© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Untersuchungen über die Festigkeitsverhältnisse an exzentrischen Organen und ihre Bedeutung für die Erklärung des exzentrischen Dickenwachstums.

Von

A. Ursprung.

Nachdem ich schon früher[1]) nachgewiesen hatte, daß an einem im großen und ganzen aufrechtstehenden Stamme von *Fraxinus excelsior*, der eine bajonettartige Verbiegung aufwies, durch das exzentrische Dickenwachstum die Krümmung ausgeglichen wurde, zeigte ich vor kurzem,[2]) daß dem besprochenen Modus des Dickenwachstums eine allgemeinere Bedeutung zukommt.

Basierend auf einer großen Zahl von Beobachtungen wurde gefunden, daß in dem einfachen und durchsichtigen Falle der bajonettartigen Krümmung eines sonst vertikalen Stammes nicht eine einzige Ausnahme von der genannten Regel sich nachweisen ließ. Wir sind daher berechtigt, zu sagen, daß in bajonettartig gekrümmten Stämmen das exzentrische Dickenwachstum nach dem Prinzip der Ausgleichung der Krümmungen erfolgt. Dieses Verhalten fand sich auch bei komplizierter verbogenen, schlangenartig gewundenen Stämmen bestätigt: selbst Äste, die eine mehr oder weniger horizontale Lage besaßen und schlangenartig gekrümmt waren, zeigten häufig eine ähnliche Anordnung des sekundären Zuwachses wie die Stämme.

Daß dieses Prinzip nicht alle Fälle des exzentrischen Dickenwachstums in sich fassen kann, geht schon daraus hervor, daß oft auch Organe, denen jegliche Krümmung fehlt, exzentrischen Bau aufweisen. Die früheren Untersuchungen haben jedoch gelehrt, daß man streng zu unterscheiden hat zwischen Organen, die nicht gekrümmt sind, und zwischen Organen, die nicht mehr gekrümmt sind, da eben schwache Krümmungen durch

---

[1]) Ursprung, A. Beitrag zur Erklärung des exzentrischen Dickenwachstums. (Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1901.)

[2]) Ursprung, A. Untersuchungen über das exzentrische Dickenwachstum von Stämmen und Ästen. (Beihefte z. bot. Centralb. Bd. XIX. 1905. Abt. 1. Heft 2.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

das exzentrische Dickenwachstum ausgeglichen werden können. Die Verteilung des Zuwachses an früher schlangenartig verbogenen Ästen soll jetzt vollständig unberücksichtigt bleiben.

Aber selbst an gekrümmten Organen kommt dem Gesetze keine allgemeine Gültigkeit zu, was ich auch in meiner letzten Arbeit ausdrücklich betont habe. Stämme, die weder bajonettartig, also doppelt oder schlangenartig, also mehrfach, sondern einfach gekrümmt sind, zeigen ein Verhalten, das mit dem Prinzip der Krümmungsausgleichung nichts zu tun hat und ebenfalls besonders zu untersuchen ist.

An horizontalen Ästen war bis jetzt nur die elliptische Querschnittsform oder bei rundem Querschnitt die Rotholzbildung teleologisch erklärt, durch die Vergrößerung der Biegungsfestigkeit in vertikaler Richtung, d. h. in Richtung der biegenden Kraft. Dagegen blieb es völlig unverständlich, weshalb bald Epinastie, bald Hyponastie vorkommt.

Durch die schönen Untersuchungen von Sonntag[1]) wurde nachgewiesen, daß an Stämmen und Ästen von *Picea* das Weißholz zugfester ist als das Rotholz, das Rotholz druckfester als das Weißholz. Hiermit ist nun auch eine kausalfinale Erklärung dafür gegeben, daß das Weißholz auf der Zugseite, das Rotholz auf der Druckseite sich findet. Auf das exzentrische Wachstum selbst wird aber hierdurch noch kein Licht geworfen. Auch bei zentrischem oder diplonastischem Bau kann theoretisch genau dasselbe Ziel erreicht werden, ja es will scheinen, als ob Diplonastie, bei welcher oben Weißholz und unten Rotholz ausgebildet ist, besonders günstig sein müßte. Sollte man aber diesen Punkt dadurch zu erledigen suchen, daß man von Konstruktionsvariationen spricht oder es spezifischen Eigentümlichkeiten zuschreibt, daß gleichgestaltete und gleich gelagerte Organe bald so, bald anders sich verdicken, so hat man damit natürlich gar nichts erklärt, das eine Fragezeichen wird einfach durch ein anderes ersetzt.

Die Entdeckung der Verschiedenheiten in der Zug- und Druckfestigkeit auf den antagonistischen Seiten erklärt wohl die verschiedene Ausbildung der auf den beiden Seiten der neutralen Schicht gelegenen Gewebe, sie erklärt die Unsymmetrie in Bezug auf die anatomische Struktur, nicht aber die Exzentrizität.

Ebenso ist es völlig unbekannt, weshalb an Hängen stehende Buchen und Fichten, die an der Basis eine einfache Krümmung aufweisen, bei gleichen äußeren Verhältnissen und gleicher Gestalt des Stammes gerade entgegengesetztes Dickenwachstum zeigen.

Ich hoffe in dieser Abhandlung einen Beitrag zu liefern zur Lösung der Frage nach der Bedeutung des exzentrischen Dickenwachstums an geraden und einfach gekrümmten Organen im allgemeinen und nach dem Zweck der Spezialfälle, besonders der Epinastie und Hyponastie.

