

Zur zeitlichen Entwicklung kodominanter Vergabelungen (Zwieseln) bei Buche (*Fagus sylvatica* L.)

On the development of codominant stems in beech (*Fagus sylvatica* L.)

von Karsten Funke, Manuel Schuster, Ulrich Weihs und Steffen Rust

Zusammenfassung

Aus den vermessenen Markröhrenverläufen von acht gespaltenen Buchenzwieseln konnte gefolgert werden, dass Entstehung und Ausmaß eingeschlossener Rinde vom jeweiligen Winkelverlauf der Stämmlinge zueinander abhängig sind und dass bei Buche frühestens ab einem Winkel von 30° auch dauerhaft nicht mit Rindeneinschluss zu rechnen ist. 28 stärkere Zwiesel wurden hinsichtlich ihrer inneren und äußeren Strukturen visuell angesprochen. Hieraus wurde ein exemplarischer Entwicklungsverlauf kodominanter Vergabelungen abgeleitet.

Summary

We reconstructed the development of the angle between codominant stems in eight beech forks. Onset and extent of included bark depended on the fork angle. In beech, included bark is unlikely to develop in forks with an angle above 30°. The morphology of another 28 large forks was visually examined. From this an exemplary formation process of codominant stems was deduced.

1 Einleitung

Kodominante Vergabelungen sind Verzweigungen mehr oder weniger gleichstarker Triebe, die auch als Zwiesel bezeichnet werden. Sie entstehen vor allem, wenn nach Verlust der Gipfelknospe oder des Wipfeltriebes die hormonelle Kontrolle der nachgeordneten Knospen (Apikaldominanz, ROLOFF 2001) oder Triebe (Apikalkontrolle, ROLOFF 2001) verloren geht und diese im Folgenden um den Ersatz des Leittriebes konkurrieren (ROLOFF 2004). Eine hohe Lichtkonkurrenz innerhalb der Baumkrone oder zum Baumumfeld kann diese Entwicklung begünstigen.

Solche Vergabelungen sind ein wichtiges Merkmal bei der Beurteilung der Verkehrssicherheit von Bäumen. In der fachlichen Diskussion bestehen jedoch zum Teil unterschiedliche Auffassungen über die Entstehung und Interpretation einzelner Zwiesel-Erscheinungsformen. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Hypothese zur Genese kodominanter Vergabelungen an Buche

zu entwickeln und schematisch zu veranschaulichen, sowie mögliche Einflussfaktoren auf die Entstehung eingeschlossener Rinde aufzuzeigen.

Zu einer Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Baumarten werden keine Aussagen getroffen. Auch zu möglicherweise abweichenden Entstehungsbedingungen eingeschlossener Rinde bei Ast-Stamm-Verzweigungen werden hier keine Überlegungen angestellt. In der Fachmeinung wird zudem die Auffassung vertreten, dass auch eine genetische Veranlagung die Entstehung eingeschlossener Rinde verursachen kann (SHIGO 1990, KOPINGA 2001).

2 Material und Methoden

Im Rahmen einer Bachelorarbeit zur mechanischen Bruchfestigkeit von kodominanten Vergabelungen an Buche (FUNKE u. SCHUSTER 2009) wurden 28 Zwiesel (Umfang 70 cm bis 165 cm) von 15 Buchen (mittlere

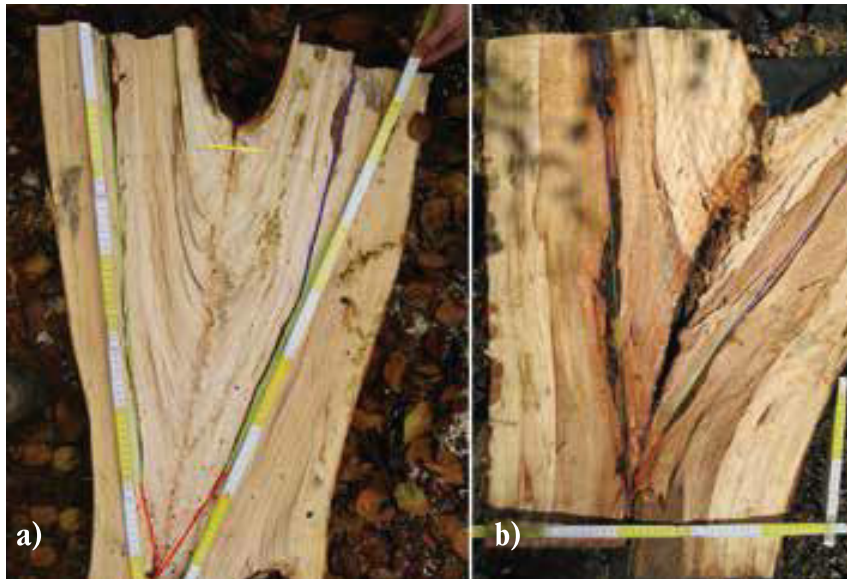


Abbildung 1:
längs aufgespaltene Zwiesel mit nachgezeichneten Markröhrenverläufen:
a) Nr. 0.3 mit Winkelverjüngung und Beginn eingeschlossener Rinde (gelbe Linie),
b) Nr. 14.1 mit Winkel-erweiterung, ohne eingeschlossene Rinde (der zentrale Spalt resultiert aus einer vorausgegangenen Bruchfestigkeitsuntersuchung)

Höhe 32 m) aus dem Göttinger Wald gewonnen und untersucht (Methodik und Ergebnisse hierzu, s. SCHUSTER et al. 2010). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Daten stellen die Grundlage dieser Arbeit dar.

