenhang zwischen dem Standorte und den Geschwindigkeiten kann man nicht finden (Tab. 3). Ebenfalls findet man keinen Zusammenhang zwischen den Geschwindigkeiten und Baumhöhen (Tab. 4 und Tab. 1, wo einzelne Versuchsperioden nach Baumhöhe geordnet sind), auch nicht zwischen Geschwindigkeiten und der Grösse der Baumkrone (Tab. 5). Eine Korrelation scheint zwischen der Jahresringbreite und der Geschwindigkeit des steigenden Stromes zu bestehen, besser bemerkbar nach den kürzeren Versuchsperioden, d. i. in den Basalteilen der Stämme. In der Tabelle 6 sind die nach 3-Stündigen Versuchsperioden erhaltenen Geschwindigkeiten eingetragen, geordnet nach der Breite der Jahresringe. Bei den schmälern Jahresringen sind die Geschwindigkeiten grösser. Die gleiche Tendenz scheint auch nach 6-Stündigen Versuchsperioden zu herrschen, obgleich nicht mehr mit gleicher Deutlichkeit. Nach noch längeren Versuchsperioden, wenn die Farblösung schon in das Kronengebiet kommt, ist es nicht möglich einen solchen Zusammenhang zu finden.

Aus der Tabelle 1 geht hervor, dass die mittleren Geschwindigkeiten, gerechnet nach längeren Versuchsperioden (6, 12 usw. Stunden), kleiner sind als bei kurzen (3-stündigen) Versuchszeiten und dass in diesen Fällen die individuellen Unterschiede grösser sind als bei kurzen Versuchszeiten. Wenn die Farblösung mit der gleichen Geschwindigkeit, wie in den Basalteilen der Stämme, sich im ganzen Baume

weiterbewegte, könnte man nach der täglichen Geschwindigkeitskurve finden, dass nach einer 6-stündigen Versuchsperiode, berechnet von 8 Uhr an, die Farbe sich in einer Höhe von 9—10 m, nach 12-stündiger Periode in der Höhe von 15 m und nach 24-stündiger Periode in der Höhe von 21 m befinden sollte (Fig. 1). In Wirklichkeit ist die Farbe immer zurückgeblieben. Am höchsten findet man die Farbe bei denjenigen Bäumen, bei denen die Kronen ziemlich hoch beginnen, wo also der steigende Strom sich die ganze Zeit in einem astlosen Stamm bewegt (Nr. 10 u. 16, Tab. 1). Am langsamsten steigt der Strom in Stämmen, wo die Äste in einer geringen Höhe beginnen (Nr. 8, Tab. 1). Das gleiche findet man auch bei den Versuchsbäumen 13, 14 u. 15, die alle von demselben Wurzelstock stammen, gleichalt und fast gleich hoch sind. Während derselben Versuchszeit stieg die Farbe am weitesten im Stamm

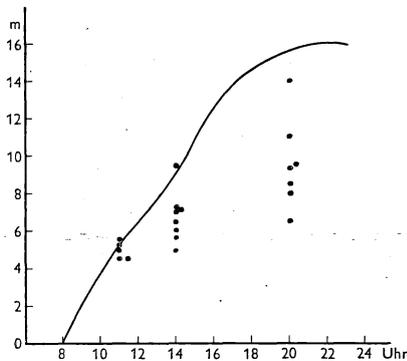


Fig. 1. Die Steigung der Farbe in m nach 3, 6 und 12 Stunden in einzelnen Stämmen. Versuchsbeginn: 8 Uhr. Höhe der Farbe in m in einzelnen Stämmen nach entsprechenden Versuchszeiten (Tab. 1). Jeder Punkt zeigt die Steigung während eines Tages in einem 15-jährigen Stamme, wenn der Strom im ganzen Stamme mit der gleichen Geschwindigkeit wie in der Basis des Stammes ginge. (Nach Tab. 2.)

13, wo die Krone bei 4,5 m beginnt; im Stamme 14, wo die Krone niedriger beginnt, ist sie ungeachtet der schmälern Jahresringe, langsamer gestiegen und ist am langsamsten im Stamme 15, wo die ersten Äste schon in einer Höhe von 2,1 m beginnen (Tab. 7). Noch grössere Unterschiede findet man nach längeren Versuchszeiten, wo die grösste Geschwindigkeit in einem hohen astlosen Stamme (Nr. 23) gemessen wurde. Wird die Höhe des Farbensteigens in % der Baumhöhe ausgedrückt, sieht man, dass die Farbe in besonders stark-ästigen Bäumen am spätesten in die Wipfelregion kommt.