---

[1]) Sonntag, P. Über die mechanischen Eigenschaften des Rot- und Weißholzes der Fichte und anderer Nadelhölzer. (Jahrb. f. wissensch. Bot. Bd. XXXIX. 1903. Heft 1.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Betrachtung, von der ich ausging, ist die folgende: Wenn an einem geraden, horizontalen, auf Biegung durch die Schwere beanspruchten Ast durch Ausbildung eines elliptischen Querschnittes die Biegungsfestigkeit erhöht werden soll, so kann das auf drei Arten geschehen, durch Diplo-, Epi- und Hyponastie. Je nach den Festigkeitsverhältnissen des Holzes auf der Ober- und Unterseite wird nun bald die eine, bald die andere Art des exzentrischen Dickenwachstums größeren Vorteil bieten. Wir haben hierbei drei Fälle zu unterscheiden.

1. Die Zugfestigkeit auf der Oberseite ist gleich der Druckfestigkeit auf der Unterseite.
2. Die Zugfestigkeit auf der Oberseite ist größer als die Druckfestigkeit auf der Unterseite.
3. Die Zugfestigkeit auf der Oberseite ist kleiner als die Druckfestigkeit auf der Unterseite.

Wenn an einem geraden horizontalen Ast die Zugfestigkeit auf der Oberseite gleich ist der Druckfestigkeit auf der Unterseite, dann muß es vom mechanischen Standpunkt aus ziemlich gleichgültig sein, welche Art des Dickenwachstums eingeschlagen wird, denn so lange die Festigkeitsverhältnisse der aufgestellten Bedingung[1]) entsprechen, wird in jedem Falle die Widerstandsfähigkeit der beiden antagonistischen Seiten für die ihnen zukommende mechanische Beanspruchung annähernd dieselbe sein. Einen gewissen Vorteil muß allerdings die Diplonastie bieten, da bei der gleichen Entwicklung des Zuwachses nach der Ober- und Unterseite hin das Mark in die neutrale Faserschicht zu liegen kommt und so das am wenigsten widerstandsfähige Gewebe in diejenige Zone gelagert wird, die am wenigsten widerstandsfähig zu sein braucht.

Ist an einem geraden, horizontalen Ast die Zugfestigkeit auf der Oberseite größer als die Druckfestigkeit auf der Unterseite, so muß vom mechanischen Standpunkt aus Hyponastie am zweckmäßigsten sein, um durch größere Quantität zu ersetzen, was durch geringere Qualität nicht erreicht werden konnte. Tritt zur Verbreiterung der Jahresringe noch eine Verdickung der Zellmembranen auf der Unterseite hinzu, dann wird auf doppelte Weise die Druckfestigkeit der Unterseite erhöht.

Den umgekehrten Fall haben wir dann, wenn an einem geraden, horizontalen Ast die Zugfestigkeit auf der Oberseite kleiner ist als die Druckfestigkeit auf der Unterseite. Es wird dann auch das Dickenwachstum in zweckmäßiger Weise hauptsächlich nach der entgegengesetzten Seite hin erfolgen, um das schlechtere Material durch größere Masse zu kompensieren. Natürlich muß auch hier durch eine Verdickung der Wände die Ausgleichung beschleunigt werden.

Komplizierter gestalten sich die Verhältnisse an gekrümmten Organen. Wir wollen als Beispiel einfache Biegungen nehmen,

---

[1]) Genauer, wenn Zug- und Druckfestigkeit auf der Unterseite gleich Zug- und Druckfestigkeit auf der Oberseite.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wie sie an der Basis von Stämmen, die an Hängen stehen, häufig vorkommen. Ist die Zugfestigkeit der Oberseite gleich der Druckfestigkeit der Unterseite, dann erscheint uns Epinastie zweckmäßiger, weil damit eine gewisse — wenn auch nicht sehr große — Materialersparnis und eine Verkürzung des Hebelarmes, an dem das Stammgewicht wirkt, verbunden ist. Überwiegt die Druckfestigkeit der Unterseite die Zugfestigkeit der Oberseite, dann ist epinastische Ausbildung auch noch aus dem bei horizontalen Ästen erwähnten Grunde am Platze. Wenn dagegen die Zugfestigkeit der Oberseite einen größeren Wert hat als die Druckfestigkeit der Unterseite, dann wird Hyponastie erwünscht sein, um der Druckseite die nötige Widerstandsfähigkeit zu erteilen. Epinastie würde anderseits den Vorteil der Materialersparnis und der Verkürzung des Hebelarmes mit sich bringen. Es dürfte dann je nach den in den einzelnen Spezialfällen vorhandenen Verhältnissen bald das eine, bald das andere Moment entscheidend sein.

Es handelt sich jetzt wieder um die Aufgabe, diese rein aprioristischen Betrachtungen durch experimentelle Untersuchungen zu prüfen. Eine allfällige Nichtbestätigung würde auf die Unrichtigkeit dieser Überlegungen oder auf die Vernachlässigung eines anderen Momentes hindeuten.

Als Untersuchungsmaterial verwendete ich die unterste Partie einfach gekrümmter, an Hängen stehender Buchen- und Fichtenstämme. Es handelt sich speziell um die früher[1]) erwähnten Stämme *Picea* Stamm I, Querschnitt 1, *Fagus* Stamm VIII, Querschnitt I. Ferner wurden auch an einem horizontalen, geraden Ast von *Eriodendron* Bestimmungen ausgeführt.

Methode.

Sowohl bei den Versuchen über die Zugfestigkeit als auch bei denen über die Druckfestigkeit wurden Frühholz und Spätholz jeweils getrennt untersucht.

Zur Bestimmung der Zugfestigkeit gebrauchte ich die bekannte, allgemein übliche Methode. Es wurden aus dem Holz Streifen von etwa 3 cm Länge und 3—5 mm Breite und Tiefe herausgeschnitten, und in der mittleren Partie alles Holz bis auf die zu untersuchende Stelle entfernt.

