

Der Pilzfruchtkörper und seine mechanische Gestaltoptimierung

K. Weber, C. Mattheck

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Materialforschung II

Postfach 3640

D- 76021 Karlsruhe

Einleitung

Die Gestalt der Fruchtkörper von Holz zersetzenden Pilzen, so schreibt der bekannte Mykologe Hermann Jahn [1], ist an das Substrat Holz angepasst.

Einfache Anpassungsformen sind beispielsweise krustenförmige Fruchtkörper, die lediglich dem Substrat Holz aufliegen.

Am senkrechten Substrat (z. B. Stämme oder Stümpfe) gibt es dann auch teilweise krustenförmig aufgewachsene Fruchtkörper, die häufig nur an ihrem oberen Rand frei abgebogene Hutkanten oder „Hütchen“ ausbilden.

Die artenreiche Gruppe der „Porlinge“ bildet schließlich häufig große, „hütige“ Fruchtkörper aus. Ihre Hüte wachsen dicht an, bzw. aus der Substratoberfläche, wobei die aktive Wuchszone am Hutrand liegt [1]. An senkrechten Substraten bilden sie dann meist Hüte mit einer charakteristischen „Konsolenform“, siehe Abb. 1.

Jahn [1] beschreibt diese Konsolenform wie folgt: „...*der Fruchtkörper ist halbkreisförmig vorgestreckt, mehr oder weniger flach oder zur Basis hin verdickt, bei mehrjährigen Arten nach unten weiterwachsend*“.

In der nachfolgenden Arbeit soll besonders die Form der Konsolen einiger stammbürtiger Pilzarten mit mehrjährigen Fruchtkörpern genauer betrachtet werden.

Funktionell dient der Fruchtkörper dem Pilz gleichsam als Abschussrampe für seine Sporen, die es ihm ermöglicht, neue Wirte zu besiedeln [2].

Die Konsolenform mehrjähriger, stammbürtiger Pilzfruchtkörper

Während unseren mykologischen Feldstudien konnten wir feststellen, dass Fruchtkörper mehrjähriger, stammbürtiger „Konsolen-Pilze“, meist Arten der Gattungen *Fomes*, *Phellinus* bzw. *Fomitiporia* und *Fomitopsis* (Zunderschwämme, Feuerschwämme, Rotrandige Baumschwämme), gattungsübergreifend und verhältnismäßig häufig, eine ganz bestimmte, „mechanisch optimierte“ Form besaßen. Häufig waren sie wie ein „optimierter“ Kragträger bzw. Biegebalken geformt (Kragträger = einseitig gelagerter,

waagerechter Balken bzw. Träger), d. h. sie besaßen eine Konsolenform, welche die „Kontur der Zugdreiecke“ [3] oft recht gut widerspiegelte, vgl. Abb. 2 bis Abb. 6.