Am Ende der Tabelle 1 finden sich einige Sonderangaben. Bei krummen, von Schnee gebeugten Stämmen ist der steigende Strom auffallend langsam (Nr. 34, 35). — Während des andauernden Regens, fand am zweiten Regentage keine Steigung der Farbe statt (Nr. 33). Während einer 6-stündigen Versuchszeit, während welcher es 3 Stunden regnete, stieg die Farbe nicht weiter als sonst in 3 Stunden (Nr. 32).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Geschwindigkeiten des Transpirationsstromes, gemessen mit der Injektions-Methode mit Geschwindigkeiten übereinstimmen, die mit anderen Methoden erhalten wurden, und dass er bei Birken mittleren Alters 1,9—2,2 m/Stunde beträgt. Mit der thermoelektrischen Methode von HUBER wurde 1,6 m/Stunde gemessen. Der Strom steigt in Stämmen von verschiedenen Dimensionen in den basalen astlosen Teilen mit fast gleicher Geschwindigkeit, wobei eine Korrelation zwischen der Jahresringsbreite und der Geschwindigkeit zu bestehen scheint. BAUMGARTNER (1934) hat gefunden, dass bei der Birke die Geschwindigkeit in den feineren Zweigen grösser wird. In dieser Arbeit sind die Geschwindigkeiten in den Ästen nicht näher verfolgt, aber in der Baumkrone geht die Farbe in dem Hauptstamme langsamer weiter als im astlosen Stamme. Im allgemeinen kommt die Farbe bei gleichgrossen Bäumen bei denjenigen Stämmen später in den Wipfel, wo die Krone niedriger beginnt. HUBER hat im allgemeinen gefunden, dass bei derselben Baumart bei Bäumen von ungleichen Dimensionen die Geschwindigkeiten in der Wipfelregion ungefähr gleich sind, in den Basalteilen aber bei kleineren Stämmen kleiner, der Fall und die mittlere Geschwindigkeit also bei kleineren Stämmen kleiner ist. Er drückt dieses Verhalten so aus, dass die kleineren Bäume in Bezug auf die Geschwindigkeiten nicht die Miniaturbilder der grossen darstellen, sondern wie gesonderte Abschnitte dieser zu betrachten sind. Dasselbe könnte man auch nach den beschriebenen Versuchen sagen, mit dem Unterschied, dass die mittlere Geschwindigkeit nicht mit der ganzen Baumhöhe, sondern mit der Höhe des astlosen Stammes zunimmt.

Der Weg des Transpirationsstromes

In der longitudinalen Richtung stieg die Farbe in allen Jahresringen wohin sie injiziert war (1—43 Jahren), in allen Teilen des Jahresringes. Sowohl gleich nach dem Versuche als auch nach längerer Trockenlegung sektioniertes Material wies das gleiche Bild. Bei Injektion in die Äste wanderte die Farbe im Holze auch abwärts (Tab. 1, Nr. 36, 37, 38), ebenfalls in allen Teilen des Jahresringes, aber viel langsamer als aufwärts. Im Stamme, wo die Verbindung mit den Wurzeln unterbrochen wurde, indem man den Stamm über dem Erdboden durchsägte, den Baum aber stehen liess, war bei einer Injektion in einen Ast die Strömung abwärts in den Stamm und von dort wieder aufwärts in die höheren Äste und Wipfel viel schneller (Tab. 1, Nr. 39). Anscheinend kann der Strom in der Baumkrone sich in jeder Richtung bewegen, von mit Wasser besser versorgten Teilen in die schlechter versorgten. Bei einem stehenden Baume, wo gleichzeitig mit Beginn der Injektion, die Krone abgesägt war, stieg die Farbe viel langsamer als bei dem daneben stehenden gleichgrossen Kontrollbaum, aber doch auf einige Meter Höhe (Tab. 1, Nr. 48). — Bei der Steigung kam die Farbe während derselben Zeit in verschiedenen Jahresringen auf verschiedene Höhe. Dabei kann man nicht sagen, dass sie in äusseren Jahresringen schneller

stieg als in inneren oder umgekehrt. Auch MACDOUGAL u. a. (1929) finden, dass die Steigungsgeschwindigkeit in verschiedenen Jahresringen unregelmässig ist. In welchen Jahresringen die Farbe nach verschiedenen Versuchszeiten am weitesten gekommen war, darüber findet man eine Übersicht in der Tabelle 1.

Bei der Birke fand man auch eine radiale Bewegung der Farbe, d. h. einen Übergang von einem Jahresring in andere. Die Farbe bewegte sich von den injizierten Jahresringen sowohl nach aussen als in einigen Fällen auch nach innen (Tab. 1). Solchen Übergang fand man schon in dem astlosen Stamme, besonders aber bei den Ansatzstellen der Äste. Bei dem Übergang von Stamm zu Ast stieg die Farbe weiter sowohl in dem Aste als auch in dem Stamme in den Jahresringen, wo sie bisher fehlte. In allen Ästen, mit Ausnahme der Basis der älteren Äste, wo die Farbe nur in den injizierten Jahresringen oder ihren Nachbarn, zu finden war, kam die Farbe auch in die allerjüngsten Jahresringe, in welche sie bei der Mehrzahl der Versuche nicht injiziert worden war. Selbst an der Basis alter vertrockneter Äste konnte man einen Übergang in andere Jahresringe finden.