Von den dicken Enden des Streifens wurde das eine in den am Tisch in umgekehrter Lage befestigten Schraubstock eingespannt, das andere in einem kleinen Handschraubstock befestigt. An den Handschraubstock wurde ein Blechgefäß angehängt, in das man behutsam so lange Wasser fließen ließ, bis der Riß erfolgte. Der Querschnitt, an dem der Riß stattfand, wurde bei 2500facher Flächenvergrößerung aufgezeichnet und der Inhalt mit in qmm eingeteiltem Papier ermittelt.

---

[1]) Ursprung, A. Untersuchungen über das exzentrische Dickenwachstum von Stämmen und Ästen. (Beihefte z. Bot. Centralb. Bd. XIX. 1905. Abt. I. Heft 2.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Ermittelung der Wandfläche erfolgte durch genaues Aufzeichnen einer Querschnittspartie auf starkes Schreibpapier und durch Wägen desselben vor und nach dem Ausschneiden der Zellumina.

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit dachte ich mir eine Methode aus, die, wie ich nachträglich erfuhr, mit der von v. Kowalski[1]) benützten ziemlich übereinstimmt. Holzstreifen wurden so zugeschnitten, daß am obern Ende ein aus dem zu untersuchenden Gewebe bestehender Stift vorhanden war von 1 bis 2 mm Länge und ca. 1 qmm Querschnitt. Der untere, dickere Teil des Streifens wurde in den in aufrechter Stellung am Tisch befestigten Schraubstock eingespannt. Auf den Stift drückte eine glatt abgeschliffene Stahlnase, die an dem einen Ende eines Messinghebels eingeschraubt war; an seinem andern Ende war der Hebel um eine horizontale Achse leicht drehbar. Den Hebel belastete man durch einen Kessel, in den man so lange Wasser fließen ließ, bis der Holzstift zerquetscht wurde. Der Stift war natürlich so eingespannt worden, daß der Druck möglichst in der Längsrichtung wirkte. Trotz aller Vorsicht gelang es nicht immer, ein Zerknicken zu verhüten; diese Versuche wurden aber natürlich zu der Berechnung nicht verwendet. Der Inhalt der Querschnittsfläche war vor dem Versuche auf die oben angegebene Weise bestimmt worden.

Versuchsresultate.

Es werden die folgenden leicht verständlichen Abkürzungen gebraucht:

Q = Querschnittfläche (Wand + Lumen).
W = Wandfläche.
G = Gewicht (bei den Zugversuchen = Handschraubstock + Kessel, bei den Druckversuchen = Druck des Hebels, vermehrt um das auf den Hebelarm des Druckpunktes umgerechnete Gewicht des Kessels).
Zq = Zugfestigkeit, bezogen auf die Einheit des Querschnittes.
Zw = Zugfestigkeit, bezogen auf die Einheit der Wandfläche.
Dq = Druckfestigkeit, bezogen auf die Einheit des Querschnitts.
Dw = Druckfestigkeit, bezogen auf die Einheit der Wandfläche.

---

[1]) v. Kowalski, Untersuchungen über die Festigkeit des Glases. Dissert. Göttingen 1889.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

I. Zugfestigkeit.

a) *Picea excelsa.*

α) Oberseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}567$ (Mittel aus 2 Bestimmungen).

Versuch 1: Q = 1,64 qmm, W = 0,93 qmm, G = 11,90 kg,
Zq = 7,26 kg, Zw = 12,79 kg,
„ 2: Q = 2,64 qmm, W = 1,50 qmm, G = 15,17 kg,
Zq = 5,75 kg, Zw = 10,11 kg,
„ 3: Q = 1,71 qmm, W = 0,97 qmm, G = 16,00 kg,
Zq = 9,36 kg, Zw = 16,48 kg,
„ 4: Q = 2,00 qmm, W = 1,13 qmm, G = 15,09 kg,
Zq = 7,55 kg, Zw = 13,35 kg,
„ 5: Q = 1,68 qmm, W = 0,95 qmm, G = 7,61 kg,
Zq = 4,53 kg, Zw = 8,01 kg,
„ 6: Q = 0,58 qmm, W = 0,33 qmm, G = 4,53 kg,
Zq = 7,81 kg, Zw = 13,73 kg.

β) Oberseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}769$.

Versuch 1: Q = 1,11 qmm, W = 0,85 qmm, G = 15,70 kg,
Zq = 14,14 kg, Zw = 18,47 kg,
„ 2: Q = 0,84 qmm, W = 0,65 qmm, G = 17,20 kg,
Zq = 20,45 kg, Zw = 26,46 kg,
„ 3: Q = 0,49 qmm, W = 0,38 qmm, G = 8,78 kg,
Zq = 17,92 kg, Zw = 23,11 kg,
„ 4: Q = 1,02 qmm, W = 0,78 qmm, G = 13,02 kg,
Zq = 12,76 kg, Zw = 16,69 kg,
„ 5: Q = 0,57 qmm, W = 0,44 qmm, G = 6,51 kg,
Zq = 11,42 kg, Zw = 14,80 kg,
„ 6: Q = 0,81 qmm, W = 0,62 qmm, G = 16,57 kg,
Zq = 20,46 kg, Zw = 26,73 kg.

γ) Unterseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}583$.

Versuch 1: Q = 2,79 qmm, W = 1,63 qmm, G = 10,71 kg,
Zq = 3,84 kg, Zw = 6,57 kg,
„ 2: Q = 2,62 qmm, W = 1,53 qmm, G = 17,50 kg,
Zq = 6,68 kg, Zw = 11,44 kg,
„ 3: Q = 1,22 qmm, W = 0,71 qmm, G = 6,95 kg,
Zq = 5,69 kg, Zw = 9,79 kg,
„ 4: Q = 2,73 qmm, W = 1,59 qmm, G = 8,41 kg,
Zq = 3,08 kg, Zw = 5,29 kg,
„ 5: Q = 2,45 qmm, W = 1,43 qmm, G = 9,70 kg,
Zq = 3,96 kg, Zw = 6,78 kg,
„ 6: Q = 1,73 qmm, W = 1,01 qmm, G = 9,27 kg,
Zq = 5,36 kg, Zw = 9,17 kg.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

δ) Unterseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}813$ (Mittel aus 3 Bestimmungen).