Es wurden die Winkelwerte zwischen den kodominanten Stämmchen oberhalb der sichtbaren Verzweigung (Stämmchen-Innenwinkel) sämtlicher Versuchsobjekte ermittelt.

Um Aussagen über den ursprünglichen Verzweigungswinkel und den nachfolgenden Winkelverlauf treffen zu können, wurden sechs dieser sowie zwei zusätzliche Zwiesel längs auf Ebene der Markröhrenverläufe aufgespalten. Auf Digitalfotos wurden die Markröhrenwinkel, ausgehend vom ursprünglichen Winkel bei Triebentstehung (Markröhren-Verzweigungswinkel) und nachfolgend bei jeder deutlichen Winkeländerung (Markröhren-Verlaufswinkel), mit Bildbearbeitungsprogrammen (GIMP 2.4.5, ImageJ 1.41k) nachgezeichnet und eingemessen (Abbildung 1). Die Markröhrenwinkel sind, dem Verlauf folgend, aufsteigend nummeriert. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs dieser Teiluntersuchung sind die gewonnenen Erkenntnisse nicht statistisch abgesichert.

3 Ergebnisse

Die Markröhren-Verzweigungswinkel im Bereich der Markröhrenteilung schwankten zwischen 30°

und 63°, wobei gerade die U-förmige Vergabelung (Nr. 14.1) hier den niedrigsten Wert aufwies. Der Beginn der Rindeneinschlüsse lag in Markröhren-Verlaufswinkelbereichen von 15° bis 29°. In diesen Fällen waren immer Winkelverjüngungen im Verlauf der beiden Markröhren der kodominanten Stämmchen zueinander festzustellen. Die Markröhren-Verlaufswinkel auf Höhe der äußerlich sichtbaren Gabelung lagen bei nahezu 0° bis 19°. Der U-förmige Zwiesel ohne eingeschlossene Rinde zeigte an dieser Stelle eine Erweiterung des Winkels auf 41°. Die Stämmchen-Innenwinkel variierten insgesamt zwischen 4° und 46° (bei einem Durchschnittswert von 20°). In der Gruppe der längsgespaltenen Zwiesel lagen diese Werte bei 7° bis 46° (s. Tabelle 1).

4 Folgerungen

4.1 Verzweigungswinkel und Winkelverlauf

Die verhältnismäßig engen Stämmchen-Innenwinkel von durchschnittlich 20° sind ein Hinweis auf den hohen Konkurrenzdruck (seitliche Abschattung durch Dichtstand im Bestand), unter dem die Untersuchungs-bäume aufgewachsen sind.

Rindeneinschlüsse konnten ab Markröhren-Verlaufswinkeln $\leq 29^\circ$ festgestellt werden und traten hierbei immer in Kombination mit einer vorangegangenen Verjüngung der Markröhren-Winkel auf. Der Zwie-

Tabelle 1: Winkelwerte längs aufgespaltener Zwiesel. Gelb hinterlegte Zellen kennzeichnen den Beginn eingeschlossener Rinde. Türkis hinterlegte Zellen markieren die Winkel auf Höhe der äußerlich sichtbaren Gabelung

Zwiesel-Nr.	Markröhren-Verzweigungswinkel 1	Markröhren-Verlaufswinkel 2	Markröhren-Verlaufswinkel 3	Markröhren-Verlaufswinkel 4	Markröhren-Verlaufswinkel 5	Stämmings-Innenwinkel
0.1	63,0°	28,7°	gegen 0°			19,1
0.3	46,4°	28,5°	18,7°			26,9
1.1	56,8°	18,1°	6,5°			7,5
7.1	48,3°	56,5°	24,7°	14,8°		19,1
8.1	56,4°	30,8°	23,2°	17,9°	13,4°	13,3
11.1	32,6°	14,7°	13,4°	6,6°		20,8
12.2	–	23,4°	8,7°			7,2
14.1	30,6°	36,6°	41,4°			45,7

sel ohne eingeschlossene Rinde zeigte hingegen eine Erweiterung des Winkels zwischen den Markröhren von 30° auf 41°. Der Zeitpunkt der Entstehung eingeschlossener Rinde scheint demnach abhängig vom Verzweigungswinkel und dem Zeitpunkt und Grad der Verjüngung zu sein. Je flacher der Verzweigungswinkel und je später und schwächer (oder nie) eine Winkelverjüngung stattfindet, desto später (oder nie) käme es zur Entstehung eingeschlossener Rinde.

Die Stämmings-Innenwinkel beschreiben die Winkelsituation oberhalb der aktuell sichtbaren Vergabelungen. Sie lassen nur bedingt Rückschlüsse auf die bisherige Zwieselentwicklung zu, bieten aber einen Anhaltspunkt für die Abschätzung der weiteren Entwicklung. Bei Zwieseln, die sich weiter verjüngen, wäre zukünftig mit einer Verschärfung der gegenwärtigen Situation zu rechnen. Bei Zwieseln, die ihre Winkel beibehalten oder leicht öffnen, ist ein günstigerer Entwicklungsverlauf zu erwarten.