Es wird oft unterstrichen, dass jeder Jahresring ein gesondertes System bildet, und ein Übergang von einem in den anderen nicht existiert (MACDOUGAL u. a. 1929). Die Gefässe der Blätter sind in unmittelbarer Verbindung nur mit dem Holze des letzten Jahres. Die Saugung der Blätter wird aber auf alle Jahresringe übertragen. Nach MACDOUGAL (1929) geschieht diese Übertragung nur in der vertikalen Richtung. Das Wasser wird am oberen Ende eines Jahresringes in den nächsten jüngeren weitergesaugt u. s. w. bis es in das jüngste Holz gelangt. STRASSBURGER (1893) findet, dass einzelne Jahresbildungen durch Poren verbunden sind und dass somit die radiale Bewegung möglich sein sollte. BAKER und JONES (1933) finden, dass bei dem Ahorn die radiale Bewegung ohne Hindernisse vor sich geht. Auch bei der Birke findet man eine radiale Bewegung schon in den älteren Teilen des Stammes, wo nicht von oberen Grenzen der Jahresringe die Rede sein kann. Nach MÜNCHS Theorie (1930) geschieht die wiedererfüllung der innersten wasserfrei gewordenen Holzteile durch Markstrahlen und Holzparenchymzellen, welche das freigewordene Entstehungswasser aus dem neugebildeten Holze nach innen weiter leiten. Nach ihm findet also eine starke radiale Bewegung des Wassers statt. Dasselbe unterstreicht LANGNER (1932) bei seinen Untersuchungen über die Wasserverteilung im Fichtenholze.

Interessant bei den gegenwärtigen Versuchen war, dass in allen Fällen, auch bei den ganz gerade gewachsenen Stämmen, die Farbe nicht vertikal oder nahezu vertikal aufstieg, sondern unter einem gewissen Winkel, also eine langsam steigende Spirale bildend. Der Steigungswinkel und die Richtung waren verschieden. Ebenfalls war die Grösse der tangentialen Bewegung in einzelnen Jahresringen verschieden (vgl. Fig. 2—4). Dass man bei dem steigenden Strom eine tangentialen Bewegung findet, ist bekannt, ebenfalls, dass sie stärker ist, als die radiale Bewegung; näher beschrieben ist sie aber bisher nicht. Mac Dougal u. a. (1929) erwähnt, dass man eine laterale Bewegung bei den Ansatzstellen der Äste findet: ein Teil des Stromes geht

in die Äste, während ein Teil die Äste umgeht und weiter steigt. Dasselbe zeigten auch die hier beschriebenen Versuche, aber die tangentielle Bewegung war stark auch in dem geraden astlosen Stamme. Zu der merkbaren lateralen Bewegung kommt noch, dass der die Farbe führende Teil gegen den Wipfel immer breiter wird. Die Richtung der Spirale kann sowohl rechts- als linkswindig sein und ist nicht abhängig von der Stellung der Injektionsstelle zu den Ästen der Baumkrone. Die Spirale ging in derselben Richtung wie die Fasern in den äussersten Jahresringe, war aber stärker.

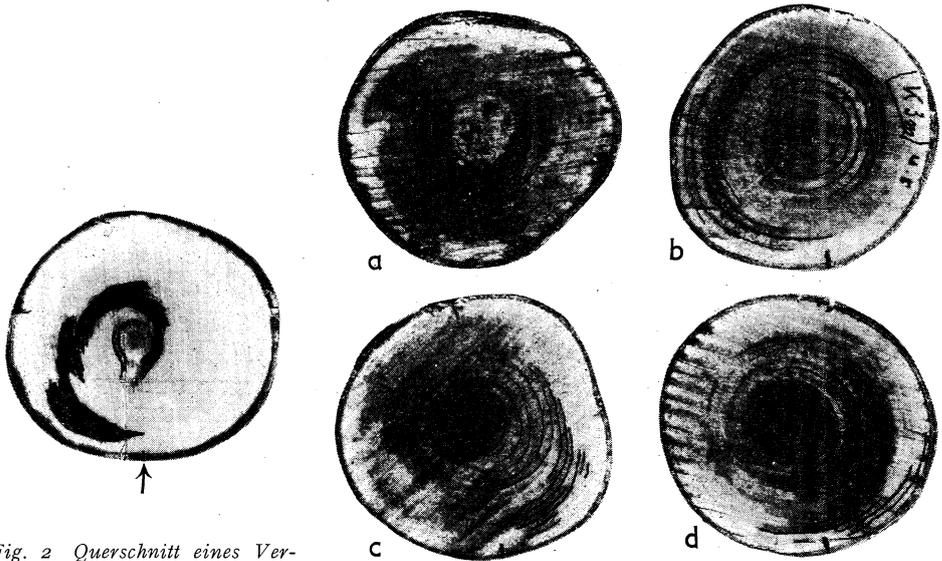


Fig. 2 Querschnitt eines Versuchsbaumes (Tab. 1, Nr. 45) auf 2 m Höhe von der Injektionsstelle. Vertikallinie von der Injektionsstelle durch einen Strich markiert. Die Farbe führenden Teile der Jahresringen sind schwarz gefärbt.

Fig. 3. a: Versuchsbaum Nr. 46 unmittelbar oberhalb der Injektionsstelle. b: Derselbe Baum auf 3 m Höhe. c: Versuchsbaum Nr. 43 auf 1,5 m Höhe. d: Versuchsbaum Nr. 47 auf 2 m Höhe. Injektionsstellen durch einen Strich markiert. Um ein deutlicheres Bild zu geben, sind die Farbe führenden Teile einzelner Jahresringe durch einen schwarzen Strich an der Jahresringsgrenze markiert.