Versuch 1: Q = 0,95 qmm, W = 0,77 qmm, G = 9,03 kg,
Zq = 9,51 kg, Zw = 11,73 kg,
„ 2: Q = 1,02 qmm, W = 0,83 qmm, G = 6,51 kg,
Zq = 6,38 kg, Zw = 7,84 kg,
„ 3: Q = 1,04 qmm, W = 0,85 qmm, G = 5,49 kg,
Zq = 5,28 kg, Zw = 6,46 kg,
„ 4: Q = 1,17 qmm, W = 0,95 qmm, G = 9,62 kg,
Zq = 8,22 kg, Zw = 10,12 kg,
„ 5: Q = 1,72 qmm, W = 1,39 qmm, G = 13,18 kg,
Zq = 7,66 kg, Zw = 9,48 kg,
„ 6: Q = 0,87 qmm, W = 0,71 qmm, G = 8,48 kg,
Zq = 9,75 kg, Zw = 11,94 kg.

b) *Fagus silvatica.*

α) Oberseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}650$ (Mittel aus 2 Bestimmungen).

Versuch 1: Q = 1,66 qmm, W = 1,08 qmm, G = 17,55 kg,
Zq = 10,57 kg, Zw = 16,25 kg,
„ 2: Q = 1,67 qmm, W = 1,09 qmm, G = 17,97 kg,
Zq = 10,76 kg, Zw = 16,48 kg,
„ 3: Q = 1,08 qmm, W = 0,70 qmm, G = 8,25 kg,
Zq = 7,64 kg, Zw = 11,78 kg,
„ 4: Q = 1,36 qmm, W = 0,88 qmm, G = 11,52 kg,
Zq = 8,47 kg, Zw = 13,09 kg,
„ 5: Q = 1,75 qmm, W = 1,14 qmm, G = 16,07 kg,
Zq = 9,18 kg, Zw = 14,09 kg.

β) Oberseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0.728.$

Versuch 1: Q = 0,85 qmm, W = 0,62 qmm, G = 10,37 kg,
Zq = 12,20 kg, Zw = 16,72 kg,
„ 2: Q = 1,08 qmm, W = 0,79 qmm, G = 13,23 kg,
Zq = 12,25 kg, Zw = 16,74 kg,
„ 3: Q = 1,55 qmm, W = 1,13 qmm, G = 16,73 kg,
Zq = 10,79 kg, Zw = 14,81 kg,
„ 4: Q = 1,50 qmm, W = 1,09 qmm, G = 10,53 kg,
Zq = 7,02 kg, Zw = 9,66 kg,
„ 5: Q = 1,41 qmm, W = 1,03 qmm, G = 10,86 kg,
Zq = 7,70 kg, Zw = 10,54 kg.

γ) Unterseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}579.$

Versuch 1: Q = 2,38 qmm, W = 1,38 qmm, G = 12,60 kg,
Zq = 5,29 kg, Zw = 9,13 kg,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 2: Q = 3,51 qmm, W = 2,03 qmm, G = 14,60 kg, Zq = 4,15 kg, Zw = 7,19 kg,
„ 3: Q = 3,28 qmm, W = 1,89 qmm, G = 16,70 kg, Zq = 5,09 kg, Zw = 8,83 kg,
„ 4: Q = 3,04 qmm, W = 1,76 qmm, G = 10,35 kg, Zq = 3,40 kg, Zw = 5,88 kg,
„ 5: Q = 2,43 qmm, W = 1,41 qmm, G = 11,35 kg, Zq = 4,67 kg, Zw = 8,05 kg.

δ) Unterseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}710$.

Versuch 1: Q = 2,41 qmm. W = 1,71 qmm, G = 17,72 kg, Zq = 7,35 kg, Zw = 10,36 kg,
„ 2: Q = 1,28 qmm, W = 0,91 qmm, G = 11,92 kg, Zq = 9,32 kg, Zw = 13,09 kg,
„ 3: Q = 1,39 qmm, W = 0,98 qmm, G = 9,47 kg, Zq = 6,81 kg, Zw = 9,66 kg,
„ 4: Q = 1,20 qmm, W = 0,85 qmm, G = 9,07 kg, Zq = 7,56 kg, Zw = 10,67 kg.

c) *Eriodendron anfractuosum.*

α) Unterseite.

Versuch 1: Q = 1,17 qmm, G = 3,60 kg, Zq = 3.07 kg,
„ 2: Q = 1,96 qmm, G = 6,85 kg, Zq = 3,48 kg,
„ 3: Q = 2,98 qmm, G = 12,11 kg, Zq = 4,06 kg,
„ 4: Q = 2,77 qmm, G = 10,36 kg, Zq = 3,73 kg,
„ 5: Q = 3,35 qmm, G = 8,66 kg, Zq = 2,58 kg,
„ 6: Q = 2,75 qmm, G = 12,20 kg, Zq = 4,44 kg.

β) Oberseite.

Versuch 1: Q = 4,97 qmm, G = 4,99 kg, Zq = 1,00 kg,
„ 2: Q = 2,81 qmm, G = 6,51 kg, Zq = 2,32 kg,
„ 3: Q = 3,96 qmm, G = 3,63 kg, Zq = 0,92 kg,
„ 4: Q = 3,18 qmm, G = 4,80 kg, Zq = 1,51 kg,
„ 5: Q = 2,34 qmm, G = 4,75 kg, Zq = 2,03 kg.

