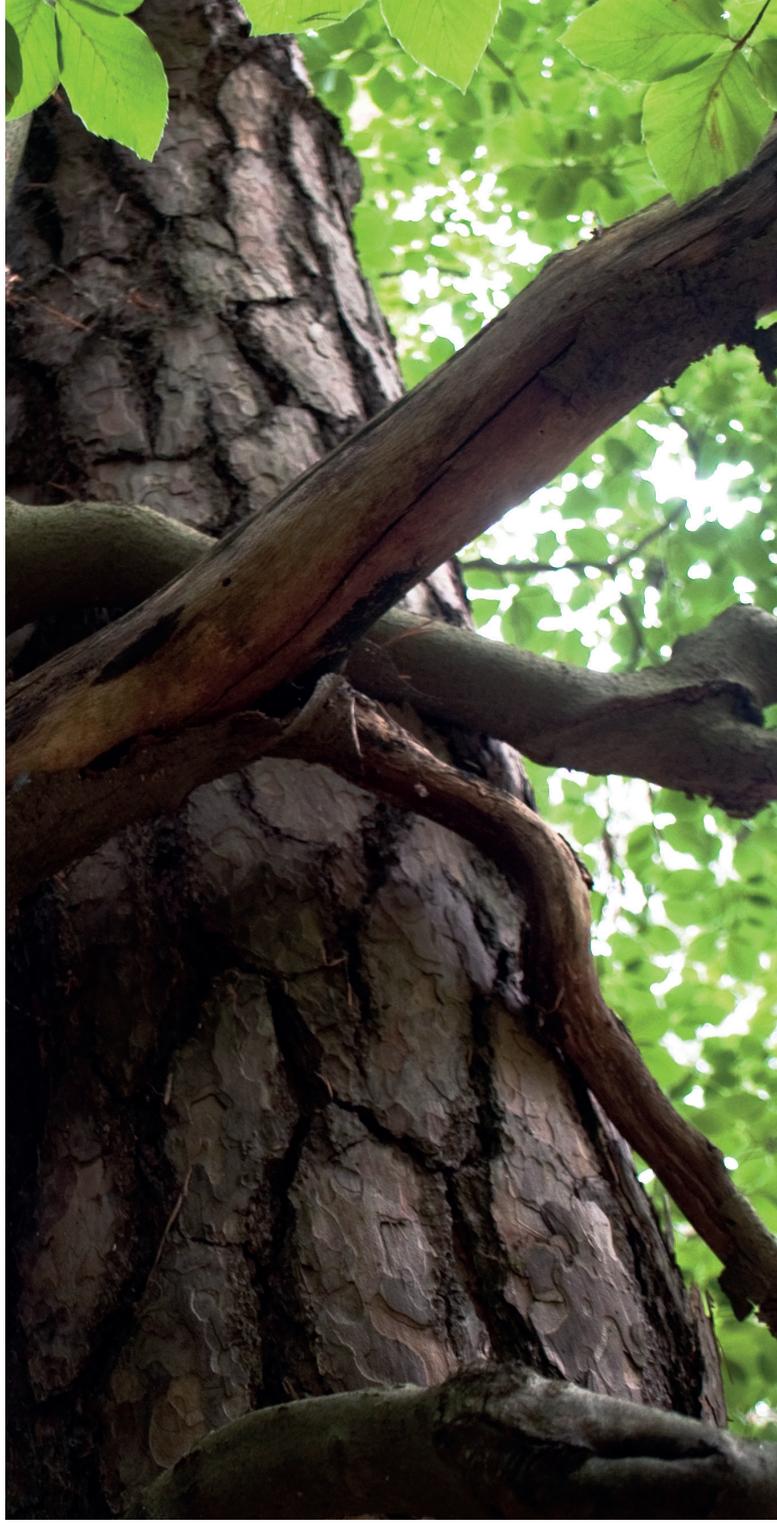


BAU

LEBEN

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

BÄUME



INHALT

Copyright

© 2015

Forstbotanischer Garten, HNE Eberswalde

Projekt

Waldklima

Texte

Prof. Dr. Harald Schill

Dr. Bernhard Götz

Karin Siegmund

Henriette Schmidt

Janette Senst

Anastasia Reschke

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

1 EWIGES LEBEN **SEITE 04**
GRENZEN DES WACHSTUMS

2 STAMM, ÄSTE, ZWEIGE **SEITE 08**
ALLES FAST NUR HOLZ

3 NADELHOLZ UND LAUBHOLZ **SEITE 10**
ÄHNLICH UND DOCH VERSCHIEDEN

4 BLÄTTER UND NADELN **SEITE 16**
DIE ZUCKERFABRIKEN

5 BÄUME VERSTEHEN LERNEN **SEITE 18**
UNTERSUCHUNGSMETHODEN

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

SEITE 30

Investition in Ihre Zukunft

Die Publikation wird durch das Ministerium für Arbeit, Soziales, Frauen und Familie aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds und des Landes Brandenburg gefördert.



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Sozialfonds



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

SEITE 30

1 EWIGES LEBEN GRENZEN DES WACHSTUMS

Bäume sind besondere Pflanzen. Sie besitzen eine Reihe von Merkmalen, die sie von anderen Gruppen des Pflanzenreiches unterscheiden.

Im Vergleich etwa zu einjährigen Krautpflanzen, wie z.B. dem Vergissmeinnicht oder dem Klatsch-Mohn, sind viele Baumarten beeindruckend langlebig. Die ältesten Exemplare einer Kiefernart (*Pinus longaeva*) aus den White Mountains in Kalifornien (USA) werden bis zu 5000 Jahre alt.



Abb. 1: *Pinus longaeva*, Kalifornien, White Mountains, USA.

Unter unseren heimischen, mitteleuropäischen Baumarten erreichen Linden eine Lebensspanne von bis zu 1000 Jahren, Birken oder Pappeln von zumeist weniger als 120 Jahren. In der Gruppe der in Deutschland forstwirtschaftlich besonders bedeutsamen Baumarten werden Eichen bis etwa 800 Jahre, Buchen zwischen 300 und 500 Jahre und Kiefern sowie Fichten bis 600 Jahre alt. Die offensichtlich artabhängige Lebensdauer schwankt dabei von Baum zu Baum deutlich.

Neben diesem besonderen Merkmal der Langlebigkeit weisen Bäume ein lebenslanges Wachstum auf. Jedes Jahr entwickeln sie neue Jahrestriebe und verlängern damit den Stamm, die Äste und Zweige um einen manchmal nur wenige Millimeter langen, unter günstigen Wachstumsbedingungen auch meterlangen Sprossabschnitt. Über längere Zeiträume hinweg entstehen so durch die stetige Wiederholung eines schlichten Baumusters beeindruckende Baumriesen. Heimische Weißtannen können bis zu 65 m, nordwestamerikanische Redwoods und australische Eukalyptus-Bäume bis über 110 m hoch werden.

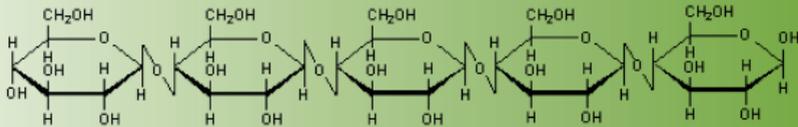
Das stetig wiederholte Wachstumsmuster, einen Jahrestrieb auf den nächsten folgen zu lassen, würde es Bäume eigentlich ermöglichen, weitaus größere Wuchshöhen zu erreichen. Einschränkungen des Wassertransportes im Holz von den Wurzeln zu den höchsten Blättern oder Nadeln begrenzen jedoch das Höhenwachstum. Da Bäume kein „Pumpsystem“ besitzen, sind sie vor allem auf die Sogwirkung der umgebenden trockenen Luft als treibende Kraft für den Wassertransport angewiesen. Auch der Aufbau der wasserleitenden Zellen im Holzkörper beschränkt sowohl die Leitungsgeschwindigkeit als auch die transportierbare Wassermenge.

Das Zusammenspiel dieser verschiedenen Einflussgrößen – von der umgebenden Luftfeuchtigkeit bis hin zu den Zellwänden – hat offensichtlich zu der natürlichen Höhenwachstumsgrenze knapp über der 100 m-Marke geführt.

Wesentliche Bedeutung hat dabei außerdem die jeweils verfügbare Niederschlagsmenge. Je höher die Jahresniederschläge, je gleichmäßiger ihre Verteilung im Jahreslauf und je ausgeglichener die Temperaturverhältnisse, desto größer können Bäume werden. In der Heimatregion der Redwoods fallen im Jahr bis zu 2800 mm Jahresniederschlag, die Jahresdurchschnittstemperaturen liegen zwischen 10 und 16 °C.

Ein über viele Jahre oder Jahrhunderte gewachsener Baum entwickelt in Stamm und Ästen einen umfangreichen Holzkörper. Diese sogenannte oberirdische Dendromasse kann bei einer 150-jährigen Buche ein Gewicht von über 5 t erreichen. Diese Masse stellt besondere Anforderungen an die Standfestigkeit des gesamten Baumes. Entscheidend ist dabei der Aufbau der Zellwände der Holzzellen. In ihrer chemischen Struktur sind vor allem zwei Substanzen wesentlich.

Die Cellulose – eine fadenförmige Aneinanderreihung von Zuckermolekülen, die direkt aus der Photosynthese der Blätter stammen – bildet das Grundgerüst.



Kurzer Cellulosefaden aus fünf β -Glucose-Molekülen

In die Lücken zwischen die Cellulosebündel wird Lignin eingelagert. Lignin ist ein vielgestaltiges Molekül, das Nachbarzellen über die aneinandergrenzenden Zellwände miteinander verbindet. Auf diese Weise entsteht im Holzkörper ein äußerst stabiles Netzwerk, das neben der grundsätzlichen Standfestigkeit auch ein sehr hohes Maß an Flexibilität ermöglicht. Bäume sind mit diesem besonderen Holzaufbau durchaus in der Lage Windgeschwindigkeiten von über 120 km/h unbeschadet zu überstehen. Das weit verzweigte Wurzelsystem trägt darüber hinaus zur Verankerung im Boden bei.