Über den spiralen Faserverlauf bei den Laubböhlzern findet man wenig Angaben; PRIESTLEY (1945) behauptet sogar, dass er nur ausnahmsweise existiert. In derselben Arbeit wird behauptet, dass der Winkel der Fasern, wenn er einmal existiert, mit dem radialen Zuwachs immer grösser wird, da er durch die Endpunkte der Markstrahlen bestimmt wird. In diesem Falle sollen die Fasern in allen Jahresringen auf derselben Höhe eine Vollandrehung bilden und die Farbe soll sich auf jeder Höhe in allen Jahresringen auf demselben Radius befinden. Dies stimmt nicht überein mit den hier durchgeführten Versuchen. Ein anderes Bild gibt der Fall, wo die Fasern auf dem ganzen Diameter den gleichen Neigungswinkel haben. In diesem Falle wird von den Fasern eine Spirale gebildet, bei welcher die Höhe auf welcher die Vollandrehung gebildet wird mit dem Stammdurchmesser proportional steigt.

Die Steigung der Spirale wird durch die Formel $\frac{a}{b} = \tan \alpha$ ausgedrückt, wobei α den Winkel der Fasern von der Vertikalrichtung, b die Höhe eines Punktes auf der Spirallinie in der Vertikalrichtung und a die Entfernung dieses Punktes von dem Ausgangspunkte, gemessen auf dem Stammumkreis, bezeichnen (Fig. 4). Im Falle,

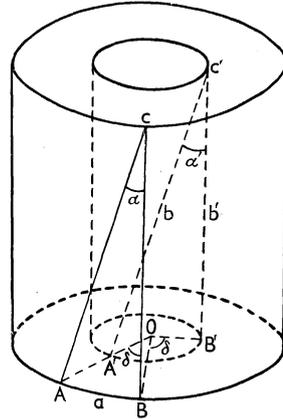
Fig. 4. Diagramm, welches die seitliche Verschiebung der Fasern (AB und A' B') bei demselben Faserwinkel α und verschiedenem Stammradius (OA; OA') illustriert. Die Geometrie der Spirale wird folgendes ausgedrückt:

$$AB = a; BC = b; \frac{a}{b} = \tan \alpha$$

Bei der Volldrehung der Fasern entspricht a den Umkreis des Stammes. Die seitliche Verschiebung (δ) am Querschnitte auf jeder beliebigen Höhe (b) bei wachsendem Radius (r) und gleichem Faserwinkel (α) ist umgekehrt proportional dem Stammradius:

$$AO = r; A'O = r' \text{ Wenn } \alpha = \alpha' \text{ und } b = b', \text{ ist } a = a'.$$

$$\frac{360}{\delta} = \frac{2\pi r}{a}; \frac{360}{\delta'} = \frac{2\pi r'}{a'}; \frac{r'}{r} = \frac{\delta}{\delta'}$$



wo die Spirale eine Volldrehung bildet, ist a gleich dem Stammumkreis = U . Die Höhe, bei dem eine Volldrehung bei dem Faserwinkel und Stammumkreise U gebildet wird, wird hier als H bezeichnet. Fig. 5 illustriert, wie bei einem bestimmten Winkel α , H proportional mit U resp. mit dem Radius des Stammes steigt; also dass z. B. bei einem Winkel von 3° die Höhe der Volldrehung bei $r = 5$ cm 6 m ist und bei $r = 10$ cm die Höhe der Volldrehung 12 m ist, was sich auf einem auf 6 m genommenen Querschnitte so zeigen würde, dass die Farbe in Jahresringen auf Radius von 5 cm sich 360° verschoben hat und in Jahresringen auf Radius von 10 cm nur 180° . Wie bei Fig. 6 näher erklärt wird, ist die seitliche Verschiebung am Querschnitte

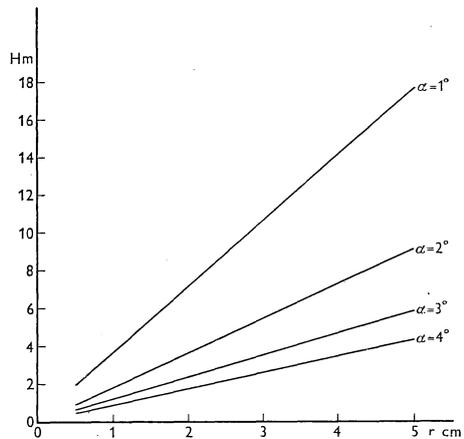


Fig. 5. Diagramm, welches die Höhe der Volldrehung (H) bei der Spirale als Funktion von Stammradius (r) bei verschiedenem Steigungswinkel (α) zeigt.

bei gleichem Faserwinkel umgekehrt proportional mit dem Stamradius. Im Querschnitte an jeder beliebigen Baumhöhe wird sich also eine tangentiale Verschiebung der Farbe zeigen, die bei den innersten Jahresringen am weitesten, bei den äussersten am nächsten dem Ausgangspunkte steht. Ein solches Bild stimmt ziemlich überein mit unseren Versuchsbildern, besonders wenn man die Unregelmässigkeiten in dem Faserverlauf mit ins Betracht zieht. In der Tabelle 8 wird eine Analyse der Faserrichtungen und der Verschiebung der Farbe in einzelnen Jahresringen bei Stamm Nr. 47 gegeben.

