

Der hohle Stamm als eine natürliche Lebensäußerung von Bäumen *)

Strategien des Wachstums bei Gehölzen

Das Wachstum von Gehölzen folgt den wesentlichen Einflussfaktoren der Evolution. Dabei spielen der Wettbewerb um den optimalen Lichtgenuss und die Verteilungsmöglichkeit für die Nachkommen (räumliche Streuung der Samen) die entscheidende Rolle. Während einjährige und mehrjährige krautige Pflanzen aufgrund ihrer Anatomie ausschließlich über die Fähigkeit zum Längenwachstum verfügen, können Gehölze sowohl in die Länge als auch in die Dicke wachsen. Längen- und Dickenwachstum können sich zudem bei Gehölzen über viele Jahre, Jahrzehnte oder Jahrhunderte erstrecken. Zum Dickenwachstum sind ausschließlich Gehölze befähigt. Es handelt sich um die Gruppen der Nacktsamer (Nadelgehölze einschließlich *Ginkgo*) sowie die Bedecktsamer (Laubgehölze).

Vor allem aus dem Längenwachstum resultiert die Gestalt eines Gehölzes. Von großer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Position der Erneuerungsknospen am Gehölz. Bei den baumartig wachsenden Gehölzen befindet sich Mehrzahl der Erneuerungsknospen für den jährlichen Austrieb an den Triebspitzen und damit an der Peripherie der Baumkrone. Diese Knospen werden im Vergleich zu den Knospen im Kroneninnern am stärksten im Austrieb gefördert und bilden normalerweise auch den größten jährlichen Längenzuwachs. Dieser Effekt ist durch Phytohormone gesteuert und heißt Akrotonie (Spitzenförderung).

Im Vergleich dazu befindet sich die Mehrzahl der Erneuerungsknospen bei Sträuchern an der Gehölzbasis. Der daraus entstehende jährliche Neutrieb bringt Triebe hervor, die aus der Basis entspringen und den typischen Aufbau eines Strauches bedingen. Dieser Effekt heißt Basitonie (Basisförderung).

Der Effekt der Akrotonie führt demnach dazu, dass Bäume sehr hoch wachsen können und auch natürlicherweise in Stamm und Krone gegliedert sind. Der Stamm dient dabei zunächst als stabilisierendes Element für einen aufrechten Wuchs und trägt die Baumkrone mit den Blättern, Blüten und Früchten (Samen).

Neben den genannten Funktionen erfüllt der Stamm eines Baumes weitere Aufgaben. Dazu gehören der Transport und die Speicherung von Stoffen. Weil die Bäume unter dem Einfluss evolutionärer Faktoren aufrecht und hoch wachsen müssen und sich die Wurzeln weit entfernt

von den Blättern im Boden befinden, müssen entsprechende Stofftransporte stattfinden. Die Blätter eines Baumes verlieren aufgrund des Dampfdruckgefälles zwischen Wassergehalt im Blatt und Wassergehalt in der Umgebungsluft ständig Wasser (Transpiration). Dieses Wasser muss von den Wurzeln aus der Bodenlösung aufgenommen und über den Stamm in die Krone nachgeliefert werden.

Gleichzeitig erfolgt in den Blättern die Synthese von organischen Stoffen wie Zuckern, Vitaminen und Phytohormonen. Diese Stoffe müssen ebenfalls über weite Entfernungen dahin transportiert werden, wo sie zur Energiegewinnung und zur Steuerung von Wachstumsprozessen benötigt werden. Auch diese Transporte erfolgen durch den Stamm.

Somit bleibt zunächst festzustellen, dass das Wachstumsmuster und die Pflanzengestalt sehr eng miteinander verbunden sind und dass allein das Konstruktionsmuster für die rezenten Bäume Wuchshöhen bis etwa 100 Meter erlaubt. Diese maximalen Wuchshöhen stellen wahrscheinlich nicht das zulässige Maximum für die erforderliche Stabilität des Holzkörpers dar, sondern vielmehr das Maximum der Weglänge für die erforderlichen Stofftransporte.