6



Abb. 2: Von den Cellulosefäden zum Baum. Von links: Bündelung der Einzelfäden zu Micellen und Fibrillen, Aufbau der Zellwände, Entstehung der Jahrringe und des Stammes.

Starke Stürme oder große Mengen Nassschnee können dazu führen, dass die Belastungsgrenzen des Holzkörpers überschritten werden. Schäden reichen vom Abbruch großer Kronenteile bis hin zum Umstürzen des gesamten Baumes. Der Sturm „Lothar“ verursachte 1999 in den betroffenen Ländern über 180 Mio. m³ Sturmholz.

Ein Baumleben ist nicht nur von Naturkatastrophen beeinflusst, sondern folgt artabhängigen und von den jeweiligen Standortverhältnissen überlagerten Entwicklungsphasen. Einem häufig sehr raschen Jugendwachstum folgt im zweiten Lebensabschnitt ein deutlicher Rückgang der Wuchsleistung. Konkurrenz um Licht oder Nährstoffe, extreme Witterungsereignisse wie langanhaltende Trockenheit schwächen die Lebensvorgänge. An alten Bäumen sind häufig Schäden durch Pilz-, Bakterien- oder Insektenbefall zu finden.

Das Lebensende von Bäumen ist jedoch – als ein sehr deutlicher Unterschied zu Tieren – in der Regel nicht durch einen individuellen Alterungsprozess hervorgerufen. Der Tod eines Baumes entspricht unter natürlichen Verhältnissen viel eher dem „Zusammenbruch eines Organismus“ als der „Erschöpfung seiner Lebenskraft“. Alle teilungsfähigen Gewebe an den Spross- und Wurzelspitzen, sowie unter der Rinde sind eigentlich unbegrenzt wachstumsfähig. Nur die Unterbrechung ihrer Versorgung mit Wasser, Nährstoffen und Zuckern führt durch den strukturellen Kollaps zum Ableben.

7



Abb. 3: Fruchtkörper von *Fomes fomentarius* [a] an Buche und *Piptoporus betulinus* [b] an Birke.

STAMM, ÄSTE, ZWEIGE ALLES FAST NUR HOLZ

Stetiges, lebenslanges Wachstum ist ein herausragendes Merkmal von Bäumen und Sträuchern. Dies gilt neben der Jahrestriebbildung in besonderem Maße auch für die Entwicklung des Holzkörpers.

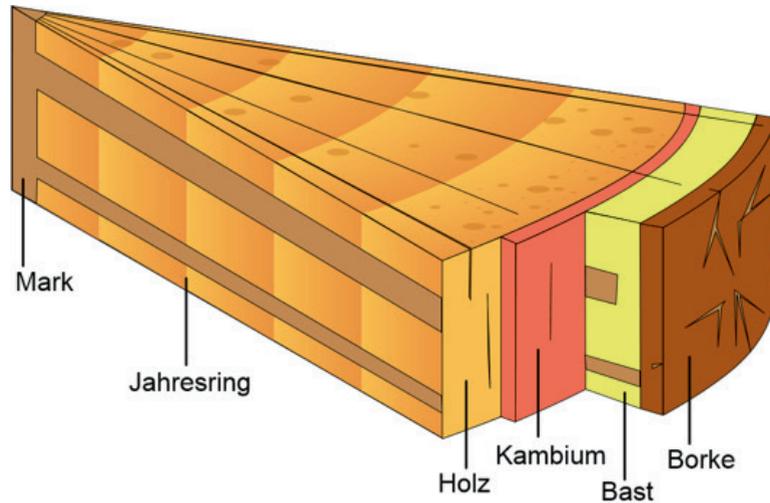


Abb. 4: Ausschnitt aus einer fünfjährigen Sprossachse (Stamm, Ast) der Wald-Kiefer.

Betrachtet man die Schnittfläche am Stamm einer älteren Kiefer oder Eiche, so fällt zunächst ein dunkel gefärbter, im Zentrum liegender Bereich auf. Dieses sogenannte Kernholz besteht aus nicht mehr funktionsfähigen toten Holzzellen. Der nach außen hin anschließende, hellere Bereich – das Splintholz – dient dem aktuellen Wassertransport von den Wurzeln bis hin zu den Blättern. Es ist von lebenden Zellen durchzogen, die Speicherfunktion für Wasser und Reservestoffe übernehmen. Die Lebensdauer dieser Zellen ist begrenzt. Aus diesem Grund müssen Holzgewächse am äußeren Rand des Splintholzes laufend neue Holzschichten in Form von Jahrringen bilden.

Ältere Holzschichten am Übergang vom Splint- zum Kernholz werden durch die Einlagerung verschiedener Stoffe in die Zellwände, wie Harzverbindungen, Gerbstoffe und Lignin verfestigt und dadurch außer Funktion gesetzt. Dieser Vorgang der kontinuierlichen Kernholzbildung führt dazu, dass der Anteil des toten Holzkörpers laufend größer wird. Bei älteren Bäumen kann er über drei Viertel des Gesamtvolumens einnehmen.



Abb. 5: Stammquerschnitt von Eiche mit dunklem Kernholz und hellem Splintholz.

Das Holz von Fichten, Tannen, Pappeln, Ahornarten und ebenso der Rot-Buche weist keinen farblichen Unterschied zwischen den zentralen toten Holzschichten und dem wasserleitenden Splintholzbereich auf. Der gesamte Stammquerschnitt ist nahezu einheitlich hell gefärbt. Baumarten mit dieser Holzstruktur werden zur Unterscheidung von den echten Kernhölzern oft auch als Reifhölzer bezeichnet.

Der relative Anteil des Splintholzes im Verhältnis zum Kernholz ist deutlich artabhängig. Während bei der heimischen Wald-Kiefer bis über 20 Jahrringe aktiv am Wassertransport im Splintholz beteiligt sein können, wird bei der Stiel- und Trauben-Eiche im jüngsten Jahrring bis über 70% des Wassers transportiert.

Unmittelbar am äußeren Rand des jüngsten Jahrrings anliegend befindet sich das Kambium. Es umgibt als geschlossene, nur eine Zelle breite Hülle den gesamten Stamm, sowie alle Äste und Zweige. Die Aufgabe dieses Bildungsgewebes ist es, durch fortlaufende Zellteilung nach innen hin Holzzellen zu produzieren – also für das lebenslange Dickenwachstum des Holzkörpers zu sorgen. In seiner Gesamtheit wird dieser als Xylem bezeichnet. Gleichzeitig stellt das Kambium nach Außen stetig neue Zellen für den Transport der Zuckerverbindungen aus den Blättern zu den Wurzeln bereit. Diese Gewebeschicht, das Phloem, wird ebenso wie der Holzkörper jährlich ergänzt.

Bis zum Holzkörper reichende Verletzungen durch Hagel, Blitz, Sturmschäden oder andere Ursachen versucht der Baum durch Wundgewebe zu verschließen. Entlang des gesamten Wundrandes bildet das Kambium vermehrt Zellen – den Wundkallus – aus. Je nach Größe der Wunde kann dieser Vorgang der Überwallung viele Jahre dauern. Im Unterschied zu Tieren wird jedoch niemals eine Heilung der Verletzung erreicht. Über die Wundfläche eingedrungene holzerzetzende Pilze können sich so auch nach vollständigem Wundverschluss über lange Zeit weiter ausbreiten und somit die Standfestigkeit des Baumes schwächen. Besonders im Längsschnitt durch einen Stamm sind solche, vor allem auch ältere, Infektionsstellen als dunkle Verfärbungen bis hin zu großen Faulstellen sehr leicht zu erkennen.



Abb. 6: Buchenstammholz mit Kernfäule und Überwallungswulsten (oben).

NADELHOLZ UND LAUBHOLZ ÄHNLICH UND DOCH VERSCHIEDEN

Der Aufbau von Laub- und Nadelhölzern weist zahlreiche Gemeinsamkeiten, jedoch auch deutliche Unterschiede auf.

Für beide gilt, dass sie unter dem Einfluss des Wechsels der Jahreszeiten Jahrringe bilden. Jeder Jahrring wird zu Beginn der Wachstumsphase aus Holzzellen mit großem Durchmesser und relativ dünnen Zellwänden aufgebaut. Dieser Bereich erscheint hell und wird als Frühholz bezeichnet. Zum Ende der Vegetationszeit bildet das Kambium kleinere Holzzellen mit dickeren Zellwänden. Es entsteht das dunklere Spätholz. Erst durch den wiederkehrenden Wechsel zwischen den dunklen Spätholzzellen des Vorjahres und den hellen Frühholzzellen des nächsten Jahres werden die Jahrringgrenzen im Holzquerschnitt sichtbar.

Die Breite eines Jahrringes ist von vielen Faktoren beeinflusst. Grundsätzlich gilt, dass nach einer Phase raschen Jugendwachstums bei allen Baumarten die Jahrringbreite mit steigendem Alter abnimmt. Extreme Trockenjahre, starke Saatgut-/Fruchtproduktion oder Insektenschäden durch Laubfraß führen zur Ausbildung eines schmalen Jahrrings. In den Folgejahren können sich die betroffenen Bäume zumeist davon erholen. Konkurrenz um Licht zwischen Nachbarbäumen oder langfristig wirksamer Nährstoffmangel führen dagegen zu einem anhaltenden Rückgang der Holzbildung.

Die Jahrringstruktur des Holzes ermöglicht es somit, nicht nur das genaue Alter von Bäumen zu bestimmen, sondern bildet auf sehr spannende Weise auch zahlreiche Wachstumsbedingungen aus weit zurückliegenden Zeiten ab.



Abb. 7: Querschnitt durch einen 9-jährigen Kiefernstamm. Rot: Holzteil, links-zentral: Mark, nach rechts folgend: Jahrringe mit radialen, strahlenförmigen, schmalen Holzstrahlen, blau: Kambium, Phloem und Rinde.