Wenn man in der Tabelle 8 die Faserwinkel resp. die Farbensteigungswinkel vergleicht, sieht man, dass sie wohl einander nahe stehen, also prinzipiell dasselbe Bild geben könnten, dass aber die gemessenen Faserwinkeln immer kleiner waren als der Drehung der Farbe entsprechender Winkel. Die Unterschiede sind in diesem Falle nicht gross und könnten auch als Versuchsfehler angesehen werden, zumal dass die Bestimmung so kleiner Winkel auf einer längeren Strecke ziemlich beschwerlich ist, weil der Faserwinkel auch in demselben Jahresringe veränderlich ist. Ein drastischeres Bild gibt Tab. 9, wo z. B. bei dem Stamme Nr. 41 Faserwinkel $0-1^\circ$ gemessen wurde, nach der Farbdrehung aber $\tan \alpha = 0,0524$, also entsprechend dem Winkel von 3° gefunden wurde. Bei einem Teile der Versuchsstämme wurde ein merkbarer Faserwinkel ($3-5^\circ$) gefunden; bei den meisten war er aber kaum bemerkbar ($0-2^\circ$). Bei keinem dieser Stämme ist aber die Farbe, wie schon vorher hervorgehoben, gerade oder nahezu gerade gestiegen. Das gleiche kann man auch von den entsprechenden Versuchen mit Erle und Espe sagen, welche Resultate aber, um das Material nicht allzu auszudehnen, nicht mit in die Tabellen genommen sind. Die Geometrie der Spirale gibt bei einem geringen Faserwinkel eine genügende Erklärung für die stärkere Verdrehung der Farbe in den innersten Jahresringen; die zahlenmässigen Angaben stimmen aber nicht recht überein.

Mit den angewendeten Feldmethoden ist es zwar nicht möglich, den Faserverlauf und die Farbenverdrehung genauer zu verfolgen, um eine genügende Erklärung für die beschriebenen Beobachtungen zu geben. Soviel kann man aber nach diesen Versuchen über den Verlauf des steigenden Stromes zusammenfassend sagen, dass bei dem steigenden Strome bei der Birke sowohl eine radiale als eine tangentiale Bewegung stattfindet, und dass man den Weg des steigenden Stromes, wenigstens bei der Birke, nicht als eine aus vertikalen Teilströmen zusammengesetzte bewegung auffassen kann, sondern vielmehr als zusammengesetzt aus spiraligen Teilströmungen, welche in verschiedenen Teilen des Holzes mit ungleicher Geschwindigkeit fortsetzen und in den inneren Jahresringen schneller eine Voldrehung bilden als in den äusseren. Wie hoch die einzelnen Teilströme während der gleichen Zeit in der Vertikalrichtung kommen, ist abhängig von den Dimensionen der leitenden Elemente, von ihrem Steigungswinkel, und bei dem gleichen Winkel, von dem Stammdurchmesser.

Zusammenfassung

Die Geschwindigkeit und der Weg des steigenden Stromes bei der Birke wurde mit der Farbstoff-Injektionsmethode gemessen. Es zeigte sich folgendes:

- 1) Die mittlere Geschwindigkeit bei 3-stündigen Versuchsperioden wurde umgerechnet auf Wasser 1,9—2,25 m/Stunde gemessen.
- 2) Die tägliche Geschwindigkeitskurve an der Stammbasis folgt mit einiger Verspätung der Transpirationskurve.
- 3) Wenn man den Baum als ganzes betrachtet, ist die Steigung in der Krone langsamer als in dem astlosen Stamme.
- 4) Bei 30—40-jährigen Birken steigt der Strom in allen Jahresringen. Bei älteren Stämmen wurde die Farbe in wenigstens 43 Jahresringen gefunden.
- 5) Bei der Birke existiert eine radiale Bewegung des steigenden Stromes.
- 6) In allen Stämmen erwies sich eine starke tangentielle Bewegung, so dass der Strom in allen Jahresringen nicht vertikal oder nahezu vertikal stieg, sondern in einzelnen Jahresringen eine langsam steigende Spirallinie bildete, in den inneren Jahresringen sich mehr zur Seite drehend als in den äusseren.
- 7) Es wird versucht die erhaltene Spiralbewegung mit dem Faserverlauf zu vergleichen. Nach der Geometrie der Spirale gibt ein in dem ganzen Stamme existierender kleiner Faserwinkel ein prinzipiell gleiches Bild; bei Stämmen mit nahezu geraden Fasern wurde aber die Verdrehung des Stromes stärker gefunden, als es sich nach dem Faserwinkel berechnen liess.

Tab. I. Die Steigung der Farblösung in Stämmen der Birken nach verschiedenen Versuchsperioden, mit Beginn von der Stammbasis