Aufbau und Funktionen des lebenden Baumstammes

Der lebende Baumstamm besitzt verschiedene hoch spezialisierte Gewebe. Von außen nach innen sind dies die Borke, der Bast (einschl. Rinde), das Kambium, das Splintholz und das Kernholz.

Das Kambium ist eine sehr dünne Zellschicht zwischen Bast und Holzkörper. Diese Schicht besteht aus teilungsfähigen Zellen, die noch nicht differenziert, das heißt, noch nicht auf eine spezielle Funktionsfüllung festgelegt sind. Die Kambiumzellen produzieren Zellreihen in tangentialer Richtung. Nach innen werden Holzzellen (Xylem) und nach außen Bastzellen (Phloem) gebildet. Diese Zellteilungsaktivität ist bei den Gehölzen des gemäßigten Klimas einer jahreszeitlichen Rhythmik unterworfen. Ruhephasen wechseln sich mit Wachstumsphasen ab. In den Ruhephasen finden keine Zellteilungen statt. In den Wachstumsphasen entstehen neue Zellen, die sich differenzieren und als Holzzellen z.B. einen neuen Jahrring ergeben und als Bastzellen dem Bastteil zugeordnet werden. Aus der Zunahme der tangentialen Zellreihen und der Differenzierung der Zellen ergibt sich das Dickenwachstum eines Baumstammes innerhalb der Vegetationsperiode (= normales Programm).

Aufgrund von mechanischen Beschädigungen am Stamm oder infolge von Tierfraß kann es zu Wundsetzungen am Stamm kommen, die mitunter bis zum Kambium oder in den Holzkörper reichen. Dies führt dann ebenfalls zu einer Reaktion des Kambiums. Die Kambiumzellen teilen

sich und bilden durch ungerichtetes Zellwachstum Kallus. Dieser Kallus kann in Form von Wundrändern oder Flächenkallus unter bestimmten Umständen einen Wundverschluss durchführen (= Wundprogramm).

Probleme für das Gehölz können sich insbesondere dann ergeben, wenn Kambiumbereiche beeinträchtigt oder zerstört werden. Damit ist unter Umständen das Dickenwachstum lokal beeinträchtigt und die Fähigkeit zum lokalen Wundverschluss vermindert. Des Weiteren können damit eine reduzierte Zellneubildung und der Funktionsverlust von Holz- und Rindenbereichen verbunden sein. Dies wiederum kann zum Vitalitätsverlust und zur Schwächung des Gesamtsystems führen und eine erhöhte Anfälligkeit für das Eindringen anderer Organismen wie Mikroorganismen, Pilze und Tiere in den Baum bedingen.

Das Splintholz umfasst den äußersten Zylinder des Holzkörpers im Stamm. Es besteht hauptsächlich aus Lignin und Zellulose in den Zellwänden. Das Splintholz besitzt in den Außenbereichen lebendes Gewebe, nach innen eine Übergangszone zum absterbenden Gewebe und im Innern abgestorbenes Gewebe. Das äußere, lebende Gewebe ist bei den Laubgehölzen mit röhrenförmigen Gefäßen ausgerüstet, die zum Ferntransport von Wasser und gelösten Nährstoffen aus den Wurzeln in die oberirdischen Gehölzteile dienen.

Bei einigen Gehölzarten sind diese Wasserleitrohre als makropore Gefäße gleichmäßig und ringförmig im Frühholz des Jahrrings verteilt und im Querschnitt gut mit bloßem Auge sichtbar. Diese Gehölze werden als sog. ringporige Hölzer bezeichnet. Zu ihnen gehören z.B. Eichen (*Quercus*), Eschen (*Fraxinus*), Robinien (*Robinia*) und Ulmen (*Ulmus*). Bei diesen Gehölzarten erfolgt der Wassertransport fast ausschließlich in den Gefäßen des äußersten Jahrrings. Dadurch besteht jedoch ein erhöhtes Risiko des plötzlichen Funktionsverlustes infolge des Eindringens von Luft oder durch mechanische Verstopfungen.

Bei anderen Gehölzarten sind die Wasserleitrohre relativ gleich groß und gleichmäßig über mehrere Jahrringe des Splintholzes verteilt. Diese Gehölze werden als sog. zerstreutporige Hölzer bezeichnet. Zu ihnen gehören z.B. Ahorne (*Acer*), Buchen (*Fagus*), Platanen (*Platanus*), Linden (*Tilia*) und viele mehr.