II. Druckfestigkeit.

a) *Picea excelsa.*

α) Oberseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}567$.

Versuch 1: Q = 1,48 qmm, W = 0,84 qmm, G = 5,65 kg, Dq = 3,81 kg, Dw = 6,72 kg.
„ 2: Q = 1,13 qmm, W = 0,64 qmm, G = 4,01 kg, Dq = 3,55 kg, Dw = 6,27 kg.
„ 3: Q = 1,54 qmm, W = 0,88 qmm, G = 5,94 kg, Dq = 3,85 kg, Dw = 6,75 kg.
„ 4: Q = 1,88 qmm, W = 1,07 qmm, G = 4,75 kg, Dp = 2,52 kg, Dw = 4,45 kg.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 5: Q = 1,49 qmm, W = 0,84 qmm, G = 3,96 kg,
Dq = 2,66 kg, Dw = 4,71 kg.
„ 6: Q = 1,64 qmm, W = 0,93 qmm, G = 4,43 kg,
Dq = 2,70 kg, Dw = 4,77 kg.

β) Oberseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}769$.

Versuch 1: Q = 0,95 qmm, W = 0,73 qmm, G = 4,01 kg,
Dq = 4,21 kg, Dw = 5,49 kg.
„ 2: Q = 0,56 qmm, W = 0,43 qmm, G = 3,86 kg,
Dq = 6,89 kg, Dw = 8,97 kg.
„ 3: Q = 0,81 qmm, W = 0,63 qmm, G = 3,75 kg,
Dq = 4,62 kg, Dw = 5,95 kg.
„ 4: Q = 0,75 qmm, W = 0,58 qmm, G = 4,27 kg,
Dq = 5,69 kg, Dw = 7,36 kg.
„ 5: Q = 0,70 qmm, W = 0,54 qmm, G = 5,29 kg,
Dq = 7,56 kg, Dw = 9,79 kg.

γ) Unterseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}583$.

Versuch 1: Q = 0,99 qmm, W = 0,58 qmm, G = 3,72 kg,
Dq = 3,76 kg, Dw = 6,42 kg.
„ 2: Q = 0,87 qmm, W = 0,51 qmm, G = 3,43 kg,
Dq = 3,94 kg, Dw = 6,72 kg.
„ 3: Q = 1,04 qmm, W = 0,61 qmm, G = 4,84 kg,
Dq = 4,65 kg, Dw = 7,93 kg.
„ 4: Q = 1,09 qmm, W = 0,63 qmm, G = 3,75 kg,
Dq = 3,44 kg, Dw = 5,95 kg.
„ 5: Q = 1,16 qmm, W = 0,68 qmm, G = 4,66 kg,
Dq = 4,01 kg, Dw = 6,87 kg.

δ) Unterseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}813$.

Versuch 1: Q = 0,76 qmm, W = 0,61 qmm, G = 4,80 kg,
Dq = 6,31 kg, Dw = 7,86 kg.
„ 2: Q = 1,39 qmm, W = 1,13 qmm, G = 9,25 kg,
Dq = 6,65 kg, Dw = 8,18 kg.
„ 3: Q = 1,13 qmm, W = 0,92 qmm, G = 7,79 kg,
Dq = 6,90 kg, Dw = 8,47 kg.
„ 4: Q = 0,90 qmm, W = 0,74 qmm, G = 6,36 kg,
Dq = 7,06 kg, Dw = 8,59 kg.
„ 5: Q = 0,69 qmm, W = 0,56 qmm, G = 4,49 kg,
Dq = 6,51 kg, Dw = 8,02 kg.
„ 6: Q = 0,93 qmm, W = 0,76 qmm, G = 5,39 kg,
Dq = 5,79 kg, Dw = 7,09 kg.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

b) *Fagus silvatica.*

α) Oberseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}650$.

Versuch 1: Q = 0,93 qmm, W = 0,61 qmm, G = 6,79 kg, Dq = 7,30 kg, Dw = 11,13 kg.
„ 2: Q = 0,81 qmm, W = 0,53 qmm, G = 5,56 kg, Dq = 6,87 kg, Dw = 10,49 kg.
„ 3: Q = 1,00 qmm, W = 0,65 qmm, G = 7,83 kg, Dq = 7,83 kg, Dw = 12,05 kg.
„ 4: Q = 0,78 qmm, W = 0,51 qmm, G = 4,81 kg, Dq = 6,16 kg, Dw = 9,43 kg.
„ 5: Q = 0,80 qmm, W = 0,52 qmm, G = 5,48 kg, Dq = 6,85 kg, Dw = 10,54 kg.
„ 6: Q = 0,78 qmm, W = 0,51 qmm, G = 5,98 kg, Dq = 7,67 kg, Dw = 11,73 kg.
„ 7: Q = 0,67 qmm, W = 0,44 qmm, G = 4,48 kg, Dq = 6,69 kg, Dw = 10,18 kg.

β) Oberseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}728$.

Versuch 1: Q = 1,04 qmm, W = 0,76 qmm, G = 9,28 kg, Dq = 8,92 kg, Dw = 12,21 kg.
„ 2: Q = 1,30 qmm, W = 0,95 qmm, G = 9,05 kg, Dq = 6,96 kg, Dw = 9,52 kg.
„ 3: Q = 1,15 qmm, W = 0,84 qmm, G = 10,13 kg, Dq = 8,81 kg, Dw = 12,06 kg.
„ 4: Q = 0,65 qmm, W = 0,47 qmm, G = 5,82 kg, Dq = 8,96 kg, Dw = 12,38 kg.
„ 5: Q = 0,57 qmm, W = 0,42 qmm, G = 5,03 kg, Dq = 8,82 kg, Dw = 11,98 kg.
„ 6: Q = 1,28 qmm, W = 0,93 qmm, G = 9,13 kg, Dq = 7,13 kg, Dw = 9,82 kg.
„ 7: Q = 0,52 qmm, W = 0,38 qmm, G = 3,94 kg, Dq = 7,57 kg, Dw = 10,37 kg.
„ 8: Q = 0,90 qmm, W = 0,66 qmm, G = 6,63 kg, Dq = 7,36 kg, Dw = 10,05 kg.