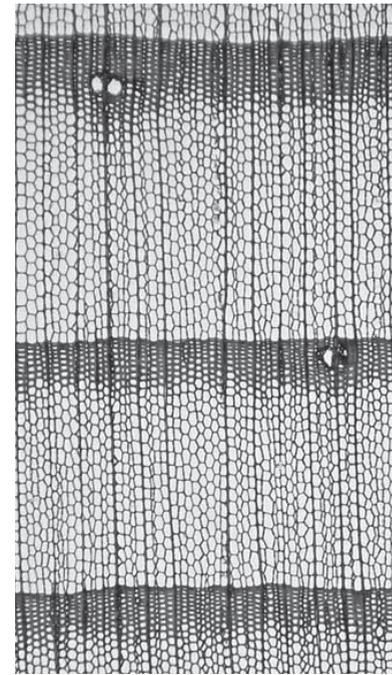


Abb. 8: Querschnitt durch Nadelholz (Lärche). Ausschnitt mit 2 vollständigen Jahrringen, jeweils mit hellerem Frühholz und dunklerem Spätholz. Jahrringgrenze als Übergang zwischen dem Spätholz des einen Jahres und dem Frühholz des Folgejahres.

Neben dieser leicht erkennbaren Jahrringstruktur ist der Holzaufbau durch zumeist unauffälligere, jedoch sehr zahlreiche von innen nach außen verlaufende sogenannte Holzstrahlen geprägt. Je nach Baumart sind diese 1 bis über 20 Zellen breit und auch in ihrer Höhenausdehnung sehr variabel. Sie dienen mit ihren lebenden Zellen vor allem der Reservestoffspeicherung.

Betrachtet man unter dem Mikroskop den Feinbau von Nadel- und Laubholz genauer, so fällt unmittelbar auf, dass Nadelholz gleichmäßiger aufgebaut ist. Im Laubholz sind dagegen deutlich unterschiedliche Zelltypen erkennbar.

Das Holz der entwicklungsgeschichtlich älteren Nadelbäume (ca. 270 Mio. Jahre) ist vorrangig aus sogenannten Tracheiden-Zellen aufgebaut. Es handelt sich dabei um langgezogene, an beiden Enden zugespitzte, tote Holzzellen, die

mit den angrenzenden Nachbarzellen über porenartige Strukturen in den Zellwänden in Verbindung stehen. In Form der Hoftüpfel erleichtern diese den Wassertransport von einer Zelle zur nächsten.

Im Durchschnitt sind Tracheiden etwa 1 mm (min. 0,5 – max. 5 mm) lang. Um Wasser in einem 35 m hohen Baum nach oben zu transportieren sind für eine durchgehende Leitungsbahn etwa 35.000 übereinander sitzende Tracheiden erforderlich. Bei diesem Rechenbeispiel ist allerdings der Weg von der Wurzelspitze bis zum Stammfuß und vom Kronenansatz bis zu den feinsten Zweigen nicht berücksichtigt. In einer groben Schätzung müssen also für den Wassertransport aus dem Boden zu den Blättern etwa 70.000 Holzzellen verbunden sein.

In jedem Jahrring sind abertausende dieser feinsten Röhrensysteme angelegt.

Insgesamt betrachtet besteht Nadelholz zu über 90% aus Tracheiden, die als „multifunktionale Bauteile“ neben der Wasserleitung auch Aufgaben der Wasserspeicherung und der Festigung der Sprossachse übernehmen.

Lebende Zellen des Grundgewebes, sogenannte Parenchymzellen, kommen im Nadelholz nur in den zahlreichen Holzstrahlen vor. In ihrem typischen Aufbau sind diese bei der Wald-Kiefer nur eine Zelle breit, jedoch bis zu 20 Zellen hoch. Jeweils die obere und untere Zellreihe eines Holzstrahls besteht dabei aus wasserleitenden Tracheiden, alle Zelllagen dazwischen aus reservestoffspeichernden Parenchymzellen.

Kennzeichnend für die meisten Nadelhölzer, mit Ausnahme von Eibe, Wacholder und Tanne, ist das Vorkommen von Harzkanälen. Diese können im Holzkörper radial und vertikal verlaufen. Das enthaltene Harz dient vor allem der Oberflächenimprägnierung möglicher Wunden.

Vor etwa 135 Mio. Jahren entstanden die ersten Laubbäume. Wichtige Merkmale dieser Pflanzengruppe waren neben der Fruchtbildung – Nadelbäume bringen nur Samen hervor – auch deutliche Veränderungen im Holzaufbau. Zwar kommen im Laubholz auch weiterhin Tracheiden nach dem Bautyp des Nadelholzes vor, sie übernehmen allerdings vorwiegend Funktionen der Wasserspeicherung und Festigung. Die Wasserleitung selbst wird im Laubholz von einem neu entwickelten Zelltyp, den sogenannten Tracheen übernommen. In ihrer typischen Form sind diese verholzten, toten Holzzellen tonnenförmig und weisen auf den inneren Zellwänden bei vielen Laubbaumarten ringförmige bis netzartige Zellwandverstärkungen auf.

Besonders bedeutsam ist, dass jeweils die Zellwände zu den nach oben und unten angrenzenden Nachbar-Tracheen bis auf einen schmalen randständigen Wulst aufgelöst sind. Die Verknüpfung vieler Tracheen zu einer „Pipeline“ beschleunigt den Wassertransport maßgeblich. Dazu trägt auch unmittelbar der größere Durchmesser der Tracheen bei, der im Eichenholz bis zu 0,4 mm erreichen kann. Typische Tracheiden liegen dagegen im Querschnitt zwischen 0,02 mm bis 0,05 mm. Durch die deutliche Vergrößerung des Leitungsquerschnittes und das Fehlen der Querwände erfolgt der

Wassertransport bei vielen Laubbaumarten mit bis zu 45 m/h mehr als zwanzig Mal so schnell wie bei Nadelbaumarten mit 1–2 m/h.

Lebende Parenchymzellen kommen im Laubholz in zwei getrennten Bereichen vor.

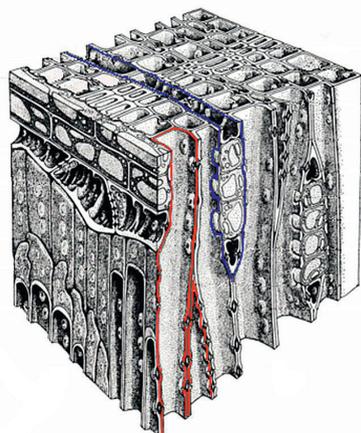


Abb. 9: Nadelholz, Wald-Kiefer (Schnittachsen: oben = quer, links = radial, frontal = tangential). Rot: Tracheiden, blau: Holzstrahl mit wasserleitenden Tracheiden oben und unten, sowie lebenden Parenchymzellen dazwischen.



Abb. 10: Holzstrahlen im Querschnitt von Eichenholz.

Einerseits ist den Tracheenzellen jeweils eine begleitende Parenchymzelle zugeordnet. Ihnen kommen Steuerungsaufgaben für den Wassertransport zu. Sie sind darüber hinaus an der Umwandlung von Splintholz in Kernholz beteiligt. Daneben sind die Holzstrahlen der Laubbölzer ausschließlich aus Parenchymzellen aufgebaut. Sie können im Unterschied zu den Nadelholz-Holzstrahlen bei einigen Laubbaumarten sehr lang und auch breit werden. Die charakteristischen, auffallend glatten sogenannten „Spiegel“ auf Eichenbrettern gehen auf längs angeschnittene Holzstrahlen zurück.

Darüber hinaus ist das Laubholz von Holzfasern durchzogen. Dabei handelt es sich um tracheidenähnliche, zumeist deutlich schmalere, sehr spitz zulaufende Holzzellen mit besonders dicken Zellwänden. Holzfasern dienen der Festigung der Holzstruktur.

Im Vergleich verschiedener Laubbaumarten fallen zwei Varianten der Verteilung der Tracheen in den Jahrringen auf. Bei Eiche, Ulme oder Esche sind diese Leitungsbahnen sehr deutlich auf das Frühholz konzentriert. Der entsprechende Holzaufbau wird als ringporig bezeichnet. Bei Ahorn, Pappel oder Buche sind die Tracheen in etwa gleichmäßig, somit zerstreutporig, über den gesamten Jahrring verteilt.

Um alle lebensnotwendigen Aufgaben der Sprossachse für den gesamten Baum sicherzustellen, sind neben dem Holzteil (Xylem) und dem Bildungsgewebe (Kambium) noch zwei weitere Gewebetypen erforderlich. Unmittelbar an den Holzkörper nach außen hin angrenzend und nur durch die einzellige Kambiumschicht getrennt, befindet sich der sogenannte Bast (Phloem). Wesentlicher Bestandteil sind langgezogene, ebenfalls mit den angrenzenden Zellen zu einer Leitungsbahn verbundene, Siebröhren. Die entsprechenden Querwände sind bei vielen Laubbaumarten wie ein sehr grobmachiges Sieb unterbrochen. Lebende Parenchymzellen begleiten die Siebröhren.

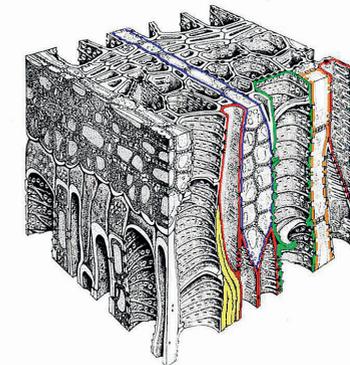


Abb. 11: Laubholz, Rotbuche (Schnittachsen: oben = quer, links = radial, frontal = tangential). Hellgrün: Tracheen, rot: Tracheiden, orange: tracheenbegleitende Parenchymzellen, gelb: Holzfasern, blau: Holzstrahl aus Parenchymzellen.