WEBER und MATTHECK (2007) vertreten die These, dass Vergabelungen mit Stämmings-Innenwinkeln ab 25° bis 30° praktisch immer frei von eingeschlossener Rinde seien. Innerhalb des Untersuchungskollektivs lagen die Stämmings-Innenwinkel der stärkeren Zwiesel mit eingeschlossener Rinde größtenteils deutlich unter 21°. Bei Vergabelungen, in denen keine eingeschlossene Rinde aufgetreten ist, lagen diese Winkel bei mehr als 32°. Der einzige starke Zwiesel

ohne eingeschlossene Rinde (Nr. 14.1, StU 141 cm) – bei schwächeren Vergabelungen kann eine spätere Statusänderung nicht ausgeschlossen werden – hatte hier sogar einen Innenwinkel von 46°. Unter dem Vorbehalt der genannten Einschränkungen zur Interpretationsfähigkeit von Stämmings-Innenwinkeln kann die oben genannte These durch diese Untersuchung nicht widerlegt werden. Unter Berücksichtigung des beobachteten Rindeneinschlussbeginns ab Markröhren-Verlaufswinkeln $\leq 29^\circ$ legen die Ergebnisse allerdings eine Untergrenze von 30° für Buchenzwiesel nahe, die dauerhaft ohne eingeschlossene Rinde bleiben. Eine Untersuchung von WEIHS und DUJESIEFKEN (2010) an schwächeren Zwieseln (mittlerer Stammdurchmesser 14 cm) verschiedener Laubbaumarten, bei der eingeschlossene Rinde ab Innenwinkelwerten $\leq 30^\circ$ festgestellt wurde, unterstützt diese Schlussfolgerung. Der Entwicklungsverlauf ist dabei in besonderem Maße zu berücksichtigen – z. B. könnte sich eine zunächst flachwinklig ausgebildete Vergabelung ggf. auch nach späterer Winkelverjüngung auf unter 30°, bei entsprechender Entfernung zur ursprünglichen Verzweigung, längerfristig ohne Entstehung eingeschlossener Rinde entwickeln.

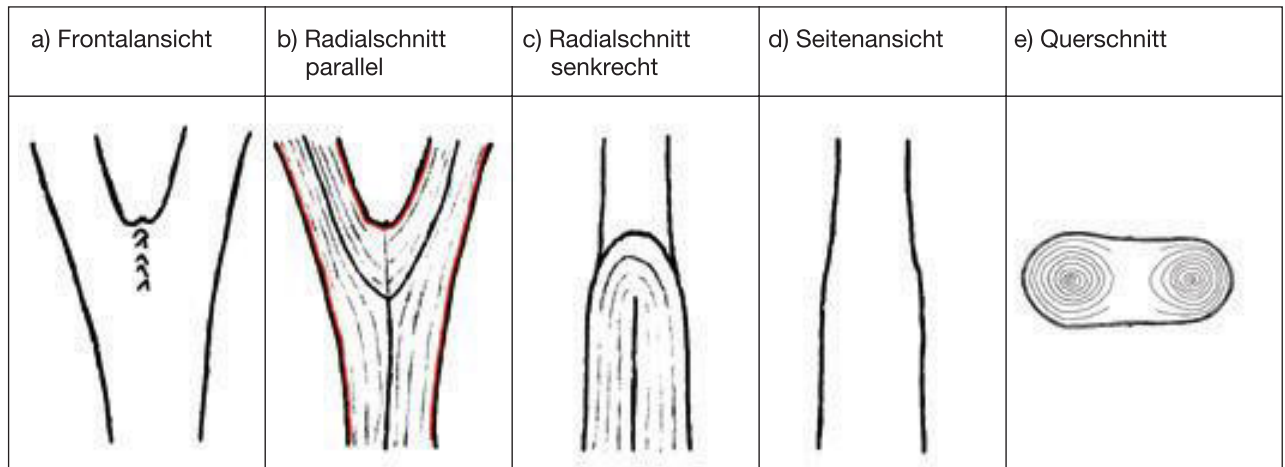


Abbildung 2: Erscheinungsformen eines Buchenzwiesel in der Entwicklungsphase „U Form“; in b) ist der Kambialbereich rot markiert

4.2 Entwicklungsphasen und Erscheinungsformen

Aus wiederkehrenden Beobachtungen des strukturellen Aufbaus der untersuchten Zwiesel konnte eine Hypothese zum Entwicklungsverlauf kodominanter Vergabelungen bei Buche abgeleitet werden. Je nach Zeitpunkt der Entstehung (Altersphase des Baumes), ursprünglichem Verzweigungswinkel, Konkurrenz-situation und weiterem Winkelverlauf kann die Entwicklung eines Zwiesel längerfristig oder dauerhaft in einer der dargestellten Formen verweilen. Der Übergang zwischen den aufgezeigten Phasen ist fließend. Aufgrund der individuellen Genese von Zwieseln sind in der Praxis immer auch Zwischen-, Misch- und Sonderformen anzutreffen.

Entwicklungsphase „U-Form“

Bis auf Ausnahmefälle durchlaufen fast alle Buchenzwiesel in den ersten Jahren bis Jahrzehnten diese Entwicklungsform oder behalten sie zeitlebens bei. In der äußeren Frontalansicht der Vergabelung (Abbildung 2a) zeigt sich ein U-förmiger Verlauf mit aufgerichteter Rindenleiste. Unterhalb der Rinde gehen die Gewebe der Zwillingstämme im Bereich des Kerbgrunds in einem welligen bis wirbelartigen Wachstum, parallel zur Kambialebene, ineinander über (Abbildung 3). Hier entstehen auch seitliche Aufwölbungen (Abbildung 3), die möglicherweise an der Entstehung eingeschlossener Rinde beteiligt sind. Die in der Frontalansicht sichtbare Stammrindenleiste (Abbildung 2a) geht aus dem sich ursprünglich

zwischen den Stämmchen befindlichen Rindengrat hervor. Dieser wird durch den jährlichen Holzzuwachs zunehmend nach außen und in die Senkrechte verschoben sowie in Umfangsrichtung verzerrt. Unterhalb der Rindenleiste zeigt die Holzstruktur dagegen einen weitgehend homogenen Aufbau (Abbildung 4). Ein Radialschnitt auf Ebene der Markröhren (Abbil-