Nr.	Versuchsbeginn Uhr	Versuchsdauer Stunden	Baumhöhe m	Beginn der Krone m	Mittlere Jahreshringbreite mm	Höhe der Farbsteigung m	Mittlere Geschwindigkeit m/St.	Farbe gestiegen % von der Baumhöhe	Injizierte Jahresringe (von ausen)	Farbe insgesamt in Jahresringen	Farbe am höchsten in Jahresring	Laterale Bewegung ¹
1	8	3	12,5	5,0	1,62	5,25	1,75	43	1—15	1—17	8—10	110
2	9	3	10,5	5,8	1,61	5,5	1,81	52	1—12	1—12	10—12	90
3	8	3	10,3	3,8	1,84	4,5	1,50	45	1—19	1—19	2—4	90
4	15	3	10,2	4,1	1,70	4,8	1,60	47	1—15	1—15	6	270
5	15	3	7	2,2	1,67	5	1,67	71	1—11	1—11	4	220
6	8	3	6	3,5	1,79	5	1,67	83	3—17	2—15	2—3	360
7	8	3	4,5	2,0	1,75	4,5	1,50	100	3—20	1—20	1, 2	45
8	8	6	14	1,7	3,78	5,8	0,93	42	3—16	1—18	2—5	75
9	8	6	13,5	5,2	1,21	7,0	1,17	54	2—21	1—21	4—6	120
10	9	6	11	6,8	1,98	9,5	1,6	86	1—22	1—22	1, 4, 5	320
11	10	6	9	4,5	1,81	7,25	1,2	80	1—17	1—17	8—10	250
12	8	6	8,5	4,1	2,03	6,5	1,12	76	3—16	1—16	3—5	100
13	8	6	8,5	4,7	2,06	7,2	1,2	85	2—16	1—16	1—5	120
14	8	6	6,5	2,8	1,31	6	1,0	92	3—18	1—18	8—10	
15	8	6	5,8	2,1	2,15	5	0,83	91	4—13	1—13	3	
16	8	12	17	9,8	3,90	14	1,17	82	3—19	1—18	2, 5	140
17	8	12	16	5,8	2,10	11	0,91	73	2—20	1—21	8—10	285
18	9	12	11	4,3	2,10	9,5	0,85	85	3—18	1—18	1, 4, 5	210
19	8	12	10	1,4	2,26	6,5	0,39	65	2—12	1—16	1—3	230
20	8	12	10	4,7	2,76	9,6	0,80	96	1—17	1—17	1—17	
21	8	12	9,5	3,2	2,85	8,6	0,72	91	1—18	1—18	1—18	
22	8	12	8,0	3,5	1,65	8,0	0,66	100	1—16	1—16	1—16	
23	8	24	13	9,5	3,51	11,5	0,48	88	4—20	2—21	1—3	
24	9	24	11	5,2	2,0	10	0,40	91	4—25	1—25	1—2	
25	8	24	10,5	4,8	2,0	10,3	0,43	98	1—20	1—20	1, 2	210
26	8	24	10,5	3,2	1,90	9,8	0,41	93	1—21	1—21	1—3	
27	8	24	10,3	3,0	2,50	10	0,43	97	1—18	1—20	1—2	
28	10	24	7,5	2,7	2,50	7,5	0,31	100	1—13	1—13		
29	8	30	11	6,5	2,26	11	0,37	100	2—20	1—20	1	
30	8	32	15,8	4,5	4,21	12	0,40	80	1—19	1—19	4, 5	380
31	8	150	12	3,8	2,67	12	0,08	100	1—16	1—16	1	
32	8	6	8,5	3,5	1,86	1,75	—	—	regnet 3 Stunden			
33	10	6	9,5	5,2	2,00	—	—	—	regnet die ganze Zeit			
34	10	6	6,5	1,8	2,4	2,5	0,41	—	Schneegebogter Stamm			
35	10	6	6,0	2,1	2,2	1,6	0,27	—	Schneegebogter Stamm			
36	8	9	5,5	2,6	—	0,80	—	—	Injektion in einen Ast.			
37	10	6	4,3	2,1	—	0,80	—	—	» » » »			
38	10	24	5,4	2,7	—	1,80	—	—	» » » »			
39	8	30	6,7	2,5	—	0,8+2,7	—	—	» » » »			
40	9	8	26,5	5,8	2,26	8,5	1,06	—	6—43	1—43	17—18	390
41	8	6	27	11,8	2,44	7,3	1,2	—	6—40	1—40	12, 9, 10	310
42	9	28	25,5	17,5	2,50	17,5	0,62	—	8—35	1—35	1—3	510
43	10	2	18	1,05	2,05	2,65	1,32	—	4—18	1—18	4, 5	100
44	10	2	15	0,8	1,88	2,40	1,20	—	2—15	1—17	1, 3	75
45	9	6	19,5	8,0	2,1	5,2	0,87	—	9—28	3—28	6—8	270
46	9	6	17,8	8,0	1,9	5,5	0,91	—	9—28	2—28	4, 5	210
47	10	6	10,5	3,5	1,7	8,6	1,45	—	2—27	1—27	1—4	360
48	10	6	11,8	4,8	2,0	2,2	0,38	—	2—32	1—32	4—12	100

¹ Laterale Bewegung ist angegeben für die Jahresringe, wo die Farbe am höchsten stieg.
 Versuche 1—39 sind durchgeführt in Torsåker, Gästrikland, Juni—Juli 1945.
 » 40—48 » » » Malingsbo, Dalarna Aug. 1946 u. 1947.