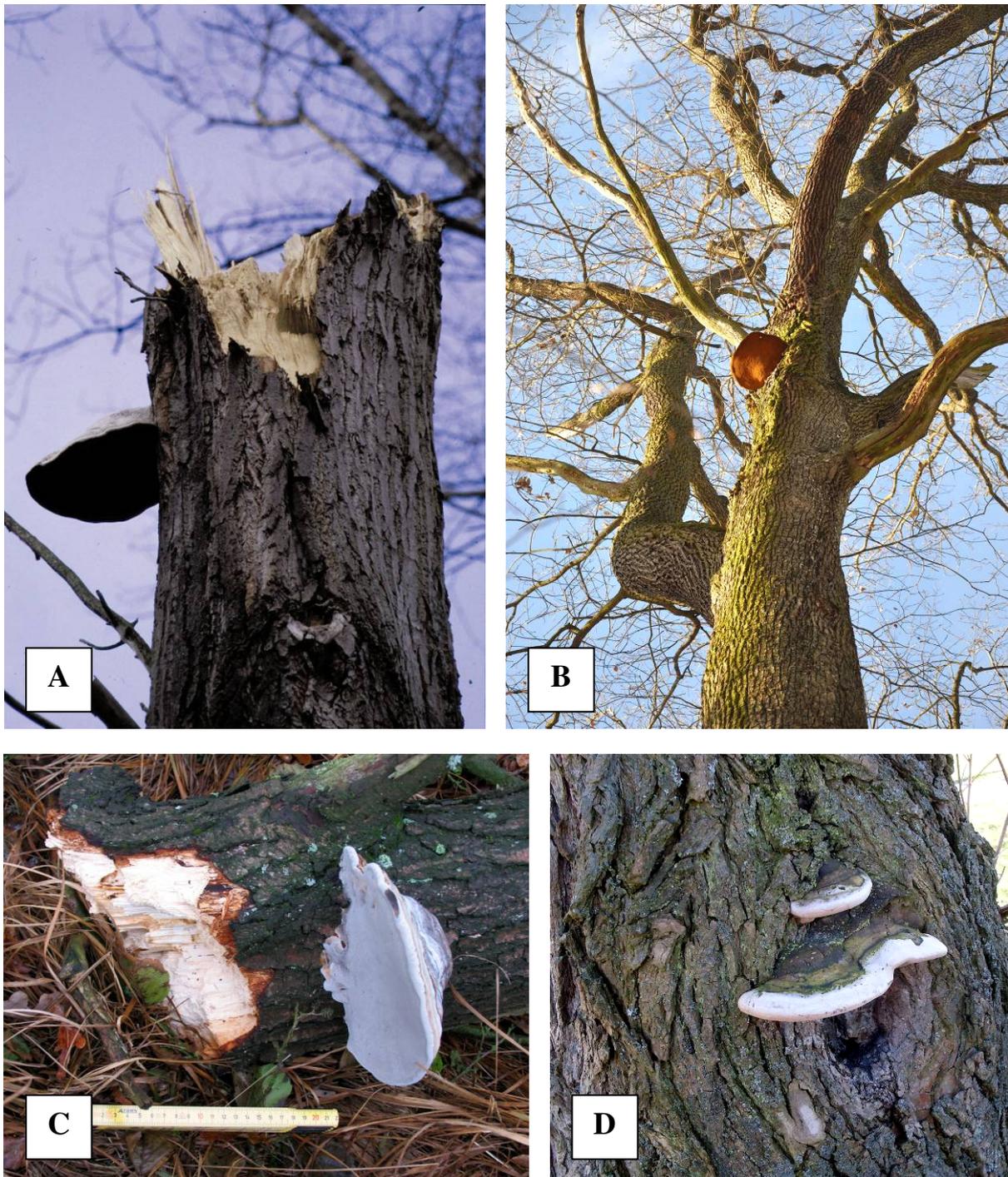


Abb. 1: Stammbürtige, konsolenförmige Pilzfruchtkörper. A: Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) an Schwarzpappel, Pilz verursachte Stammbruch. B: Eichen-Feuerschwamm (*Phellinus robustus*, Syn. *Fomitiporia robusta*) an Eiche, C: Zunderschwamm an Erle, der Fruchtkörper befand sich am Stammabschnitt einer abgebrochenen Baumkrone. D: Gemeiner Feuerschwamm (*Phellinus igniarius*) an Weide. So unterschiedlich diese Pilzfruchtkörper auch aussahen, so zeigten sie doch auffallend häufig eine ganz bestimmte Konsolenform (siehe Abb. 2).

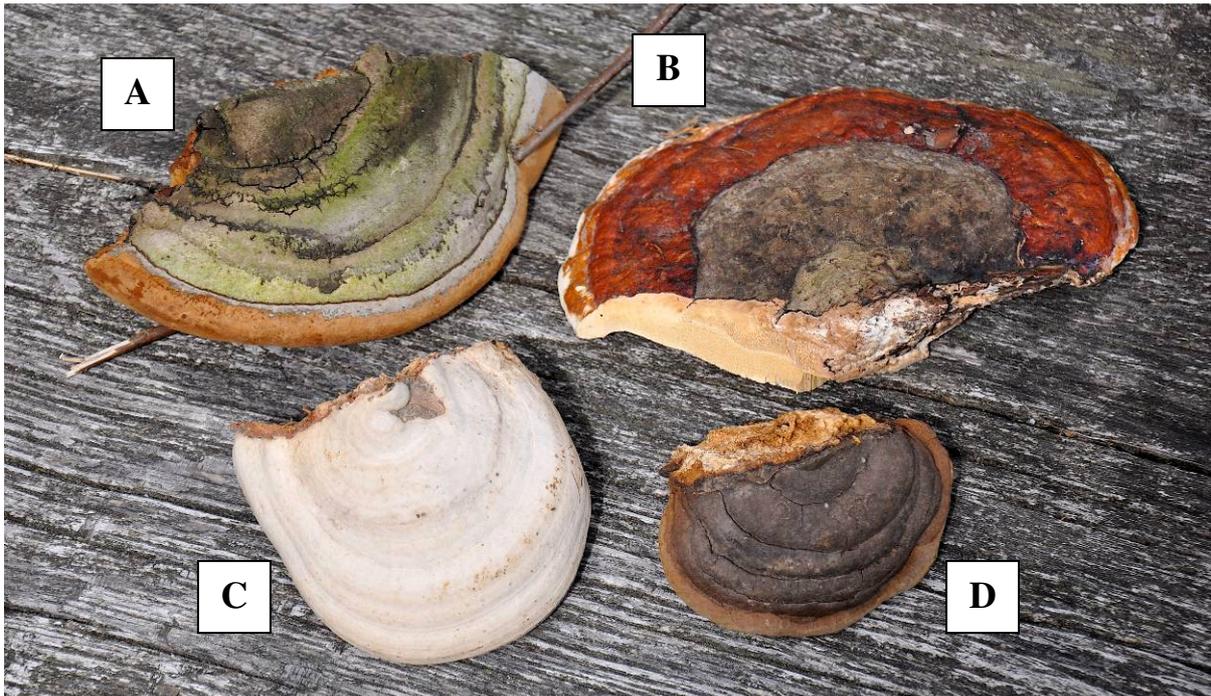


Abb. 2: Verschiedene stammbürtige, konsolenförmige Pilzfruchtkörper. Trotz unterschiedlichen Aussehens, war allen Fruchtkörpern gemein: die „Kontur der Zugdreiecke“ (hier als Schablone aufgelegt). A: Gemeiner Feuerschwamm (*Phellinus igniarius*). B: Rotrandiger Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*), C: Echter Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*), D: Eichen-Feuerschwamm (*Fomitiporia robusta*, Syn. *Phellinus robustus*).