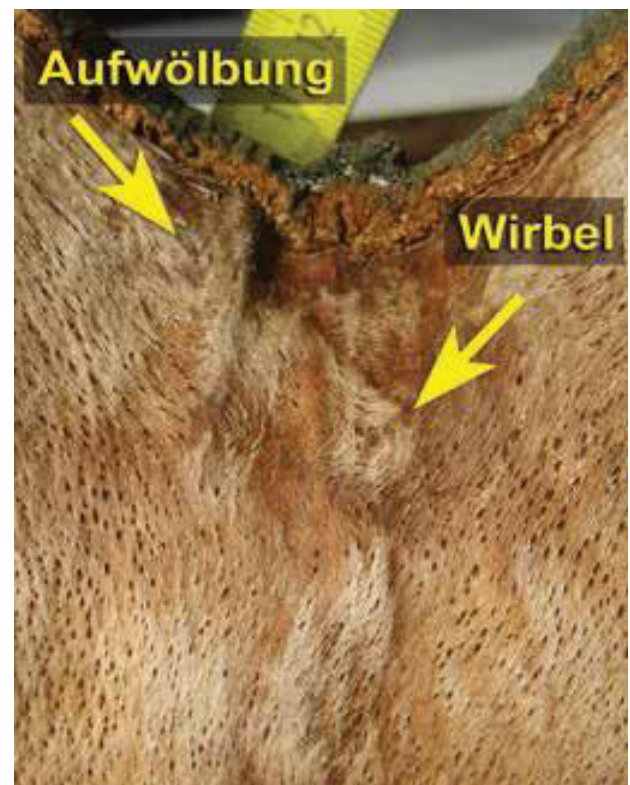
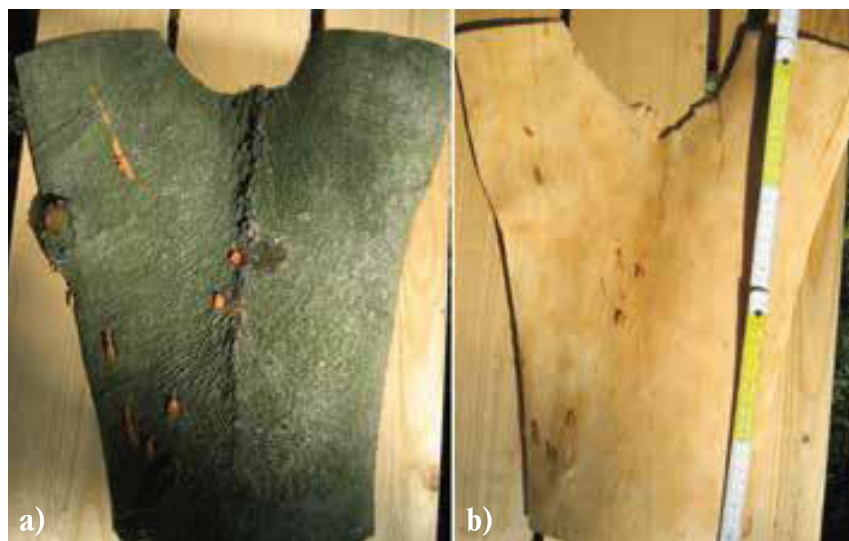


Abbildung 3: Holzstrukturen des Gabelungsgebietes unterhalb der Rinde mit wirbelartigem Wachstum und seitlicher Aufwölbung

Abbildung 4:
Zwieselfrontalansicht
mit Rindengrat (a) und
homogenem Holzgewebe
darunter (b)



dung 2b) zeigt die ineinander übergehenden Holzgewebe der Jahreszuwächse (Jahrringe) im Bereich des Kerbgrundes. Eine Radialansicht auf Ebene des Rindengrates (Abbildung 2c) lässt einen bogenförmigen Verlauf der Jahreszuwächse erkennen. Der Holzzuwachs nach oben und zu den Seiten ist hier ungehindert möglich. In einer äußeren Seitenansicht des Zwieselbereichs (Abbildung 2d) ist eine Verjüngung vom gemeinsamen Stamm zu den Stämmchen wahrzunehmen. Ein Zwiesel-Querschnitt (Abbildung 2e) zeigt Jahreszuwächse, die auf dieser Ebene den Stämmchen einzeln zugeordnet werden können und angeschnittene Jahreszuwächse, die auf dieser Ebene beiden Stammverlängerungen gemeinsam zuzuordnen sind.

Entwicklungsphase „Übergangs-Form“

Bei Buchenzwieseln mit engen und insbesondere sich verjüngenden Winkeln kommt es im weiteren Entwicklungsverlauf zur Bildung eingeschlossener Rinde. In der Frontalansicht (Abbildung 5a) zeigt sich weiterhin ein U-förmiger Verlauf, meist auch noch mit aufgerichteter Rindenleiste. Wahrscheinlich aufgrund des sich stetig verringernden Platzangebots in der Verzweigung kommt es infolge des sekundären Dickenwachstums vom Scheitelpunkt beginnend zum Einschluss von Rinde. Der Kambiummantel aus teilungsfähigen Zellen scheint lediglich in den Bereichen, in denen kein zu hoher Druck entgegensteht, in der Lage zu sein, neue Gewebe auszdifferenzieren. Bei der Betrachtung eines parallelen Radialschnitts