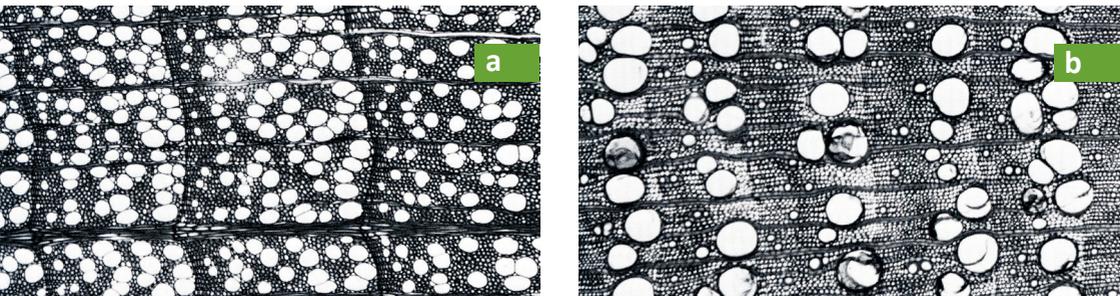


Abb. 12: [a] Zerstreutporiges Laubholz, bspw. Buche/Ahorn, [b] Ringporiges Laubholz, bspw. Eiche/Esche.

Aufgabe der zahlreichen „Pipelines“ im Phloem ist es, die aus der Photosynthese der Blätter stammenden Zuckerverbindungen von der Krone über den Stamm bis zu den Wurzeln zu leiten. Wichtig ist neben der Versorgung der wachsenden Pflanzenteile vor allem auch das Auffüllen der Reservestoffdepots. Während der Sommermonate werden die Parenchymzellen der unzähligen Splintholzstrahlen mit Zuckern, vor allem in Form von Stärke, beladen. Beim Neuaustrieb im folgenden Frühjahr finden diese Energie- und Baustoffe für das Wachstum der Jahrestriebe und Blätter sowie für die Blütenbildung Verwendung.

Zum Schutz gegen mechanische Verletzungen, vor allem auch gegen Austrocknung, sind alle Sprossachsen vom dünnsten Zweig bis zum dicksten Baumstamm von Abschlussgeweben umhüllt.

An den vorderen 20 – 30 mm jeder neu entstandenen Zweigspitze übernimmt dies eine, nur eine Zelle dicke Gewebeschicht, die sogenannte Epidermis. Durch die Holzbildung im Inneren und die damit verbundene Volumenvergrößerung gerät die Epidermis zunehmend unter Spannung. Bevor sie schuppenartig aufreißt, entsteht im inneren Bastbereich rechtzeitig ein zweites Abschlussgewebe, die Rinde (Periderm). An älteren Stämmen wird in den folgenden Jahren ein drittes Abschlussgewebe, die Borke, gebildet.

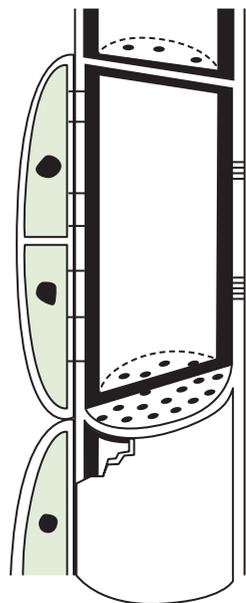


Abb. 13: Ausschnitt aus dem Phloem: zwei Siebröhrenzellen, durch Siebplatten getrennt, mit angelagerten lebenden Parenchymzellen (Geleitzellen).

Sehr auffallend ist der Übergang von Rinde zu Borke bei der heimischen Wald-Kiefer. Bei etwa zwanzigjährigen und älteren Bäumen ist im oberen Stammbereich und den dickeren Ästen deutlich die dünnschuppige, oft fuchsrote Spiegelrinde erkennbar. Zum Stammfuß hin schließt die dickere, dunkelbraune, stark längs-rissige gefelderte Borke an.

Einige Baumarten, wie die Rot-Buche und die Hainbuche, sind nicht in der Lage Borke zu bilden. Sie werden daher als Peridermbäume bezeichnet. Bei ihnen bleibt die meist nur bis zu 2cm starke Rinde an der Oberfläche zeitlebens glatt.

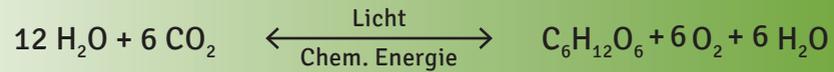


Abb. 14: [a] Rinde von Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), [b] Borke von Stiel-Eiche (*Quercus robur*).

4 BLÄTTER UND NADELN DIE ZUCKERFABRIKEN

An allen wachsenden Pflanzenteilen, ob bei der Jahrringbildung, dem Jahrestrieb- oder Wurzelwachstum, sind für die zahllosen neu gebildeten Zellen große Mengen Baustoffe erforderlich. Diese werden vor allem für die Festigung der Zellwände eingesetzt und stammen unmittelbar aus der Photosynthese der Blätter und Nadeln.

Unter Photosynthese versteht man den Stoffwechselvorgang, bei dem unter Nutzung von Lichtenergie aus Kohlendioxid und Wasser zunächst energiereiche Zucker aufgebaut sowie Sauerstoff an die Luft abgegeben werden.



Chemische Summenformel der Photosynthese.

16

Dieser Prozess läuft in kleinen, linsenförmigen Zellbestandteilen grüner Pflanzenzellen – den Chloroplasten – ab. In Blättern und Nadeln sind die Zellen besonderer Gewebeschichten dicht mit Chloroplasten gefüllt. Ihr Inneres ist mit Membranstapeln angefüllt.

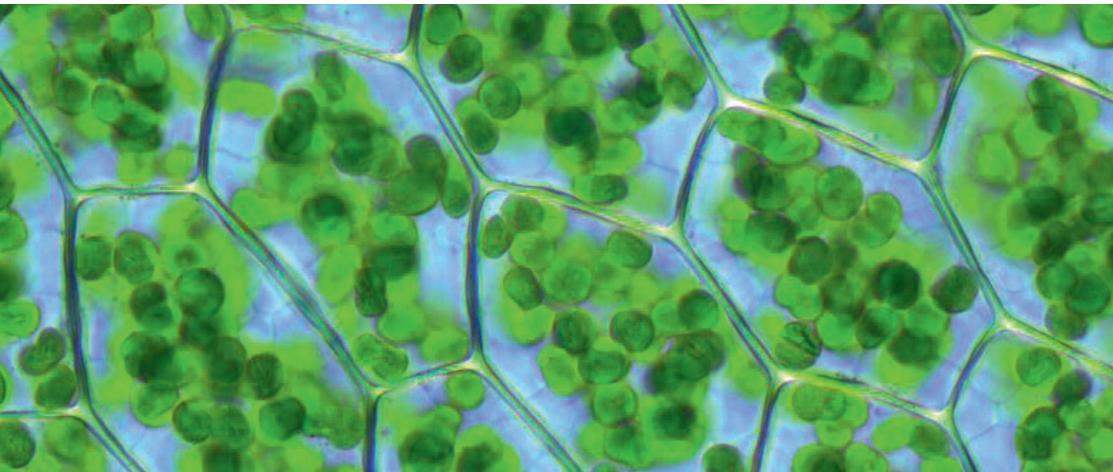


Abb. 15: Chloroplasten in Blattzellen eines Mooses.

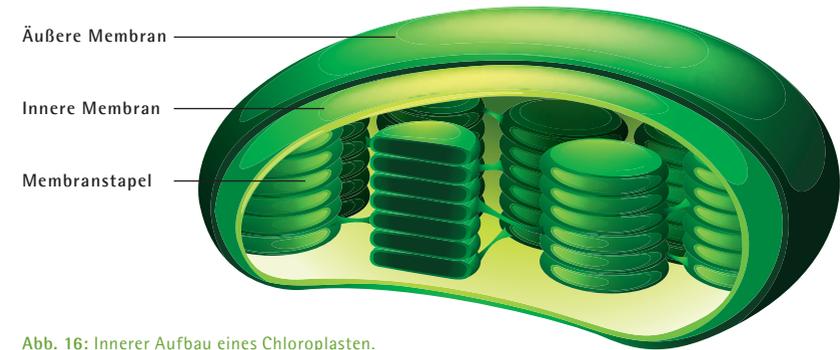


Abb. 16: Innerer Aufbau eines Chloroplasten.

In die Membranschichten sind „Lichtfallen“, die sogenannten Photosysteme, eingebunden, deren wesentliche Bestandteile Blattfarbstoffe wie Chlorophyll a und Chlorophyll b sind. Unmittelbare Aufgabe dieser Blattfarbstoffe ist es, Lichtenergie einzufangen und für Stoffwechselvorgänge nutzbar zu machen.

Im ersten Abschnitt dieses Prozesses, der Lichtreaktion, erfolgt die Spaltung von Wassermolekülen. Die freiwerdenden Elektronen und Wasserstoffionen werden anschließend in einer Reihe von Folgereaktionen dazu genutzt, um zwei verschiedene Energieträger aufzubauen (ATP, NADPH + H⁺). Der ebenfalls aus der Wasserspaltung stammende Sauerstoff ist ein Abfallprodukt. Er wird über die Spaltöffnungen in den Blättern an die Atmosphäre abgegeben.

In der nachgeschalteten Dunkelreaktion dienen die Energieträger dazu, in weiteren Reaktionsschritten mithilfe des Kohlendioxids der Luft, Zuckermoleküle – vorwiegend als β-Glucose – aufzubauen. Die Zucker aus allen photosynthetisch aktiven Zellen der Blätter werden zum Bastteil der Blattnerven weitertransportiert und von dort über den Bast der Zweige und des Stammes bis zu den Wurzeln verteilt.

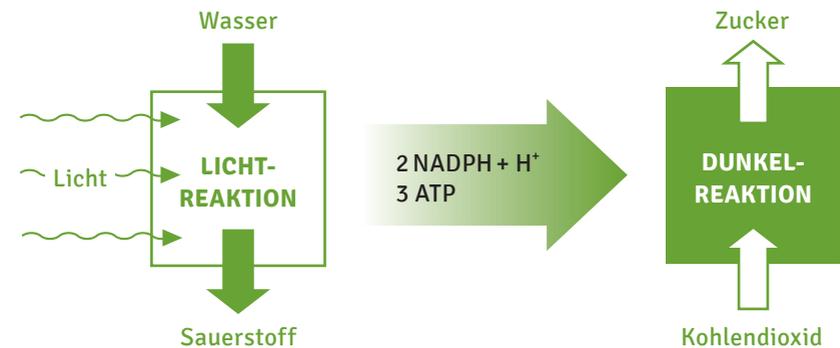


Abb. 17: Schematische Darstellung von Licht- und Dunkelreaktion der Photosynthese.