γ) Unterseite, Frühholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}579$.

Versuch 1: Q = 1,18 qmm, W = 0,68 qmm, G = 7,35 kg, Dq = 6,23 kg, Dw = 10,81 kg.
„ 2: Q = 1,94 qmm, W = 1,12 qmm, G = 10,11 kg, Dq = 5,21 kg, Dw = 9,03 kg.
„ 3: Q = 1,24 qmm, W = 0,72 qmm, G = 8,69 kg, Dq = 7,01 kg, Dw = 12,07 kg.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch 4: Q = 1,20 qmm, W = 0,69 qmm, G = 7,14 kg,
Dq = 5,95 kg, Dw = 10,35 kg.
„ 5: Q = 1,70 qmm, W = 0,98 qmm, G = 9,33 kg,
Dq = 5,49 kg, Dw = 9,52 kg.
„ 6: Q = 1,85 qmm, W = 1,07 qmm, G = 10,77 kg,
Dq = 5,82 kg, Dw = 10,06 kg.

δ) Unterseite, Spätholz. $\frac{W}{Q} = 0{,}710$.

Versuch 1: Q = 1,30 qmm, W = 0,92 qmm, G = 8,31 kg,
Dq = 6,39 kg, Dw = 9,03 kg.
„ 2: Q = 1,12 qmm, W = 0,79 qmm, G = 7,13 kg,
Dq = 6,36 kg, Dw = 9,03 kg.
„ 3: Q = 0,93 qmm, W = 0,66 qmm, G = 4,86 kg,
Dq = 5,23 kg, Dw = 7,37 kg.
„ 4: Q = 0,51 qmm, W = 0,36 qmm, G = 4,18 kg,
Dq = 8,20 kg, Dw = 11,61 kg.
„ 5: Q = 1,48 qmm, W = 1,05 qmm, G = 9,13 kg,
Dq = 6,17 kg, Dw = 8,69 kg.
„ 6: Q = 1,08 qmm, W = 0,77 qmm, G = 8,08 kg,
Dq = 7,47 kg, Dw = 10,49 kg.
„ 7: Q = 0,60 qmm, W = 0,43 qmm, G = 3,86 kg,
Dq = 6,44 kg, Dw = 8,97 kg.
„ 8: Q = 0,56 qmm, W = 0,39 qmm, G = 3,35 kg,
Dq = 5,98 kg, Dw = 8,59 kg.

c) *Eriodendron anfractuosum.*

α) Unterseite.

Versuch	1:	Q = 1,90	qmm,	G = 8,06	kg,	Dq = 4,24	kg.
„	2:	Q = 3,46	„	G = 13,93	„	Dq = 4,02	„
„	3:	Q = 2,06	„	G = 8,95	„	Dq = 4,34	„
„	4:	Q = 1,25	„	G = 6,26	„	Dq = 5,01	„
„	5:	Q = 3,15	„	G = 13,00	„	Dq = 4,12	„
„	6:	Q = 3,82	„	G = 13,65	„	Dq = 3,57	„

β) Oberseite.

Versuch	1:	Q = 2,31	qmm,	G = 5,15	kg,	Dq = 2,23	kg.
„	2:	Q = 3,59	„	G = 4,45	„	Dq = 1,24	„
„	3:	Q = 2,68	„	G = 5,56	„	Dq = 2,07	„
„	4:	Q = 3,92	„	G = 5,65	„	Dq = 1,44	„
„	5:	Q = 2,72	„	G = 5,02	„	Dq = 1,84	„
„	6:	Q = 3,01	„	G = 2,76	„	Dq = 0,92	„
„	7:	Q = 2,94	„	G = 4,88	„	Dq = 1,66	„

Die folgende Tabelle gibt eine übersichtliche Zusammenstellung der Versuchsresultate, wobei für jede Versuchsreihe das arithmetische Mittel berechnet ist.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

		Zugfestigkeit des Gewebes			Zugfestigkeit der Wand	
		Picea	*Fagus*	*Eriodendron*	*Picea*	*Fagus*
Oberseite,	Frühholz	7,04	9,32	1,55	12.41	14,34
„	Spätholz	16,19	9,99		21,04	13,69
Unterseite	Frühholz	4,77	4,52	3,56	8,17	7,81
„	Spätholz	7,80	7,76		9,59	10,94

		Druckfestigkeit des Gewebes			Druckfestigkeit der Wand	
		Picea	*Fagus*	*Eriodendron*	*Picea*	*Fagus*
Oberseite,	Frühholz	3,18	7,05	1,63	5,61	10,79
„	Spätholz	5,79	8,07		7,51	11,05
Unterseite	Frühholz	3,96	5,95	4,22	6,78	10,31
„	Spätholz	6,54	6,53		8,03	9,22

Schon Sonntag hatte nachgewiesen, daß die Zugfestigkeit des Weißholzes, das auf Zug in Anspruch genommen wird, größer ist als die des Rotholzes, das Druckkräften ausgesetzt ist. Diese Eigenschaft gilt sowohl für das Holzgewebe als auch für die Zellwände. Die Druckfestigkeit war größer beim Rotholz als beim Weißholz inbezug auf das Holz als ganzes, während die Wände ungefähr dieselbe Widerstandsfähigkeit besaßen.