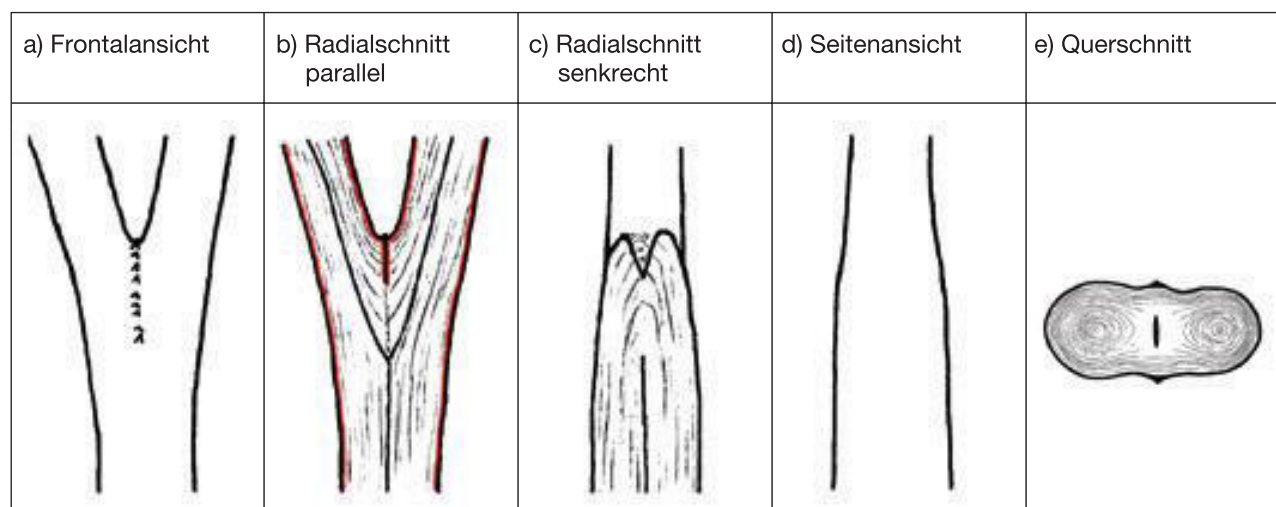


Abbildung 5: Erscheinungsformen eines Buchenzwiesels in der Entwicklungsphase „Übergangs-Form“; in b) ist der Kambialbereich rot markiert

(Abbildung 5b) scheinen die Jahrringe im Bereich der eingeschlossenen Rinde unterbrochen zu sein. Tatsächlich verlaufen sie aber, makroskopisch nicht erkennbar, in den druckbelasteten Kambialbereichen unterhalb der eingeschlossenen Rinde der Stämmlinge weiter und treten zu den Rändern hin als Holzzuwächse wieder in Erscheinung (Abbildung 5c). Aufgrund des noch ausreichenden Platzangebotes ist in dieser Entwicklungsphase in den Randbereichen neben dem auswärts gerichteten auch der senkrechte Zuwachs noch möglich. Die Scheitelpunkte liegen innerhalb der Flucht der Stämmlinge. In der Seitenansicht (Abbildung 5d) ist noch eine Verjüngung im Übergang vom gemeinsamen Stamm zu den Stämmlingen zu sehen, mitunter kann aber schon ein leichter seitlicher Holzanbau (künftige „Ohren“) wahrgenommen werden. Ein Querschnitt (Abbildung 5e) zeigt die eingeschlossene Rinde und die jährlichen Zuwächse.

Entwicklungsphase „Frühe V-Form“

In der weiteren Entwicklung enger/sich verjüngender Buchenzwiesel reduziert sich der freie Raum in der Vergabelung zunehmend. Die äußere Erscheinung ist V-förmig (Abbildung 6a). Die eingeschlossene Rinde zeigt nach innen gewölbte Strukturen. In den ältesten eingeschlossenen Kambialbereichen kann es zu partiellen Absterbeerscheinungen kommen (Abbildung 6b). Die Zuwächse der Randbereiche verlagern sich zunehmend nach außen, ihre Scheitelpunkte liegen etwa in der Stämmlingsflucht (Abbildung 6c). In

der Seitenansicht (Abbildung 6d) sind Holzzuwächse („leichte Ohren“) zu erkennen, der Stammverlauf ist bis zum Ende der „Ohren“ in etwa parallel und verjüngt sich darüber. Im Querschnitt (Abbildung 6e) ist der höhere Anteil eingeschlossener Rinde und das verstärkte seitliche Ausweichen der Zuwächse zu sehen.

Entwicklungsphase „Späte V-Form“

Bei sehr steilen und/oder sehr alten Buchenzwieseln kann es durch das sekundäre Dickenwachstum oberhalb der Vergabelung zum Gegeneinanderwachsen der Stämmlinge kommen (Abbildung 7a). Im Gegensatz zum eigentlichen Einwachsen, wie unmittelbar im Vergabelungsbereich, kommt es hier eher zu einem Einklemmen von Rinde. In der äußeren Ansicht ist dieser Bereich auch im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium durch das Fehlen eines Rindengrates zu erkennen (Abbildung 8). Im Inneren der Stämmlinge (Abbildung 7b) verlaufen die Jahreszuwächse hier zunächst weiter parallel. Nimmt der verfügbare Platz zu sehr ab, bildet das Kambium aber auch in diesen Bereichen vermutlich nur noch sehr schmale Zuwächse oder es stellt die Ausdifferenzierung neuer Zellen ganz ein. Die Zuwächse der Zwieselrandbereiche sind jetzt nur noch zu den Seiten möglich, die Scheitelpunkte liegen außerhalb der Stämmlingsflucht (Abbildung 7c). Die Seitenansicht (Abbildung 7d) zeigt eine deutlichere „Ohren“-Bildung und einen sich erweiternden Verlauf zu deren Enden hin. Im Querschnitt (Abbildung 7e) ist der hohe Anteil eingeschlossener Rinde und die eher sanfte Ausformung