Tab. 2. Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes während eines Tages am Basalteile des Stammes bei 13—15 jährigen Birken. 18.7.45

Nr.	Diam. des Stammes cm	Alter	Höhe m	Versuchszeit Uhr	Steigen der Farbe m	Geschwindigkeit m/Stunde
82	5,4	14	6,0	5—8	3,20	1,07
69	6,1	15	6,2	8—11	5,0	1,67
71	6,8	15	6,0	11—14	4,2	1,40
73	5,2	14	5,5	14—17	4,8	1,60
75	6,5	14	5,3	17—20	1,6	0,53
78	5,5	13	5,8	20—23	0,3	0,1
80	6,0	15	5,5	23—5	2,1	0,7

Tab. 3. Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes auf verschiedenen Wuchsorten

Nr.	Wuchsort	Baumhöhe m	Beginn der Krone m	Mittlere Jahresringbreite	Versuchsdauer Stunden	Geschwindigkeit m/Stunde
1	trocken	12,5	5,0	1,62	3	1,75
2	feucht	10,5	5,8	1,61	3	1,81
12	trocken	8,5	4,1	2,03	6	1,12
13	feucht	8,5	4,7	2,06	6	1,2

Tab. 4. Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes bei Bäumen von verschiedenen Dimensionen an demselben Wuchsort (trocken)

Nr.	Baumhöhe m	Beginn der Krone m	Mittlere Jahresringbreite mm	Versuchsdauer Stunden	Geschwindigkeit m/Stunde
4	10,2	4,1	1,70	3	1,60
5	7	2,2	1,67	3	1,67
9	13,5	5,2	1,21	6	1,17
11	9	4,5	1,81	6	1,20
17	16	5,8	2,10	12	0,91
22	8	3,5	1,65	12	0,67

Tab. 5. Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes bei Bäumen von gleicher Höhe aber ungleich grossen Kronen

Nr.	Baumhöhe m	Alter	Beginn der Krone m	Mittlere Jahresring- breite mm	Versuchs- dauer Stunden	Mittlere Ge- schwindig- keit m/Stunde	
45	19,5	41	8	2,1	6	0,87	Krone gross » klein
46	17,8	34	8	1,9	6	0,91	

Tab. 6. Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes bei Bäumen mit verschiedener Jahresringbreite

Nr.	Baumhöhe m	Beginn der Krone m	Mittlere Jahresring- breite mm	Versuchs- dauer Stunden	Mittlere Geschwindig- keit m/Stunde
2	10,5	5,8	1,61	3	1,81
1	12,5	5,0	1,62	3	1,75
5	7	2,2	1,67	3	1,67
4	10,2	4,1	1,70	3	1,60
7	4,5	2,0	1,75	3	1,50
6	6	3,5	1,79	3	1,67
3	10,3	3,8	1,84	3	1,5
9	13,5	5,2	1,21	6	1,17
14	6,5	2,8	1,31	6	1,20
11	9	4,5	1,81	6	1,20
10	11	6,8	1,98	6	1,60
12	8,5	4,1	2,03	6	1,12
13	8,5	4,7	2,06	6	1,2
15	5,8	2,1	2,15	6	0,83
8	14	1,7	3,78	6	0,93

Tab. 7. Die Höhe des astlosen Stammes und die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes

Nr.	Baumhöhe m	Beginn der Krone m	Mittlere Jahresring- breite mm	Versuchs- dauer Stunden	Farbe gestiegen m	Mittlere Geschwin- digkeit m/Stunde
13	8,5	4,7	2,06	6	7,2	1,2
14	6,5	2,8	1,31	6	6	1,0
15	5,8	2,1	2,15	6	5	0,83
16	17	9,8	3,90	12	14	1,17
17	16	5,8	2,10	12	11	0,91
19	10	1,4	2,26	12	6,5	0,39
22	13	5,2	3,51	24	11,5	0,48
25	10,5	2,4	1,90	24	9,8	0,41

Tab. 8. Der Faservinkel und der Winkel der Farbensteigung bei Versuchsstamm Nr. 47 auf der Höhe von 4 m

Jahresring Nr.	Stammradius cm	Stammumkreis cm	Gemesener Faservinkel α	Höhe der Volldrehung bei den Fasern = κ m	Die Verschiebung der Farbe am Querschnitte δ	Höhe der Volldrehung bei der Farbe = κ_1 m	entsprechender Winkel α_1
0	5,45	34,88	5° 30'	3,09			
1	5,39	34,56	4° 40'	4,13			
2	5,33	34,24	4° 40'	4,13			
3	5,27	33,60	4° 40'	4,17			
4	5,21	33,28	4° 10'	4,58			
5	5,15	32,96					
6	5,12	32,64	4° 50'	4,15	330°	4,69	3° 15'
7	5,04	32,32	4° 20'	4,40	330°	4,69	3° 06'
8	4,96	31,68	3° 50'	4,48	360°	4,30	4° 42'
9	4,88	31,36	3° 10'	5,78	360°	4,30	4° 48'
10	4,75	30,40	3° 00'	5,82	380°	4,09	4° 42'
11	4,68	30,08	3° 50'	4,48	390°	3,96	4° 35'
12	4,40	28,16	3° 00'	5,52	390°	3,96	4° 54'
13	4,26	27,20	2° 10'	7,35	450°	3,44	4° 30'
14	4,10	26,24	3° 50'	4,30	480°	3,23	4° 20'
15	3,98	25,60	3° 30'	4,13	495°	3,09	4° 16'
16	3,85	24,64	3° 20'	4,32	495°	3,09	4° 24'
17	3,73	24,00	2° 20'	6,00	480°	3,23	4° 42'
18	3,58	23,04	3° 30'	3,72	480°	3,23	4° 56'
19	3,48	22,40	3° 50'	3,32	495°	3,09	4° 48'
20	3,35	21,46	2° 10'	5,80	495°	3,09	4° 00'
21	3,18	19,97	2° 00'	5,87			
22	2,93	18,40	3° 20'	3,12			
23	2,65	16,64	3° 00'	3,20			
24	2,28	14,32	3° 00'	2,75	495°	3,09	2° 20'
25	2,03	12,75	2° 30'	2,96			
26	1,72	10,80	3° 30'	1,77			
27	1,48	9,29	3° 10'	1,68			
28	1,05	6,59	2° 40'	1,24			