Die Untersuchungen von Sonntag, die sich nur auf Nadelhölzer bezogen, werden durch unsere Messungen an *Picea* vollständig bestätigt. Bei Laubhölzern liegen die Verhältnisse nicht so einfach; schon die wenigen Bestimmungen, die bisher ausgeführt wurden, zeigen, daß bald die Zugseite zugfester ist als die Druckseite, bald umgekehrt, und daß auch die Druckseite bald druckfester, bald weniger druckfest ist als die Zugseite.

Was die Zuverlässigkeit der Zahlenwerte anbetrifft, so geht schon aus der bei der Druckfestigkeit angewendeten Versuchsmethode hervor, daß es sich nicht darum handeln konnte, physikalische Konstanten zu ermitteln. Da aber die Bestimmungen mit großer Sorgfalt ausgeführt wurden, und die Zahlen der einzelnen Versuchsreihen so gut übereinstimmten, als das bei einem so unhomogenen Gewebe zu erwarten ist, so können immerhin die Verhältnisse zwischen den für die Zugfestigkeit sowohl als auch für die Druckfestigkeit gefundenen Werte Anspruch auf Genauigkeit machen. Die Zahlen, welche die Druck-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

festigkeit angeben, dürften im allgemeinen etwas zu klein sein. Es ist auch wichtig, daß die zur Festigkeitsbestimmung der Ober- und Unterseite dienenden Holzstückchen jeweils von demselben Querschnitt stammten. Aus der tabellarischen Zusammenstellung der Messungsresultate folgt, daß bei dem hyponastischen *Picea*-Stamm die Oberseite bedeutend zugfester ist als die Unterseite, die Druckfestigkeit hat auf der Unterseite einen etwas höheren Wert als auf der Oberseite; dies gilt sowohl für das Gewebe als auch für die Wand. Bei dem epinastischen *Fagus*-Stamm ist die Oberseite sowohl zugfester als druckfester als die Unterseite, doch sind die Unterschiede in der Zugfestigkeit größer als in der Druckfestigkeit. Das entgegengesetzte Verhalten von *Fagus* zeigt der epinastische *Eriodendron*-Ast, die Unterseite ist zug- und druckfester als die Oberseite, und zwar sind die Unterschiede in beiden Fällen außerordentlich stark. Da eine deutliche Zonenbildung fehlte, so war eine gesonderte Behandlung von Früh- und Spätholz nicht möglich.

Was vom mechanischen Standpunkt aus am meisten interessieren muß, das ist die Vergleichung der Zugfestigkeit der Oberseite mit der Druckfestigkeit der Unterseite, und zwar die Festigkeit der Gewebe als solcher und nicht etwa der Wände. Hier ist nun allerdings die Zuverlässigkeit der Zahlenwerte nicht mehr so groß, wie bei der Vergleichung der Zugfestigkeiten bezw. der Druckfestigkeiten untereinander. Immerhin ist soviel sicher, daß die Zahlen für die Druckfestigkeit eher etwas zu klein sind, und daß bei den großen Differenzen kleinere Ungenauigkeiten für unsere Zwecke überhaupt außer Betracht fallen.

Aus der Tabelle ist direkt abzulesen, daß für *Picea* das Frühholz der Oberseite doppelt so widerstandsfähig ist, für die mechanische Beanspruchung, der es ausgesetzt ist, als das Frühholz der Unterseite für die Beanspruchung, die es zu erleiden hat. Das Spätholz der Oberseite ist sogar noch mehr als zweimal so widerstandsfähig als das Spätholz der Unterseite. Bei *Fagus* verlaufen die Unterschiede in demselben Sinne, sind aber viel geringer; während bei *Picea* die maximale Differenz zwischen der Ober- und Unterseite 76 % beträgt, erreicht sie bei *Fagus* nur 40 %, also ungefähr die Hälfte.

Bei *Eriodendron* ist die Unterseite für die ihr zukommende Beanspruchung beinahe dreimal so widerstandsfähig als die Oberseite (64 %).

Wir haben somit bei *Picea* sehr deutlich den Fall 2 verwirklicht, von dem wir bei unseren einleitenden theoretischen Auseinandersetzungen gesprochen haben. Die stärkere Ausbildung der Unterseite, die aus mechanischen Gründen gefordert wurde, um die geringere Qualität durch eine größere Quantität auszugleichen, findet sich tatsächlich in der Natur; der fragliche *Picea*-Stamm ist hyponastisch, Der *Eriodendron*-Ast illustriert in ebenso klarer Weise den Fall 3. Die Zugfestigkeit der Oberseite steht zurück hinter der Druckfestigkeit der Unterseite. Der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

geforderten stärkeren Ausbildung der Oberseite entspricht die außerordentlich deutliche Epinastie. In dem *Fagus*-Stamm endlich haben wir ein Beispiel, das sich unserem Falle 1 nähert, bei welchem die Zugfestigkeit der Oberseite gleich der Druckfestigkeit der Unterseite vorausgesetzt ist. In Wirklichkeit ist die Verwandtschaft mit Fall 1 vielleicht noch größer als dies aus unseren Bestimmungen hervorgeht, da die Zahlenwerte für die Druckfestigkeit — wie schon bemerkt — möglicherweise etwas zu niedrig ausgefallen sind. Es begreift sich daher, daß der gekrümmte *Fagus*-Stamm Epinastie zeigt, da hiermit sowohl eine Materialersparnis als auch eine Verkürzung des Hebelarmes verbunden ist. Eine Materialersparnis ist deshalb vorhanden, weil der Zuwachs hauptsächlich auf der konkaven, d. h. der kürzeren Seite der Krümmung erfolgt. Bei Epinastie wird auch die Holzmasse vornehmlich auf der der Ansatzstelle des Stammes zugekehrten Seite angelagert, und daher der Hebelarm an dem das Gewicht des senkrechten Stammes und der Krone auf die Stammbasis wirkt, etwas geringer als bei Hyponastie. Anderseits ist es auch verständlich, daß der gekrümmte *Picea*-Stamm hyponastischen Bau besitzt, da den mit der Epinastie verbundenen Vorteilen bei *Picea* ein kolossaler Nachteil gegenübersteht, der bei *Fagus* sich nicht findet. Dieser Nachteil liegt in der Gefährdung der Druckfestigkeit der Druckseite und infolgedessen auch der Biegungsfestigkeit des Stammes. Da aber der Besitz der notwendigen mechanischen Widerstandsfähigkeit eine der Grundbedingungen darstellt für die Existenzmöglichkeit eines Baumes, so leuchtet die hyponastische Ausbildung des *Picea*-Stammes ein.