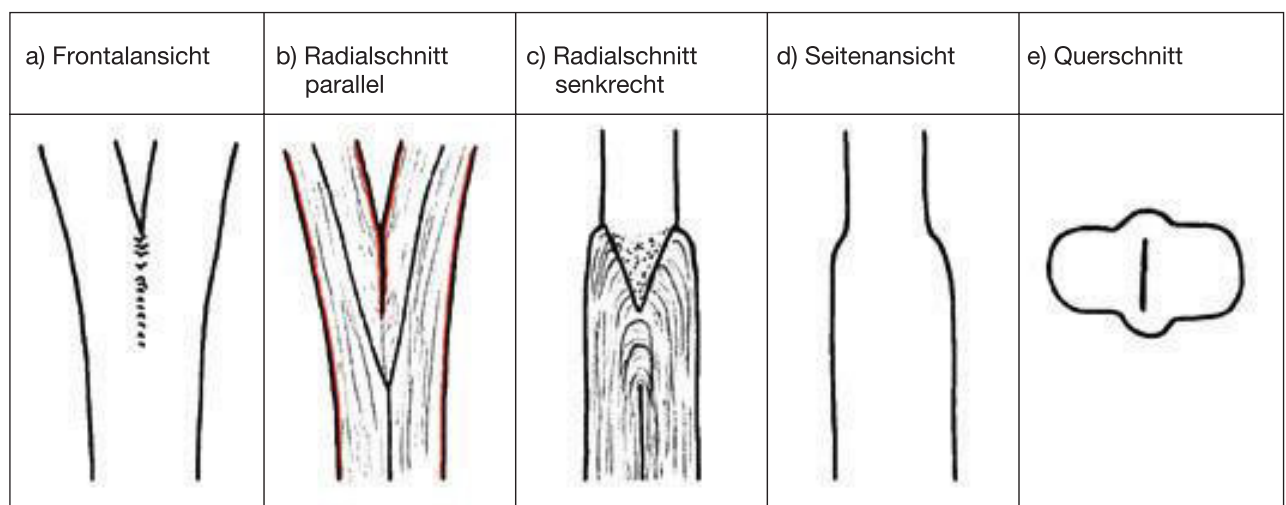


Abbildung 6: Erscheinungsformen eines Buchenzwiesels in der Entwicklungsphase „Frühe V Form“; in b) ist der Kambialbereich rot markiert

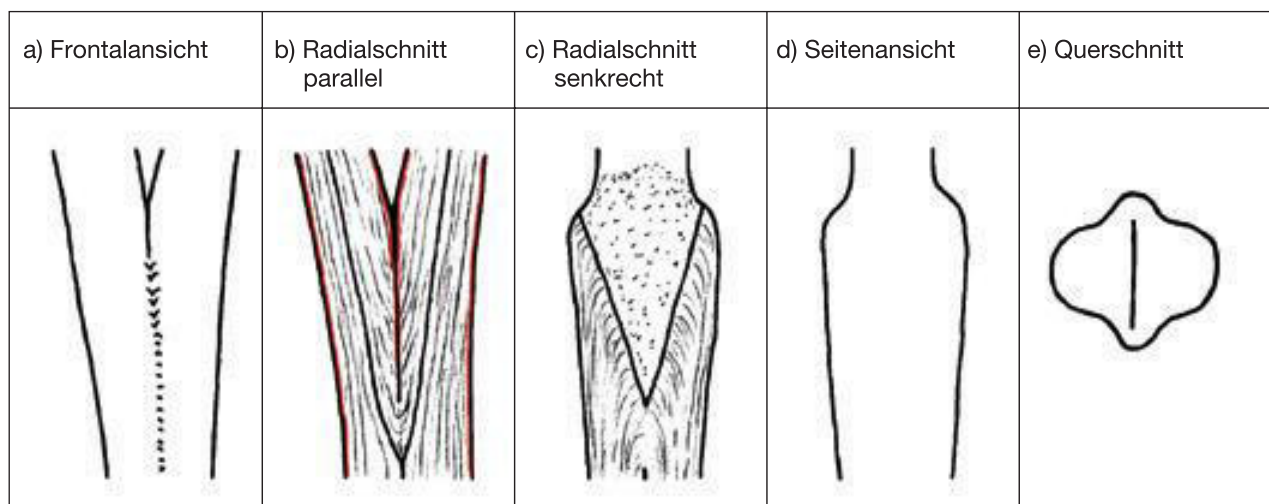


Abbildung 7: Erscheinungsformen eines Buchenzwiesels in der Entwicklungsphase „Späte V Form“; in b) ist der Kambialbereich rot markiert

der seitlichen Zuwächse („stumpfe Ohren“) zu sehen. In einer sehr weit fortgeschrittenen Entwicklungsstufe der „späten V-Form“ können die einwachsenden Rindenstrukturen in den Zwiesel-Randbereichen die Jahreszuwächse immer weiter nach außen abdrängen und dadurch auch eine zunehmend „spitzere“ Ausformung der „Ohren“ bewirken.