Die Hauptfunktionen des Splintholzes bestehen demnach im Wasser- und Nährstofftransport während der Vegetationsperiode, in einer Stoffspeicherung während der Vegetationsruhe und in einem Beitrag zur Festigungsfunktion.

Das Kernholz umfasst den innersten Zylinder des Holzkörpers im Stamm. Es handelt sich um totes Gewebe aus abgestorbenen Holzzellen. Das Kernholz enthält wenig Luft und Wasser, ist jedoch mit zusätzlichen Einlagerungen von Gerbstoffderivaten, Farbstoffen und anderen aromatischen und organischen Verbindungen versehen. Diese sog. Verkernungsstoffe dienen

in Verbindung mit einem relativ hohen Kohlendioxidgehalt als chemische Schutzbarriere vor der Zersetzung der toten Zellen durch Bakterien oder Pilze. Die Hauptfunktion des Kernholzes besteht in der Festigung des Holzkörpers.

Der Bastteil befindet sich außerhalb des Holzkörpers direkt unter der Borke. Das lebende Gewebe besteht aus Parenchymzellen mit hoch spezialisierten Zellen, den sog. Siebröhren. Bei ihnen handelt es sich um Zellen, die der Leitung und dem Ferntransport der Stoffbildungen aus der Photosynthese (Assimilate) von den Blättern in den Stamm und die Wurzeln sowie in die Früchte und Samen dienen. Außerdem findet während der Vegetationsruhe im Bastteil ein Großteil der Stoffspeicherung für die Assimilate aus den abgeworfenen Blättern statt.

Die Borke ist das äußerste Abschlussgewebe eines Baumstammes. Die Borke besteht aus abgestorbenen Rindenzellen, die durch Verkorkung entstanden sind. Je nach Ausbildung kann eine abrollende Ringelborke (z.B. bei Birken - *Betula*, Kirschen - *Prunus*) bzw. eine plattige Schuppenborke (z.B. bei Platanen - *Platanus*, Kiefern - *Pinus*) oder eine rissige Schuppenborke (z.B. bei Eichen - *Quercus*, Robinien - *Robinia*) entstehen. Die Hauptfunktion der Borke besteht im Schutz der darunter liegenden lebenden Gewebeschichten gegen äußere Einflüsse wie Erhitzung oder mechanische Beschädigung.

Gehölze als Lebensraum für andere Organismen

Bakterien und andere Mikroorganismen sowie Pilze verfügen nicht über Chlorophyll und sind somit auch nicht in der Lage, durch Photosynthese Kohlenhydrate aufzubauen. Diese Organismen sind zwingend darauf angewiesen, ihren Bedarf an Kohlenhydraten durch den Abbau organischer Substanz wie z.B. Holz zu decken.

Pilze bestehen zu etwa 90% aus Wasser und zu etwa 10% aus Trockenmasse. Bei der Zellteilung muss die Trockenmasse ständig vergrößert und neu aufgebaut werden. Dazu ist die Aufnahme von Nährstoffen, vor allem von Kohlenhydraten erforderlich. Zur Befriedigung dieses Bedarfes können Pilze an Gehölzen verschiedene Strategien anwenden. Man unterscheidet in dieser Hinsicht:

- Saprophyten, die nur totes Holz besiedeln können,
- Parasiten, die lebendes Holz besiedeln können sowie
- Symbionten, die dauerhaft an lebendem Holz siedeln (z.B. Mykorrhiza-Pilze).

Der parasitische und saprophytische Holzabbau erfolgt vorwiegend mit Hilfe von Enzymen. Enzyme verfügen aufgrund eines bestimmten Eiweißanteils über eine spezifische Wirkung. Das

heißt, bestimmte Enzyme können nur bestimmte organische Verbindungen abbauen (z.B. Amylase als Stärke abbauendes Enzym; Amylon = Stärke).