17

5 BÄUME VERSTEHEN LERNEN UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Verfahren und Techniken zur wissenschaftlichen Untersuchung von Pflanzen haben in den zurückliegenden drei Jahrzehnten eine rasche Entwicklung erfahren. Im Vordergrund stehen seither vor allem morphologische, stoffwechselphysiologische, genetische und biochemische Methoden.

MORPHOLOGISCH - ANATOMISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Das schlichte Bauprinzip, alle oberirdischen Strukturen von den Zweigen bis zum Stamm aus der jährlichen Neubildung von Jahrestrieben und Jahrringen aufzubauen, bietet verschiedene Möglichkeiten die individuelle Entwicklung von Bäumen vor allem auch rückblickend zu untersuchen.

ANALYSE DES KRONENAUFBAUS

Vereinfacht ausgedrückt ist ein Baum neben der Belaubung und dem Wurzelsystem die Summe aller seit der Samenkeimung gebildeten Jahrestriebe. Die konkrete Länge eines Jahrestriebes – sei es der Gipfeltrieb des Stammes oder der Längentrieb eines Astes – ist vor allem von der aktuellen Wuchskraft des Baumes abhängig. Einige Rahmenbedingungen schränken diesen grundsätzlichen Sachverhalt ein. So ist bekannt, dass bei allen Baumarten mit zunehmendem Alter die Jahrestrieblängen im Trend abnehmen. Äste aus der Sonnenkrone eines Baumes bilden im Vergleich konkreter Einzeljahre längere Jahrestriebe aus als Schattenäste.

Schließt man bei Untersuchungen derartige überlagernde Einflüsse aus, so ist es beispielsweise möglich, durch den Vergleich der Jahrestrieblängen mehrerer Jahre, Hinweise auf den Einfluss von Witterungseinflüssen für das Baumwachstum zu erhalten.

Abbildung 18 zeigt, dass die außerordentlich geringen Niederschläge im Jahr 2003 zu einer deutlichen Verkürzung der Jahrestriebe geführt haben.

Folgt man dem Jahrestrieb von der Endknospe über die kleiner werdenden Seitenknospen zu seiner Basis hin, so fallen bei vielen Laubbaumarten meist nur wenige Zentimeter unterhalb der letzten Seitenknospe quer verlaufende, wellenartige Rillen auf. Diese Strukturen sind die ursprünglichen Ansatzstellen der Knospen-

schuppen und stellen den eigentlichen Anfang des Jahrestriebes dar. Seine Länge entspricht damit dem Abstand zwischen diesen Knospenschuppennarben und der Endknospe.

Bei der Rot-Buche bleiben die Knospenschuppennarben wegen der glatten Rinde über mehrere Jahre erhalten. Dadurch ist es möglich, das Längenwachstum von Ästen oder des Stammes auch über längere Zeiträume zurück zu verfolgen.

Wesentlicher Zweck der Bildung neuer Jahrestriebe an Zweigen und Ästen ist es, die Oberfläche und das Volumen der Krone von der Jungpflanze bis hin zum Altbaum kontinuierlich zu vergrößern. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies: größere Krone = mehr Blätter / Nadeln = mehr Photosynthese = besseres Wachstum.

Diese Regel gilt in geschlossenen Wäldern jedoch nur eingeschränkt. Der Konkurrenzkampf um Licht zwischen benachbarten Bäumen treibt zunächst das Höhenwachstum voran. Erst später – nach dem Ausdunkeln und Absterben weniger wuchskräftiger Nachbarbäume – entwickelt sich der baumartentypische Kronenaufbau.

Dieser über Jahrzehnte dauernde, dynamische Prozess führt natürlich in jeder Krone zu zahlreichen Veränderungen und Anpassungen. Im Kroneninneren liegende Bereiche der sogenannten Schattenkrone bilden häufig keine neuen Jahrestriebe mehr aus. Dünnere Äste und Zweige sterben dort häufig ab. In der Sonnenkrone dagegen findet das eigentliche Volumenwachstum der Baumkrone statt.

18

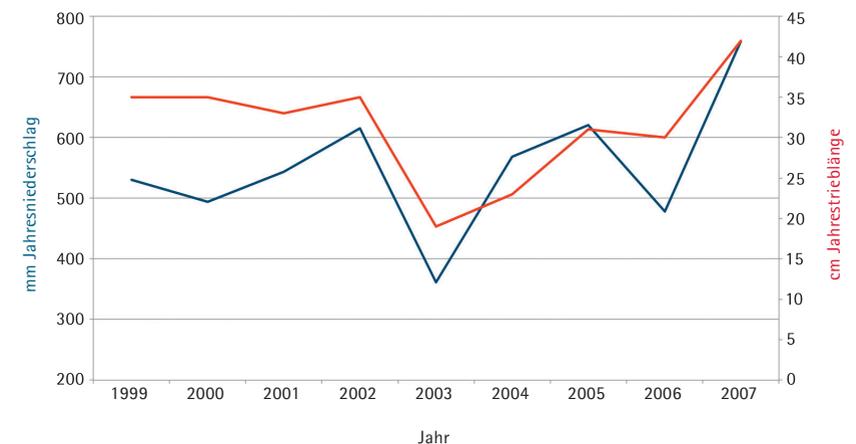


Abb. 18: Jahrestrieblängen von Buchenästen aus der Sonnenkrone für die Jahre 1999 bis 2007.

19

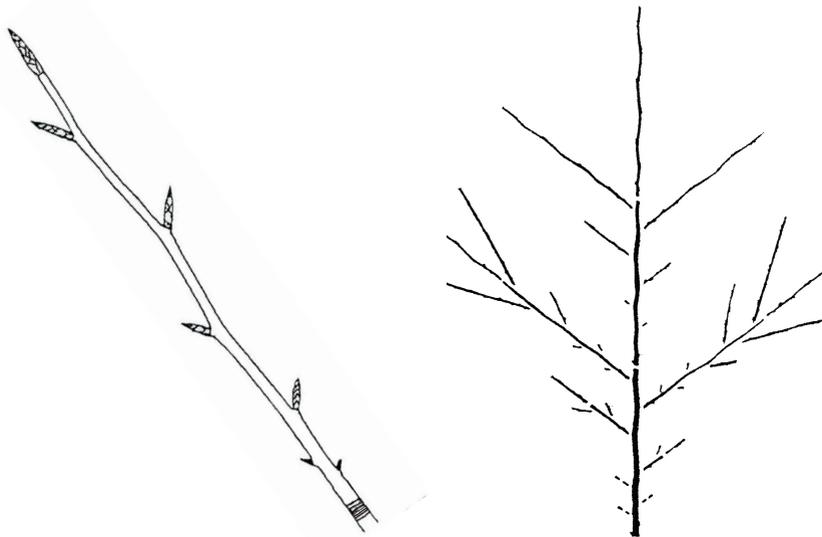


Abb. 19: Verzweigungsmuster von Zweigen der Rot-Buche. Links: aktueller Jahrestrieb mit Spitzenknospe, zur Triebbasis hin kleiner werdenden Seitenknospen und Knospenschuppennarben (Knospenspur). Rechts: dreijähriger Zweig.

20

JAHRRINGUNTERSUCHUNGEN

Alle Gehölzarten bilden in unseren Breiten jedes Jahr etwa im Zeitraum von Mai bis August einen neuen Jahrring aus. Dieser stetige Holzzuwachs von den aktuellen Jahrestrieben über die Äste und den Stamm bis zu den Wurzeln wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst. Ungünstige Wachstumsbedingungen wie Wasser- oder Nährstoffmangel führen zu schmalen Jahrringen. Günstige Lichtverhältnisse oder umfangreiche Reservestoffvorräte unterstützen die Holzbildung maßgeblich.

Als lebende Messfühler zeichnen somit Bäume und Sträucher über das Muster der Jahrringbreiten zeitlebens ihre eigenen Wachstums- und Lebensbedingungen auf. Die aktuelle Klimafolgenforschung im Wald bedient sich bei vielen wissenschaftlichen Fragestellungen dieses „Archivs“. Anhand der Jahrringbreiten können Klima-Wachstumsbeziehungen der Vergangenheit rekonstruiert werden. Diese dienen als Prognosemodelle für zukünftige Veränderungen im Wachstum einzelner Baumarten oder ganzer Waldbestände. Kenntnisse über die Möglichkeiten und Grenzen der Anpassungsfähigkeit verschiedener Baumarten an einen möglichen globalen Klimawandel sind vor allem in der Forstwirtschaft mit ihren langen Produktionszeiten herausragend bedeutsam.

Bei entsprechenden dendrochronologischen Untersuchungen werden i.d.R. mithilfe eines Zuwachsbohrers je Baum mehrere, wenige Millimeter starke Bohrkern entnommen, im Labor getrocknet und geschliffen. Mithilfe eines Jahrringmesssches oder eines hochaufgelösten digitalen Scans werden die einzelnen Jahrringbreiten anschließend in ihrer zeitlichen Abfolge vermessen. Je Bohrkern entsteht eine sogenannte Jahrringkurve. Mehrere Messreihen pro Baum oder Waldbestand können in weiteren Auswertungsschritten zu entsprechenden Durchschnittswerten zusammengefasst werden. Aus dem Vergleich der Jahrringbreiten mit den entsprechenden Witterungsdaten, wie etwa der Niederschlagsmenge während der Vegetationszeit, können Fragestellungen zur Trockenstress-Anfälligkeit verschiedener Baumarten genauer untersucht werden.