Entwicklungsphase „V-Form mit partieller Rissbildung“

Kommt es im weiteren Verlauf durch eine Überlastung zum partiellen Einreißen der Buchenzwiesel-Randbereiche (ohne, dass sich die Position der Stämmlinge zueinander dauerhaft verändert), ist das Kambium bestrebt, diese Bereiche durch Wundholzbildung zu überwallen (Abbildung 10). Die Zuwächse der Zwieselrandbereiche sind dadurch stark zu den Seiten verlagert, die Scheitelpunkte liegen deutlich außerhalb der Stämmlingsflucht (Abbildung 9a). Die Seitenansicht (Abbildung 9b) zeigt einen erheblich verbreiterten Durchmesser im Bereich der Holzanlagerungen. Mit wiederholtem Auftreten von Einreißen und Überwallen bilden sich zunehmend „spitze Ohren“ und der Zwieselverlauf erweitert sich zu deren Enden hin deutlich (Abbildung 9c/d). Auf dem Querschnitt (Abbildung 9e) sind in der Verlängerung der eingeschlossenen Rinde die zeitlich zurückliegenden Faserrisse zu sehen und die eher scharfe Ausformung der seitlichen Zuwächse („scharfe Ohren“). Derartige Erscheinungsformen dürften sich am ehesten in geschützten Bestandssituationen entwickeln, da zwi-

schen den einzelnen rissauslösenden Belastungsspitzen eine oder mehrere Vegetationsperioden vergehen müssen, um eine überbrückende Wundholzbildung zu ermöglichen. Die häufigen Starkwindereignisse im (städtischen) Einzelstand dürften diese notwendige Ruhigstellung in der Regel nicht gewähren und eher



Abbildung 8: Zwieselbereich mit eingeklemmter Rinde ohne Rindengrat

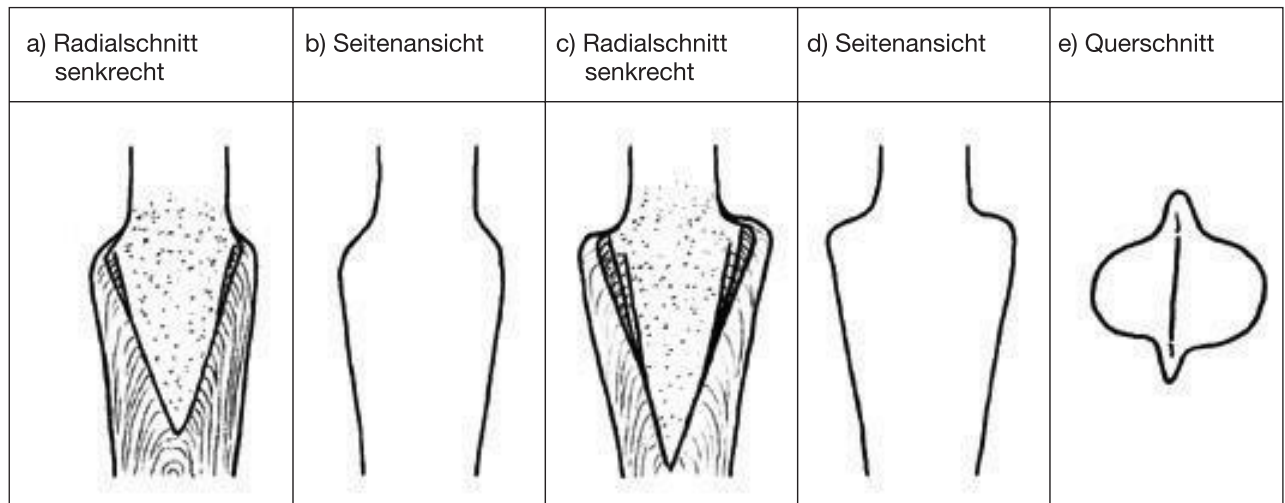


Abbildung 9: Erscheinungsformen eines Buchenzwiesels in der Entwicklungsphase „V Form mit partieller Rissbildung“

zur Bildung zweier parallelverlaufender Wundholzleisten führen.

Sonderfall „V-Form ohne Ohren“

In der Praxis sind vielfach auch Buchenzwiesel zu finden, die in ihrer Entwicklung weitgehend einem Stadium der „späten V-Form“ entsprechen, jedoch dadurch auffallen, dass sie keine oder nur sehr geringe seitliche Holzzuwächse ausgebildet haben. Legt man die Annahme zugrunde, dass Bäume auf erhöhte Spannungen mit verstärktem Holzzuwachs reagieren (MATTHECK u. BRELOER 1994, SPATZ 2001), könnte als Erklärung für das Fehlen von „Zwiesel-Ohren“ gefolgert

werden, dass in diesen Fällen keine reaktionsauslösenden Spannungsstärken in den Gabelungsbereichen auftreten. Der geringere Lasteintrag ließe sich beispielsweise mit einer schwächeren relativen Dominanz der Zwieselstämme innerhalb der Gesamtkrone und/oder ihrer stärkeren Abholzigkeit erklären (vgl. PFISTERER et. al 2003). Ein weiterer Grund mag in der Entstehungsgeschichte derartiger Zwiesel liegen. Möglicherweise verlief hier die Vergabelung zunächst relativ weitwinklig und verjüngte sich erst zu einem späteren Zeitpunkt stärker, wodurch es verhältnismäßig spät zum Einklemmen von Rinde gekommen wäre.



Abbildung 10: Zwieselbereich mit eingeschlossener Rinde, dunkel verfärbter älterer Bruchfläche und Wundholz

Die Ausführungen zu den einzelnen Entwicklungsphasen verdeutlichen, dass die „gemeinsamen Jahrringe“ (besser: Jahreszuwächse) im Bereich der „Zwieselohren“ nicht durch „Verwachsungen“ getrennt voneinander existierender Kambien der kodominanten Stämmlinge entstehen, sondern vielmehr dem gemeinsamen, den gesamten Holzkörper umhüllenden, dreidimensionalen Kambiummantel aus lebenden, teilungsfähigen Zellen entstammen. Dieser ist lediglich in den Bereichen nicht in der Lage, neue Gewebe auszdifferenzieren, in denen ein zu hoher Gegen-
druck besteht oder das Kambium abgestorben ist. Als Ausnahme sind die Gewebeverwachsungen bei der Überwallung von Zwieselrissen zu sehen. Verschiedene Veröffentlichungen (MATTHECK 2006, PFISTERER 1999, SCHWEINGRUBER 2001), die von einem Durchbrechen der Rinden und Verwachsen der Stämmlingskambien ausgehen, könnten bei der Interpretation von Querschnittsansichten die dreidimensionale Entwicklung und Struktur von Zwieseln nicht ausreichend berücksichtigt bzw. die Erkenntnisse über das Verwachsen von Reibeästen (Anastomosen) fälschlicherweise auf diese Situation übertragen zu haben.