Daß Äste, die eine ähnliche Gestalt besitzen, wie die eben besprochenen Stämme auch inbezug auf das Dickenwachstum sich ähnlich verhalten werden, liegt wohl auf der Hand und ist übrigens für Koniferen auch schon mehrfach nachgewiesen worden[1]). Bei den geraden und horizontalen Ästen von *Eriodendron* liegen die Verhältnisse klar vor Augen, da weder eine Materialersparnis noch eine Verkürzung des Hebelarmes in Betracht kommen kann, und daher die mechanischen Eigenschaften allein über die Art des exzentrischen Dickenwachstums entscheiden.

Zusammenfassung.

Nachdem durch Hartig die großen Differenzen im anatomischen Bau des Rot- und Weißholzes festgestellt worden waren, zeigte Sonntag, daß auch die mechanischen Eigenschaften der

[1]) So unter anderem von mir in meinen „Untersuchungen über das exzentrische Dickenwachstum von Stämmen und Ästen“ wie auch von Schwarz in „Dickenwachstum und Holzqualität von *Pinus silvestris*“.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

beiden Holzarten bedeutende Unterschiede aufweisen. Das Weißholz ist zugfester als das Rotholz, das Rotholz druckfester als das Weißholz. Mit Hilfe dieser Untersuchungen ließ sich teleologisch erklären, weshalb das Rotholz auf der Unterseite, das Weißholz auf der Oberseite angebracht ist. Eine sehr wichtige Frage war damit aber noch nicht gelöst. Zur Erklärung des exzentrischen Dickenwachstums ist es vor allem wichtig zu wissen, warum und wozu mehr Rotholz gebildet wird als Weißholz, denn nur in diesem Falle liegt das Mark exzentrisch. Es sind ferner die Ursachen dafür aufzudecken, daß der stärkere Zuwachs bald nach unten, bald nach oben erfolgt.

In meiner letzten Arbeit über diesen Gegenstand habe ich nachgewiesen, daß an bajonett- oder schlangenförmig gekrümmten Stämmen das exzentrische Dickenwachstum nach dem Prinzip der Ausgleichung der Krümmungen erfolgt, und daß dasselbe häufig auch bei nicht vertikalen Ästen gilt. Die Zweckmäßigkeit dieses Wachstumsmodus wurde ebenfalls früher auseinandergesetzt.

Hier versuchte ich nun an einigen charakteristischen Beispielen auch jene Fälle teleologisch zu erklären, die bisher noch dunkel geblieben waren. Es handelte sich dabei vor allem um einfach gekrümmte und horizontale, gerade Organe. Zur Untersuchung wurden zwei möglichst gleich gestaltete und an demselben Standort gewachsene, an der Basis einfach gekrümmte Stämme von *Picea* und *Fagus* verwendet. Der *Picea*-Stamm war in seinem gekrümmten Teil deutlich hyponastisch, der *Fagus*-Stamm ebenso deutlich epinastisch; das dritte Objekt bestand in einem horizontalen und geraden Ast von *Eriodendron anfractuosum*.

Es zeigte sich, daß dasjenige Moment, das für die Ausbildung des exzentrischen Dickenwachstums in erster Linie von Bedeutung ist, in dem Verhältnis der Druckfestigkeit der Unterseite zur Zugfestigkeit der Oberseite besteht.

Ist die Oberseite bedeutend widerstandsfähiger (auf Zug) als die Unterseite (auf Druck), so ist — zum mindesten bei geraden oder einfach gekrümmten Organen — Hyponastie am zweckmäßigsten (*Picea*). Besitzt die Unterseite eine viel größere Widerstandsfähigkeit als die Oberseite, so gilt dasselbe für die Epinastie (*Eriodendron*). In beiden Fällen wird die geringere Qualität des Gewebes jeweils durch eine größere Quantität ersetzt. Ist die Qualität auf beiden Seiten ungefähr gleich, dann sind es andere Momente, die darüber entscheiden, welche Art des exzentrischen Dickenwachstums eingeschlagen werden soll. Da der Besitz der notwendigen Festigkeit für Stamm und Ast eine der fundamentalsten Existenzbedingungen darstellt, so ist es klar, daß das zuerst genannte Moment in vorderster Linie die Art des einzuschlagenden Dickenwachstum vorschreiben wird. Ist aber einmal dieser primären Forderung Genüge geleistet, dann können auch Momente zweiter und dritter Ordnung —

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Materialersparnis, Verkleinerung des Hebelarmes — bestimmend eingreifen; sie werden vor allem dann den Ausschlag geben, wenn die Zugfestigkeit der Oberseite der Druckfestigkeit der Unterseite annnähernd gleich ist.

Es muß die Aufgabe weiterer Versuche sein, die hier an einigen ausgewählten Beispielen ausgeführten Untersuchungen auf eine möglichst große Zahl von Pflanzen auszudehnen.

Freiburg (Schweiz) im März 1905.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: BH_19_1

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred

Artikel/Article: Untersuchungen über die Festigkeitsverhältnisse an exzentrischen Organen und ihre Bedeutung für die Erklärung des exzentrischen Dickenwachstums. 393-408