21

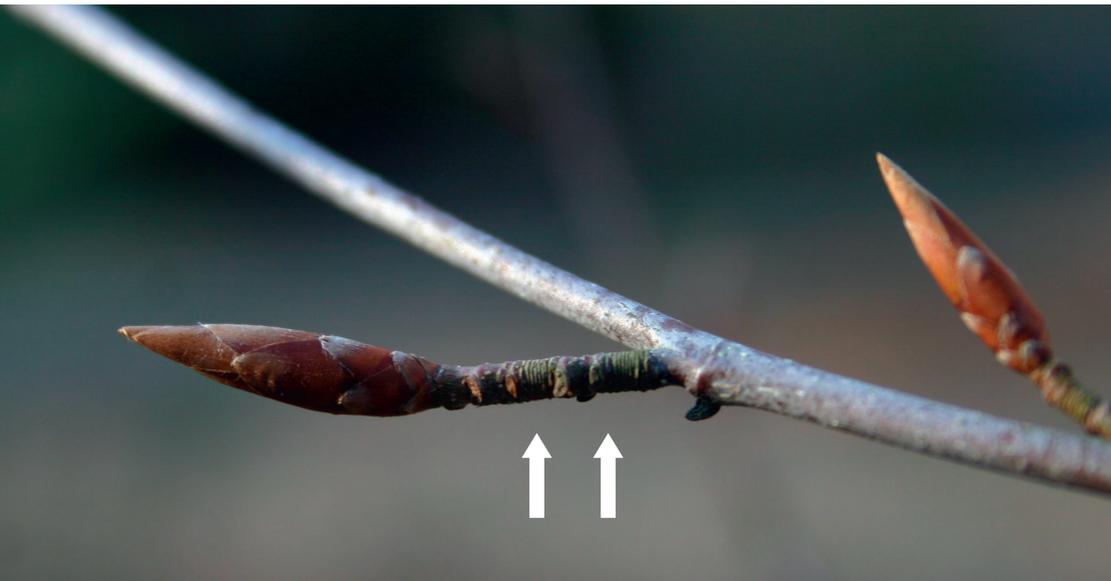


Abb. 20: Dreijähriger Kurztrieb der Rot-Buche mit Knospenschuppennarben (s. weiße Pfeile).



a



b

Abb. 21: [a] Einsatz des Zuwachsbohrers, [b] aus dem Zuwachsbohrer entnommener Bohrkern.

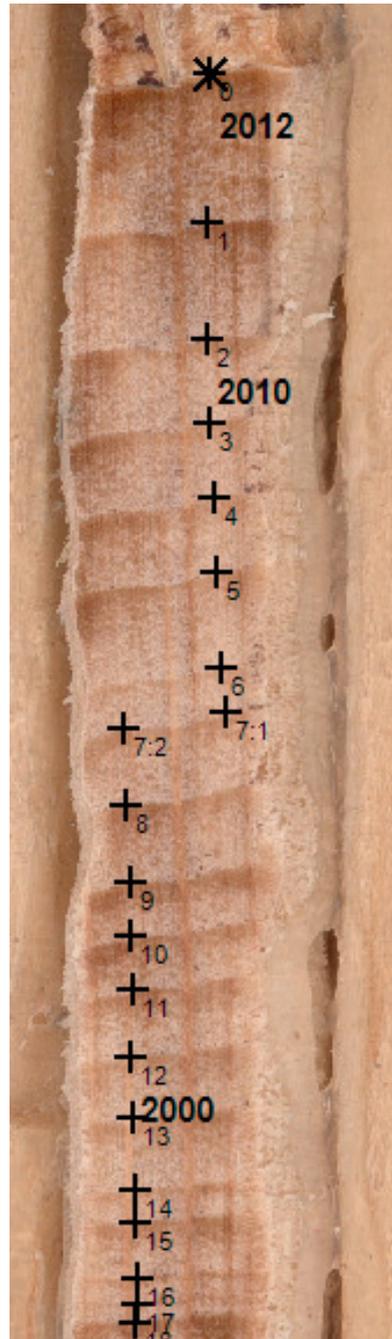


Abb. 22: Vermessung der Jahrringbreiten auf einem Bohrkern.

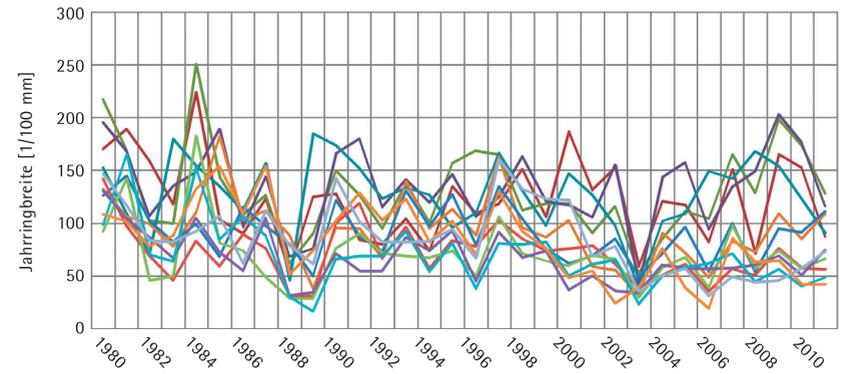


Abb. 23: Individuelle Jahrringbreiten bei 12 Probebäumen von Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) 1980 – 2011.

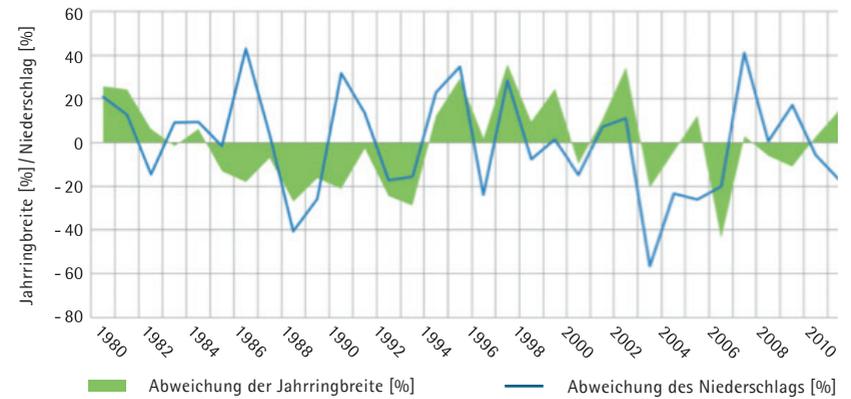


Abb. 24: Jährliche Abweichung der Jahrringbreite und des Niederschlages bei Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in % vom langjährigen Mittel (1981 – 2011). Mittelwerte aus 10 Probebäumen 1980 – 2011.

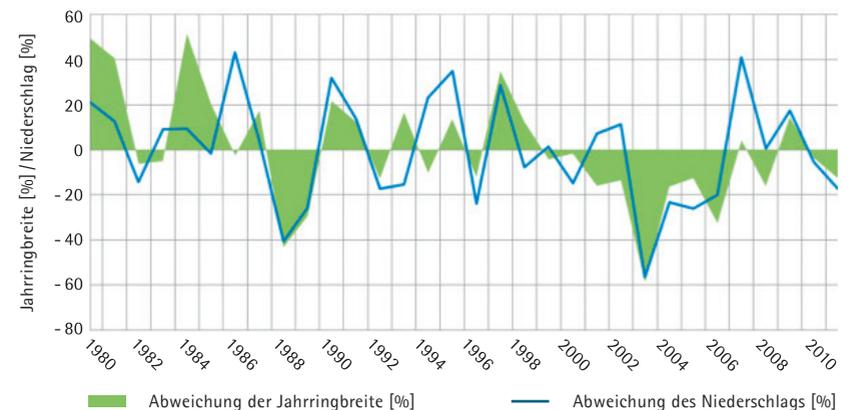


Abb. 25: Jährliche Abweichung der Jahrringbreite und des Niederschlages bei Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) in % vom langjährigen Mittel (1981 – 2011). Mittelwerte aus 10 Probebäumen.

BOHRWIDERSTANDSMESSUNG

Mit dem Verfahren der Bohrwiderstandsmessung (Resistographie) wird der innere Zustand eines Holzkörpers, vorrangig seine Holzdichte, untersucht. Das Gerät kann am stehenden Baum im Wald genauso wie bei verbauten Holzteilen in Gebäuden eingesetzt werden.

Kernstück des Messgerätes ist eine bis zu 45 cm lange, nur 1 – 1,5 mm dicke Bohrnadel, die mit gleichbleibendem Vorschub und konstanter Umdrehung in das Holz eingebohrt wird. Gemessen wird dabei die Stromaufnahme des Motors beim Eindringen der Nadel. Die laufend aufgezeichneten Messwerte entsprechen somit dem mechanischen Eindringwiderstand an der Spitze der Bohrnadel.

Entlang des Bohrprofils können daher Unterschiede in der Dichteverteilung erfasst und dargestellt werden.

In gesundem Holz zeigen sich auf hohem Widerstandsniveau rasch wechselnde Widerstandswerte um einen zumeist stabilen Mittelwert herum. Diese „zitternden“ Messwerte entsprechen weitgehend der Jahringstruktur des jeweils dichteren Spätholzes und des lockereren Frühholzes. Fäulen oder sogar Hohlräume weisen deutlich geringere oder keine Widerstandswerte auf. Sie werden in den Messprofilen zumeist durch abrupte Einbrüche in den Messkurven deutlich.

Bohrwiderstandsmessungen werden von Baumgutachtern und Baumpfleger häufig zur Beurteilung der Standfestigkeit von älteren Bäumen eingesetzt. Vor allem von außen nicht erkennbare große Faulstellen im Stammbereich oder Wurzelanlauf sind mit dem Resistographen problemlos identifizierbar. Zur Beurteilung der Bruchsicherheit von Straßen- und Parkbäumen bei beginnender Holzersetzung sind zumeist mehrere Bohrungen und ggf. auch der Einsatz weiterer Untersuchungsverfahren erforderlich.



Abb. 26: Einsatz eines Resistographen.