Literatur

- FUNKE, K.; SCHUSTER, M., 2009: Untersuchungen zur mechanischen Bruchfestigkeit von kodominanten Vergabelungen (Zwieseln) an Buche. Bachelorarbeit an der Fachhochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Ressourcenmanagement, Göttingen, 66 S., unveröffentl.
- KOPINGA, J., 2001: Die Bildung von Abschottungszonen im Astansatz von Bäumen bei verschiedenen Schnittführungen. In: Tagungsband der Osnabrücker Baumpflegetage 2001.
- MATTHECK, C., 2006: Design in der Natur – Der Baum als Lehrmeister. 4. überarbeitete und erweiterte Neuauflage. Rombach Verlag, Freiburg im Breisgau, 340 S.
- MATTHECK, C.; BRELOER, H., 1994: Handbuch der Schadenskunde von Bäumen – Der Baumbruch in Mechanik und Rechtsprechung. 2. Auflage. Rombach Verlag, Freiburg im Breisgau, 249 S.
- PFISTERER, J., 1999: Gehölzschnitt nach den Gesetzen der Natur. Ulmer Verlag, Stuttgart, 300 S.
- PFISTERER, J. A.; SPATZ, H. C.; ERFORTH, D.; HEINZ, M., 2003: Untersuchungen zur Biegebruchfestigkeit von Astgabeln und Reiteraten der Hasel (*Corylus avellana* L.). In: DUJESIEFKEN, D.; KOCKERBECK, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2003, Thalacker Medien Verlag, Braunschweig, 255–268.
- ROLOFF, A., 2001: Baumkronen – Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Ulmer Verlag, Stuttgart, 162 S.
- ROLOFF, A., 2004: Bäume – Phänomene der Anpassung und Optimierung. Ecomed Verlag, Landsberg am Lech, 276 S.
- SCHUSTER, M.; FUNKE, K.; WEIHS, U.; RUST, S., 2010: Eine Methode zur Untersuchung der mechanischen Bruchfestigkeit von kodominanten Vergabelungen (Zwieseln) an Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2010, Haymarket Media, Braunschweig, S. 261–265.
- SCHWEINGRUBER, F. H., 2001: Dendroökologische Holzanatomie – anatomische Grundlagen der Dendrochronologie. Haupt Verlag, Bern, 472 S.
- SHIGO, A. L., 1990: Die neue Baumbiologie. Thalacker Verlag, Braunschweig, 606 S.
- SPATZ, H. C., 2001: Sicherheitsfaktoren in der Biomechanik von Bäumen. In: DUJESIEFKEN, D.; KOCKERBECK, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2001, Thalacker Medien Verlag, Braunschweig, S. 164–170.
- WEBER, K.; MATTHECK, C., 2007: Kritischer Ast- und Stämmlingswinkel für Rindeneinschluss. In: Seminarunterlagen zum 13. VTA-Spezialseminar – Messen und Beurteilen am Baum. Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt, Forschungszentrum Karlsruhe.
- WEIHS, U.; DUJESIEFKEN, D., 2010: Eignung äußerlich sichtbarer Zwieselmerkmale als Weiser für eingewachsene Rinde. In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2010, Haymarket Media, Braunschweig, S. 266–273.

Autoren

B. Sc. Karsten Funke hat an der HAWK in Göttingen Arboristik studiert. Er arbeitet seit 2009 als angestellter Baumkontrolleur bei der Freien und Hansestadt Hamburg, sowie seit 1997 als selbstständiger Baumpfleger.

Karsten Funke
Fährstr. 101
21107 Hamburg
Mobil (01 71) 7 82 28 75
karstenfunke@yahoo.de



B. Sc. Manuel Schuster studierte an der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Göttingen Arboristik und arbeitet bei Eichhorn Baumpfleger. Neben Baumpfleger führt er Baumkontrollen, Beratungen durch und bildet für die Münchener Baumkletterschule aus.

Manuel Schuster
Blumenhaller Weg 63
49080 Osnabrück
Tel. (05 41) 4 07 37 29
Mobil (01 71) 6 75 90 14
Manuel.Schuster@web.de



Prof. Dr. Ulrich Weihs ist Professor für Baumsachverständigenwesen, Verkehrssicherheit für Bäume und Baumwertermittlung an der Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Göttingen sowie von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baumpfleger, Verkehrssicherheit von Bäumen und Baumwertermittlung.

Hochschule für Angewandte
Wissenschaft und Kunst
(HAWK), Fakultät
Ressourcenmanagement
Büsgenweg 1a
37077 Göttingen
Tel. (05 51) 50 32-259
weihs@hawk-hhg.de



Prof. Dr. Steffen Rust ist Professor für Baumpfleger und Baumbiologie an der Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Göttingen.

Fakultät
Ressourcenmanagement
HAWK
Büsgenweg 1a
37077 Göttingen
Tel. (05 51) 50 32-1 73
rust@hawk-hhg.de