Pilze können Gehölze über kleinste Wundsetzungen oder über natürliche Öffnungen am Gehölz besiedeln. Die Sporengröße der Konidien (ungeschlechtliche Sporen, "Sommersporen") beträgt maximal 0,3 mm. Als Voraussetzungen für eine erfolgreiche Besiedelung eines Gehölzes mit Pilzen müssen demnach die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein:

- möglichst geschwächtes Gesamtsystem Gehölz mit geringer Abwehrkraft,
- künstliche oder natürliche Eintrittspforten sowie
- keimfähige Sporen aggressiver Pilze (Parasiten).

Infolge der Wirkungsspezifität der Enzyme kann eine Pilzart meist nur einen Fäulnistyp beim Holzabbau bewirken. Typische Erreger der Braunfäule in Gehölzen gehören zur Gruppe der Basidiomyceten. Sie sind überwiegend in der Lage durch den Abbau von Zellulose und Hemizellulose ihren Bedarf an Kohlenhydraten zu decken. Weil das Lignin weitgehend erhalten bleibt, ist dieses Holz braun gefärbt. Zu den Erregern einer Braunfäule im Holz gehören z.B. der Schwefelporling (*Laetiporus sulphureus*) an Eichen oder Robinien und der Birkenporling (*Piptoporus betulinus*) an Birken.

In der Gruppe der Weißfäule-Erreger finden sich vor allem Basidiomyceten und Ascomyceten. Sie leben hauptsächlich vom Abbau des Lignins. Die Zellulose bleibt dabei weitgehend erhalten, weshalb dieses Holz weißlich gefärbt ist. Typische Vertreter der Weißfäule-Erreger sind z.B. der Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) hauptsächlich an Birken und Buchen und der Schuppige Porling (*Polyporus squamosus*) häufig an Ahornen, Linden und Rosskastanien.

Reaktionen des Gehölzes

Gegen das Eindringen von Pilzen in Wundsetzungen stehen dem Gehölz unterschiedliche Abwehrstrategien zur Verfügung. Bei Nadelgehölzen beginnt sofort nach der Verletzung eine Verharzung der Wundstellen. Danach werden das Kambium und der lebende Teil des Splintholzes aktiv, um die Wunde zu verschließen und abzuschotten.

Bei Laubgehölzen spielen die Aktivitäten von Kambium und lebendem Splintholz eine herausragende Rolle. Die Kambiumzellen beginnen bei Verletzung des Kambiums sofort mit den Reparaturarbeiten zum Wundverschluss durch die Bildung von Kallus. Bei Kallus handelt es sich um ungerichtetes Zellwachstum, das in Form von Wundrändern oder in Form von Flächenkallus als äußerer Wundverschluss dienen kann. Der lebende Teil des Splintholzes reagiert bei Verletzung mit einem aktiven Verschließen und Verstopfen von Gefäßen, um das

Eindringen von Luft und Schaderregern zu verhindern. Dies wird als Abschottungsreaktion (Kompartimentierung = CODIT-Modell nach Shigo) bezeichnet. Die Fähigkeit zur Abschottung im Holzkörper ist bei den einzelnen Gehölzen unterschiedlich ausgebildet. Baumarten mit relativ guter Abschottungsreaktion sind z.B. Buche (*Fagus sylvatica*), Stiel-Eiche (*Quercus robur*) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea*). Baumarten mit relativ schlechter Abschottungsreaktion sind z.B. Birken (*Betula sp.*), Pappeln (*Populus sp.*), Weiden (*Salix sp.*) und Rosskastanien (*Aesculus sp.*).

Sind dennoch Pilze über Wundsetzungen in ein Gehölz eingedrungen, beginnt bei den Holz zersetzenden Pilzen je nach Wirkspezifität der Holzabbau. Gelingt eine engräumige Abschottung im Splintholz, kann das Gehölz durch Kompensationswachstum über lange oder sehr lange Zeit mit dem Pilzbefall leben, ohne dass erhebliche biologische oder statische Beeinträchtigungen damit verbunden sind. Handelt es sich jedoch um einen aggressiven pilzlichen Erreger in einem Baum mit geringem Abschottungsvermögen oder in einem Baum mit nur noch geringer Vitalität, dann kann der Holzabbau bis in die tiefer im Stamm liegenden, abgestorbenen Holzgewebe fortgesetzt werden. Obwohl dort sog. Verkernungstoffe einen Abbau des abgestorbenen Holzgewebes verhindern sollen, sind dennoch einige Pilze in der Lage diese chemische Schutzbarriere zu durchbrechen und das Kernholz abzubauen, um an die darin enthaltenen organischen Stoffe zu gelangen. Die Besiedlung eines Baumstammes durch solche Kernfäule-Erreger geschieht oftmals über den Boden im Zusammenhang mit Wurzelbeschädigungen. Bekannte Kernfäule-Erreger sind z.B. der Schwefelporling (*Laetiporus sulphureus*) an Eichen (*Quercus sp.*) oder an Robinien (*Robinia sp.*) sowie Lackporlinge (*Ganoderma sp.*) an verschiedenen Laubbaumarten.