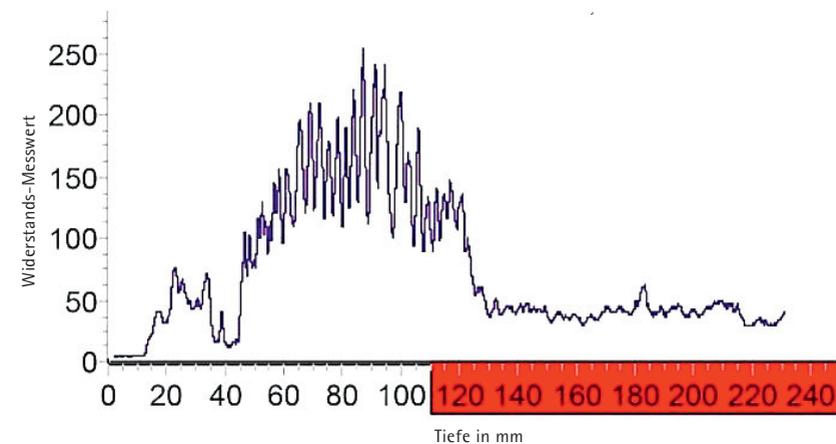


Abb. 27: Messprofil eines Resistographen an einer Altkiefer bis zu einer Bohrtiefe von 23 cm. Im Stamminnen zeigt der sprunghafte Rückgang der Widerstandswerte (roter Bereich) eine ausgeprägte Kernfäule an.

SCHALLTOMOGRAPHIE

Schalltomographen bieten vorrangig die Möglichkeit, die Standsicherheit lebender Bäume oder die Tragfähigkeit verbauter Holzteile zerstörungsfrei zu untersuchen. Mithilfe von Schallwellen sind dadurch beispielsweise Pilzbefall im Stammholz oder Risse im Holzkörper nachweisbar. Entsprechende Untersuchungsergebnisse sind wichtige Bewertungskriterien zur Einschätzung der Verkehrssicherheit von Park- oder Alleebäumen.

Das Messgerät besteht aus mehreren Messfühlern, die am Baum befestigt werden, sowie aus einem angeschlossenen Computer zur Auswertung und Darstellung der Messdaten. An dem zu untersuchenden Stammbereich werden zunächst gleichmäßig über den Umfang verteilt mehrere Sensoren angebracht. Als Befestigung dienen



Abb. 28: Einsatz eines Schalltomographen.

Metallnägel, die durch die Rinde bis in den äußeren Jahrring eingeschlagen werden. Alle Sensoren sind entweder über Kabel oder drahtlos mit dem Computer verbunden. Für den eigentlichen Messvorgang wird reihum jeweils ein Messfühler mit einem Hammer angeklopft. Er dient damit als Signalgeber. Die übrigen Sensoren messen die Laufzeit der Schallwellen durch den Holzkörper. Holz, das durch Pilzbefall an Festigkeit verliert, leitet ebenso wie Höhlungen im Stamm den Impuls langsamer als gesundes Holz. Auch die Holzfeuchtigkeit, bspw. im Vergleich zwischen Splint- und Kernholz, beeinflusst die Laufzeit der Schallwellen. Die Messwerte aller Sensoren werden anschließend durch spezielle Auswertungs-Software in mehrfarbige Bilder umgesetzt, die den Zustand des Holzes am untersuchten Stammquerschnitt darstellen. Durch Mehrfachmessungen in unterschiedlichen Stammhöhen kann auf diese Weise auch die räumliche Ausbreitung von Schäden dokumentiert werden.

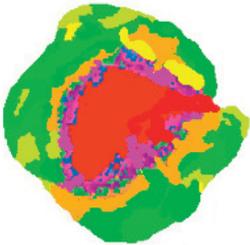


Abb. 29: Vereinfachte Darstellung eines Schalltomogramms von einem ca. 50 cm dicken Buchen-Stamm. Der rote Bereich im Inneren weist auf eine ausgeprägte Fäule hin, die am rechten Rand bis zur Stammoberfläche reicht. Die grünen und gelben/orangen Flächen entsprechen intakten Holzschichten.

STOFFWECHSELPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Der Wasserzustand von Zellen und Geweben, der Wassertransport von den Feinwurzeln bis zu den wasserverdunstenden Blättern, wie auch die Photosyntheseleistung der Blätter sind entscheidende Lebensvorgänge aller Pflanzen. In der Pflanzenphysiologie wurden für Untersuchungen in diesen Teilbereiche zahlreiche Messgeräte und -verfahren entwickelt.

MESSUNG DES BLATT-TURGORS

Der Turgor oder Turgordruck ist eine Kenngröße, durch die der Wasserzustand in lebenden Pflanzenzellen und -geweben beschrieben wird. Pflanzen mit sehr guter Wasserversorgung weisen in den Zellen der Blattgewebe einen hohen Turgordruck auf. Wassermangel führt zum Rückgang des Turgordruckes. Bei vielen Krautpflanzen ist dieser Vorgang mit bloßem Auge durch das zunehmende Welken der Blätter erkennbar.

Moderne Messfühler, sogenannte ZIM-Turgor-Sonden, können derartige Schwankungen des Wasserzustandes von Blättern über längere Zeiträume erfassen. Entsprechende Software stellt die Messreihen in Kurvendiagrammen dar.

Jede ZIM-Turgor-Sonde besteht aus zwei Magneten. Der mit einem Kabel versehene Magnet enthält den eigentlichen Drucksensor. Der Gegenmagnet ist auf einem Drehgewinde montiert. Dadurch kann der Abstand zwischen den Magneten verändert werden. Über das Kabel wird ein elektrischer Impuls der jeweiligen Druckänderung im Blatt an einen Sender weiter geleitet, der über Funk mit einem Datenserver verbunden ist. Die Daten werden dann in eine Datenbank übertragen und auf einer Computerplattform tabellarisch und graphisch dargestellt. Das eigentliche Messsignal ist die Differenz zwischen dem magnetischen Druck und dem Turgor.



Abb. 30: ZIM-Turgor-Sonde an einem Buchenblatt. Verkabelter Drucksensor auf der Blattunterseite.

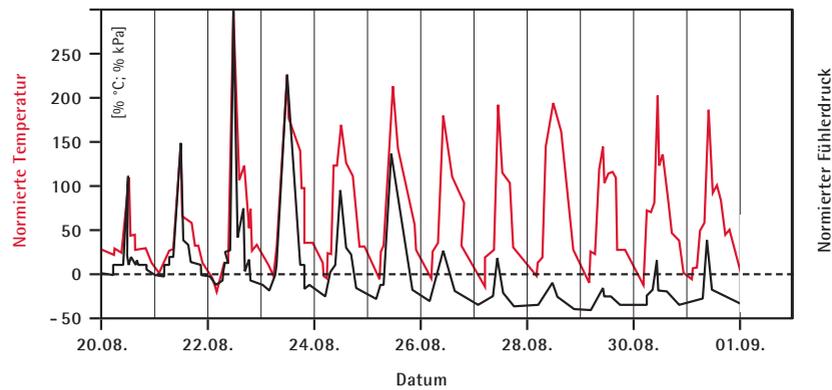


Abb. 31: Zeitliche Entwicklung des Turgor-Drucks in Blättern von Trauben-Eichen bei zunehmendem Trockenstress.

Die fünfjährigen getopfsten Trauben-Eichen weisen bei fehlender Bewässerung etwa sechs Tage nach Versuchsbeginn einen deutlichen Rückgang des durchschnittlichen täglichen Blatt-Turgors auf (siehe schwarze Linie in Abb. 31).

SCHOLANDER-BOMBE

Wie die ZIM-Turgor-Sonde dient auch die sogenannte Scholander-Bombe (Druckbombe) der Untersuchung des Wasserzustandes von Blättern oder Zweigen.

In einer unverletzten, Wasser verdunstenden Pflanze stehen die Wasserfäden im Holzteil – von den Wurzelspitzen über das Splintholz bis zu den Leitbündeln in den Blättern – unter einem Unterdruck. Wird ein Blatt abgeschnitten, so zieht sich der Wasserfaden in die Leitungsbahnen zurück. Dieses Zurückschnellen reicht umso weiter in den abgetrennten Pflanzenteil hinein, je angespannter der Wasserzustand zum Zeitpunkt der Abtrennung war.

Für die Messung wird das Blatt so in ein Druckgefäß eingespannt, dass nur der Blattstiel aus dem Gefäß herausragt. Erhöht man nun langsam den Innendruck durch zugeleitete Pressluft solange, bis auf der Schnittfläche Wasser aus den Leitungsbahnen austritt, so entspricht der angelegte positive Druck im Druckgefäß dem vor dem Abschneiden bestehenden negativen Druck.

In der Versuchsdurchführung bedeutet dies, dass bei Blättern von optimal wasserversorgten Pflanzen der Wiederaustritt des Wassers bei sehr geringen Druckwerten zu beobachten ist. Bei ausgeprägtem Wassermangel ist deutlich höherer Druck erforderlich.

Mit der Scholander-Bombe können Fragestellungen wie etwa zur Trockenstressreaktion verschiedener Baumarten untersucht werden.

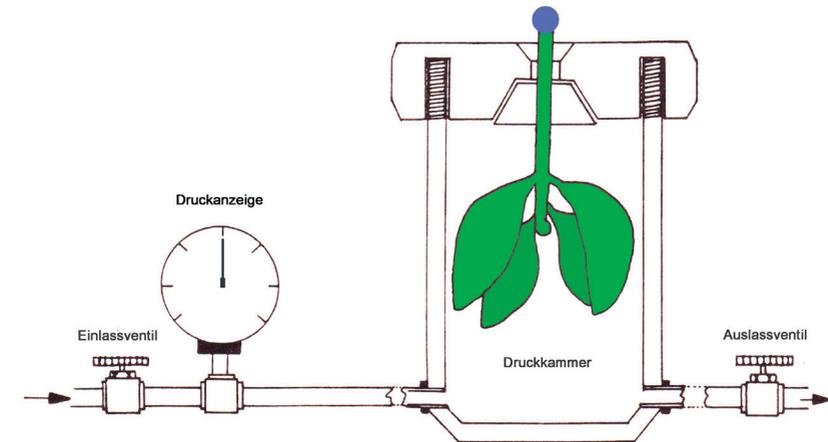


Abb. 32: Funktionsweise der Scholander-Bombe: Durch Pressluftzufuhr in die Druckkammer tritt Wasser auf der Schnittfläche des Pflanzenteils aus. Der entsprechende Wert des Innendrucks wird auf der Druckanzeige abgelesen.