Tab. 9. Faservinkel und Farbenverschiebung bei Stämmen Nr. 41, 28 u. 12 auf 1 m Höhe

Stamm Nr.	Faservinkel α	Jahresring Nr.	Stammradius cm	Höhe der Volldrehung der Fasern (Stammumkreis/tan α) = H m	Verschiebung der Fasern am Querschnitte auf 1 m Höhe (360/H)	Verschiebung der Farbe am Querschnitte auf 1 m Höhe
41	0—1°	1	5,5	19,7	18°	10°
		4	4,5	16,3	22°	45°
		8	3,5	12,6	30°	90°
		10	2,5	8,9	40°	150°
12	0—1°	1	3,1	11,1	32°	30°
		2	2,8	10,0	36°	45°
		4	2,4	8,6	42°	80°
		6	2,1	7,5	48°	90°
28	0—2°	1	2,7	4,8	71°	60°
		2	2,4	4,3	83°	90°
		3	2,1	3,8	90°	90°
		4	1,8	3,2	110°	120°
		5	1,5	2,7	130°	120°
		6	1,1	2,0	180°	150°

Literaturverzeichnis

1. ARNDT, C. H., 1929: The movement of sap in *Coffea arabica* L. — Amer. Journ. Bot., 16, 179.
2. AUCHTER, E. C., 1923: Is there normally a cross transfer of food, water and minerals in woody plants? — Maryland Sta. Bull., 257.
3. BAKER, H., and JONES, W. O., 1933: The behaviour of dyes in transpiration stream of sycamores. — The New Phytologist, 24, 4.
4. BAUMGARTNER, W. A., 1934: Thermoelktrische Untersuchungen über die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes. — Zeitschr. f. Bot., 28, 81.
5. COSTER, CH., 1931: Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes. — Planta, 15, 3.
6. HARVEY, R., 1930: Tracing the transpiration stream with dyes. — Amer. Journ. Bot., 17, 657.
7. HUBER, B., 1932: Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftströme. — Ber. Deutsch. Bot. Ges., 50, 89.
8. — und SCHMIDT, E., 1936: Weitere thermoelktrische Untersuchungen über den Transpirationsstrom der Bäume. — Tharandt, forstl. Jahrb., 87.
9. KÜSTER, E., 1942: Vitalfärbung und Vakuolenkonzentration. — Zeitschr. wiss. Mikrosk., 58, 245.
10. LANGNER, W., 1932: Die Wasserverteilung im Stammholz der Fichte und ihre Veränderungen. — Diss. Leipzig.
11. MACDOUGAL, D. T., OVERTON, J. B., and SMITH, G. M., 1929: The hydrostaticpneumatic system of certain trees: movements of liquids and gases. — Carn. Inst. Wash. Publ. 397.
12. MILLER, E. C., 1931: Plant Physiology. — New York.
13. MÜNCH, E., 1930: Die Stoffbewegungen in der Pflanze. — Jena.
14. PEIRCE, G. Y., 1929: To demonstrate the course of sap ascent in plants. — Science, n. s., 186.
15. PRIESTLEY, J. H., 1945: Observations in the spiral grain in timber. — Amer. Journ. Bot., 52, 5.
16. SACHS, J., 1878: Ein Beitrag zur Kenntnis des aufsteigenden Saftstroms in transpirierenden Pflanzen. — Arb. Bot. Inst. Würzburg, 2, 148.
17. — 1882: Verhalten färbender und nichtfärbender Lösungen in Fließpapier. — Arb. Bot. Inst. Würzb., 6.
18. SCHUMACHER, W., 1934: Untersuchungen über die Wanderung des Fluoresceins in den Siebröhren. — Jahrb. wiss. Bot. — 77, 685.
19. STRASSBURGER, E., 1891: Über den Bau und Verrichtungen der Leitungsbahnen in Pflanzen. — Jena.
20. — 1893: Über das Saftsteigen. — Jena.
21. STOUT, R. A. and HOAGLAND, C., 1939: Upward and lateral movement of salt in certain plants as indicator of radioactive isotops of K, Na, and P absorbed by roots. — Amer. Journ. Bot. 26, 1320.
22. STRUGGER, S., 1940: Neues über die Vitalfärbung pflanzlicher Zellen mit Neutralrot. — Protoplasma 34, 601.
23. — 1943: Der aufsteigende Saftstrom in den Pflanzen. — Naturwiss., 31, 181.
24. WALLDÉN, P., 1934: Untersuchungen über die Abhängigkeit der technischen Eigenschaften vom anatomischen Bau des Birkenholzes nach Zellmessungen. — Acta forest. fenn. 40, 14.