Konsequenzen für die Gehölzwertermittlung

Bei der Gehölzwertermittlung haben die genannten biologischen Grundlagen Eingang in die Bewertung gefunden. Die Ermittlung von Wertminderungssätzen beim Verlust von Kronen-, Wurzel- oder Rindenteilen (besser: Stammteilen) erfolgt unter Berücksichtigung des Zeitpunktes der Beschädigung, des Abschottungsvermögens eines Gehölzes und unter Berücksichtigung holzbiologischer Grundlagen (ring- bzw. zerstreutporige Arten).

Der Zeitpunkt der Beschädigung ist von erheblichem Einfluss, weil eine Wundsetzung mit gleichem Ausmaß aufgrund der angeführten jahreszeitlichen Wachstumsrhythmik der Gewebe sehr unterschiedliche Auswirkungen am Gehölz verursachen kann. Ebenso können Beschädigungen mit gleichem Ausmaß und zum gleichen Schadzeitpunkt aufgrund der artspezifischen Holzbiologie unterschiedliche Auswirkungen an verschiedenen Gehölzen

haben. Diese Grundsätze sind in der Richtlinie zur Wertermittlung von Schutz- und Gestaltungsgrün von 2002 berücksichtigt.

Konsequenzen für die Verkehrssicherheit

Gehölze sind komplexe Lebewesen mit vielfältigen Lebensäußerungen. Gleichzeitig stellen sie für andere Organismen Lebensraum und Nahrungsquelle dar.

Sobald Holz zersetzende Pilze auch lebende Gewebe eines befallenden Gehölzes beeinträchtigen, wird dies zumeist durch eine geringere Vitalität oder andere äußerlich sichtbare Anzeichen für Wachstumsdepressionen sowie Absterbeerscheinungen deutlich. Der Abbau des Kernholzes kann jedoch auch ohne äußerlich sichtbare Anzeichen für Vitalitätseinbußen oder statische Probleme erfolgen. Baumkronen auf hohlen Stämmen können vollkommen intakt und belaubt sein, weil Wasser- und Nährstofftransport in den äußersten Jahrringen des Splintholzes möglich sind. Bei ringporigen Gehölzen genügt aus biologischer Sicht theoretisch ein Jahrring im lebenden Splintholz mit funktionsfähigen Wasserleitbahnen, umgeben von einem intakten Kambium und Bastteil.

Es ist deshalb bei der Beurteilung von Bäumen unbedingt erforderlich, zwischen der Vitalität und der Verkehrssicherheit eines Baumes zu unterscheiden. Die Vitalität von Gehölzen beschreibt deren Wuchskraft. Diese Wuchskraft wird ganz wesentlich von den lebenden Geweben bestimmt, die im Stammquerschnitt weit außen liegen.

Dennoch lässt die Natur den Abbau von Kernholz und die Aushöhlung von Stämmen lebender Bäume zu, ohne dass sofort eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit entsteht. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen ist bekannt, dass zum Lastabtrag einer auf den Baum einwirkenden Kraft insbesondere die äußeren Holzgewebe dienen. Sofern der Stammmantel in seinem Umfang vollkommen geschlossen ist und noch einen gleichmäßig verteilten jährlichen Zuwachs aufweist, ist die Gefahr einer eingeschränkten Verkehrssicherheit unter Berücksichtigung der Kronenfläche deshalb eher gering.

***) Veröffentlicht in:**

Wertermittlungsforum 2/2006, S. 41-44