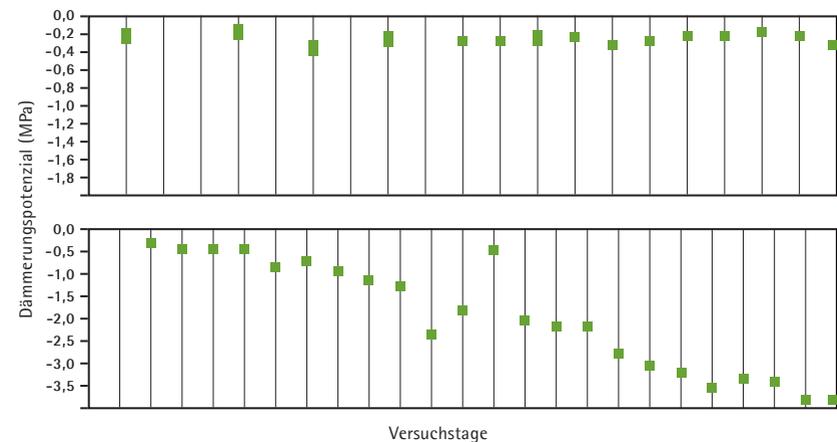


Abb. 33: Scholander-Meßwerte an Blättern von Traubeneichen. Oben: bei optimaler Wasserversorgung der Versuchspflanzen weisen die Blätter durchgehend ähnlich stabile Werte des Wasserpotenzials auf. Unten: bei zunehmender Austrocknung nehmen die Werte im Versuchszeitraum kontinuierlich ab.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1:** *Pinus longaeva*, Kalifornien, White Mountains, USA. Shebs, Stan: <http://goo.gl/8xVwFQ> (2014 – 10 – 05)
- Abb. 2:** Von den Cellulosefäden zum Baum. Von links: Bündelung der Einzelfäden zu Micellen und Fibrillen, Aufbau der Zellwände, Entstehung der Jahrringe und des Stammes. University of Canterbury, 1996, Graphische Gestaltung Mark Harrington
- Abb. 3:** Fruchtkörper von *Fomes fomentarius* [a] an Buche und *Piptoporus betulinus* [b] an Birke. [a] Wikimedia Commons: <http://goo.gl/V12rGx> (2014 – 10 – 05) [b] Wikimedia Commons: <http://goo.gl/fKKG9> (2014 – 10 – 05)
- Abb. 4:** Ausschnitt aus einer fünfjährigen Sprossachse (Stamm, Ast) der Wald-Kiefer. Steiner, Thomas: <http://goo.gl/PhA4rB> (2014 – 10 – 05)
- Abb. 5:** Stammquerschnitt von Eiche mit dunklem Kernholz und hellem Splintholz. Schill, Prof. Dr. Harald / Diederer, Angela
- Abb. 6:** Buchenstammholz mit Kernfäule und Überwallungswülsten (oben). Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 7:** Querschnitt durch einen 9-jährigen Kiefernstamm. Rot: Holzteil, links-zentral Mark, nach rechts folgend Jahrringe mit radialen, strahlenförmigen schmalen Holzstrahlen; blau: Kambium, Phloem und Rinde. Clark, Curtis: <http://goo.gl/rK8kez> (2014 – 10 – 03)
- Abb. 8:** Querschnitt durch Nadelholz (Lärche). Ausschnitt mit 2 vollständigen Jahrringen, jeweils mit hellerem Frühholz und dunklerem Spätholz; Jahrringgrenze als Übergang zwischen dem Spätholz des einen Jahres und dem Frühholz des Folgejahres. Verändert nach Grosser, D.; Ehmcke, G.: Das Holz der Lärche – Eigenschaften und Verwendung. LWF Wissen 69, Freising 2012: 66.
- Abb. 9:** Nadelholz, Wald-Kiefer (Schnittachsen. Oben: quer, links: radial, frontal: tangential). Blau: Holzstrahl mit wasserleitenden Tracheiden oben und unten, sowie lebenden Parenchymzellen dazwischen. Verändert nach Braune W., Lehmann A., Taubert, H.: Pflanzenanatomisches Praktikum. G. Fischer Verlag, Stuttgart 1971.
- Abb. 10:** Holzstrahlen im Querschnitt von Eichenholz. Schill, Prof. Dr. Harald / Diederer, Angela
- Abb. 11:** Laubholz, Rotbuche (Schnittachsen: oben: quer, links: radial, frontal: tangential) hellgrün: Tracheen, rot: Tracheiden, orange: tracheenbegleitende Parenchymzellen, gelb: Holzfasern, blau: Holzstrahl aus Parenchymzellen. Verändert nach Braune W., Lehmann A., Taubert, H.: Pflanzenanatomisches Praktikum. G. Fischer Verlag, Stuttgart 1971.
- Abb. 12:** [a] Zerstreutporiges Laubholz: bspw. Buche, Ahorn, [b] Ringporiges Laubholz: bspw. Eiche, Esche. Verändert nach Schütt, P.; Koch, W.: Allgemeine Botanik für Forstwirte. P. Parey. Berlin 1978.
- Abb. 13:** Ausschnitt aus dem Phloem zwei Siebröhrenzellen durch Siebplatten getrennt mit angelagerten lebenden Parenchymzellen (Geleitzellen). Verändert nach <http://www.biokurs.de>.
- Abb. 14:** [a] Rinde von Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), [b] Borke von Stiel-Eiche (*Quercus robur*). Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 15:** Chloroplasten in Blattzellen eines Mooses. Wikimedia Commons: <http://goo.gl/Aug0gB> (2014 – 10 – 03)
- Abb. 16:** Innerer Aufbau eines Chloroplasten.
- Abb. 17:** Schematische Darstellung von Licht- und Dunkelreaktion der Photosynthese. Verändert nach Lüttge, U.; Kluge, M. Thiel, G.: Botanik. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2010.
- Abb. 18:** Jahrestriebblängen von Buchenästen aus der Sonnenkrone für die Jahre 1999 bis 2007. Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 19:** Verzweigungsmuster von Zweigen der Rot-Buche. Links: aktueller Jahrestrieb mit Spitzenknospe, zur Triebbasis hin kleiner werdenden Seitenknospen und Knospenschuppennarben (Knospenspur); rechts: dreijähriger Zweig. Verändert nach Roloff: Flora 180. 1988: 300 – 305.
- Abb. 20:** Dreijähriger Kurztrieb der Rot-Buche mit Knospenschuppennarben (s. weiße Pfeile). Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 21:** [a] Einsatz des Zuwachsbohrers, [b] aus dem Zuwachsbohrer entnommener Bohrkern. Reschke, Anastasia
- Abb. 22:** Vermessung der Jahrringbreiten auf einem Bohrkern. Schmidt, Henriette
- Abb. 23:** Individuelle Jahrringbreiten bei 12 Probestämmen von Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) im Zeitraum 1980 – 2011. Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 24:** Jährliche Abweichung der Jahrringbreite und des Niederschlages bei Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in % vom langjährigen Mittel (1981 – 2011). Mittelwerte aus 10 Probestämmen 1980 – 2011. Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 25:** Jährliche Abweichung der Jahrringbreite und des Niederschlages bei Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) in % vom langjährigen Mittel (1981 – 2011). Mittelwerte aus 10 Probestämmen. Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 26:** Einsatz eines Resistographen. Firma IML
- Abb. 27:** Messprofil eines Resistographen an einer Altkiefer bis zu einer Bohrtiefe von 23 cm. Im Stamminneren zeigt der sprunghafte Rückgang der Widerstandswerte (roter Bereich) eine ausgeprägte Kernfäule an. Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 28:** Vereinfachte Darstellung eines Schalltomogramms von einem ca. 50 cm dicken Buchen-Stamm. Der rote Bereich im Inneren weist auf eine ausgeprägte Fäule hin, die am rechten Rand bis zur Stammoberfläche reicht. Die grünen und gelben/orangen Flächen entsprechen intakten Holzschichten. Forstreuther, Dr. Manfred
- Abb. 29:** Einsatz eines Schalltomographen. Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 30:** ZIM-Turgor-Sonde an einem Buchenblatt; verkabelter Drucksensor auf der Blattunterseite. Geisel, Julian, Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 31:** Zeitliche Entwicklung des Turgor-Drucks in Blättern von Trauben-Eichen bei zunehmendem Trockenstress. Geisel, Julian, Schill, Prof. Dr. Harald
- Abb. 32:** Funktionsweise der Scholander-Bombe: Durch Pressluftzufuhr in die Druckkammer tritt Wasser auf der Schnittfläche des Pflanzenteils aus. Der entsprechende Wert des Innendrucks wird auf der Druckanzeige abgelesen. Verändert nach Willert, D.; Matyssek, R.; Herppich, W.: Experimentelle Pflanzenökologie. G. Thieme Verlag, Stuttgart 1995.
- Abb. 33:** Scholander-Mewerte an Blättern von Traubeneichen. Oben: bei optimaler Wasserversorgung der Versuchspflanzen weisen die Blätter durchgehend ähnlich stabile Werte des Wasserpotenzials auf, unten: bei zunehmender Austrocknung nehmen die Werte im Versuchszeitraum kontinuierlich ab. Geisel, Julian, Schill, Prof. Dr. Harald



Die vorliegende Broschüre richtet sich an Waldbesitzer, Forstleute, Mitarbeiter in Behörden und Verwaltungen, Baumpfleger, Landschaftsplaner sowie an interessierte Laien, die aus beruflichem oder persönlichem Interesse eine Verbindung zu Wald und Bäumen haben.

Unser Ziel ist es, in den folgenden Kapiteln einerseits über botanische Besonderheiten der Gruppe der Gehölze zu informieren und andererseits moderne Verfahren und Techniken zur zerstörungsfreien Untersuchung von Bäumen vorzustellen. Diese Verknüpfung von Theorie und Praxis soll zu einer spannenden und lehrreichen Annäherung an die Lebensvorgänge von Bäumen beitragen.