Der „optimierte“ Biegebalken (Kragträger) und die „Methode der Zugdreiecke“ [3]

Die „Methode der Zugdreiecke“ [3] kann als ein universelles Konstruktionsprinzip der Natur angesehen werden. Hierbei handelt es sich um eine graphische Methode zum Abbau von Kerbspannungen und damit zur Entschärfung von Sollbruchstellen, indem Kerben bzw. scharfe Ecken mit Material in „Zugdreiecks-Form“ aufgefüllt werden, siehe Abb. 3. Mechanische Bauteile können damit „formoptimiert“ werden, um ihnen die höchstmögliche Stabilität und somit eine gesteigerte Lebensdauer, zu verleihen.

Auch nicht tragende Bereiche in mechanischen Bauteilen („Faulpelzecken“) lassen sich mit der „Methode der Zugdreiecke“ graphisch beseitigen, indem beispielsweise an entsprechenden scharfen Ecken oder Kanten Material in Zugdreiecks-Form entfernt wird, siehe Biegebalken in Abb. 4. Auf diese Weise optimierte Bauteile können im Idealfalle aus gerade so viel Material wie nötig (bzw. aus so wenig Material wie möglich) bestehen, um die geforderte Stabilität zu besitzen. Die Bauteile stellen damit „Leichtbau-Konstruktionen“ dar.

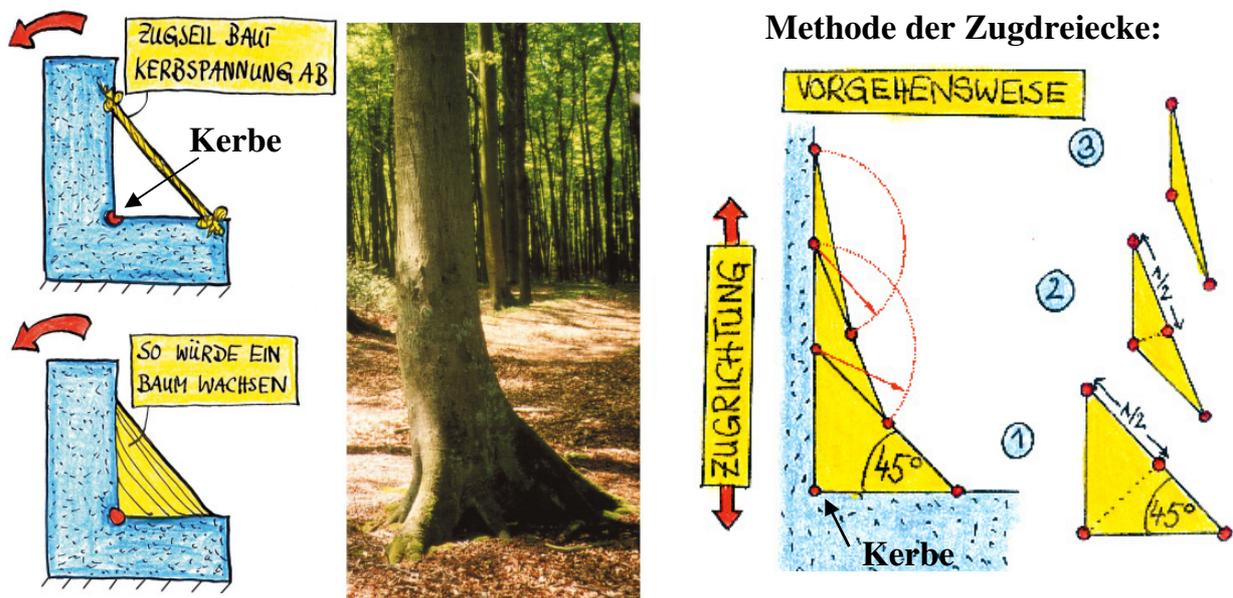


Abb. 3: Ein Baumstamm bildet mit der Erdoberfläche eine scharfeckige Kerbe. Er überbrückt und entschärft diese Kerbe durch einen Wurzelanlauf, der wie ein „Zugdreieck“ wirkt. Daraus folgte die „Methode der Zugdreiecke“ (rechts im Bild): Ausgehend vom unteren 45°-Winkel kleben wir ein Zugdreieck in die scharfe Ecke (1). Damit entsteht weiter oben eine neue Kerbe, welche wir wieder symmetrisch, von der Mitte des unteren Zugdreiecks ausgehend überbrücken (2), usw. (3). Meist reichen drei Zugdreiecke, aus [3].

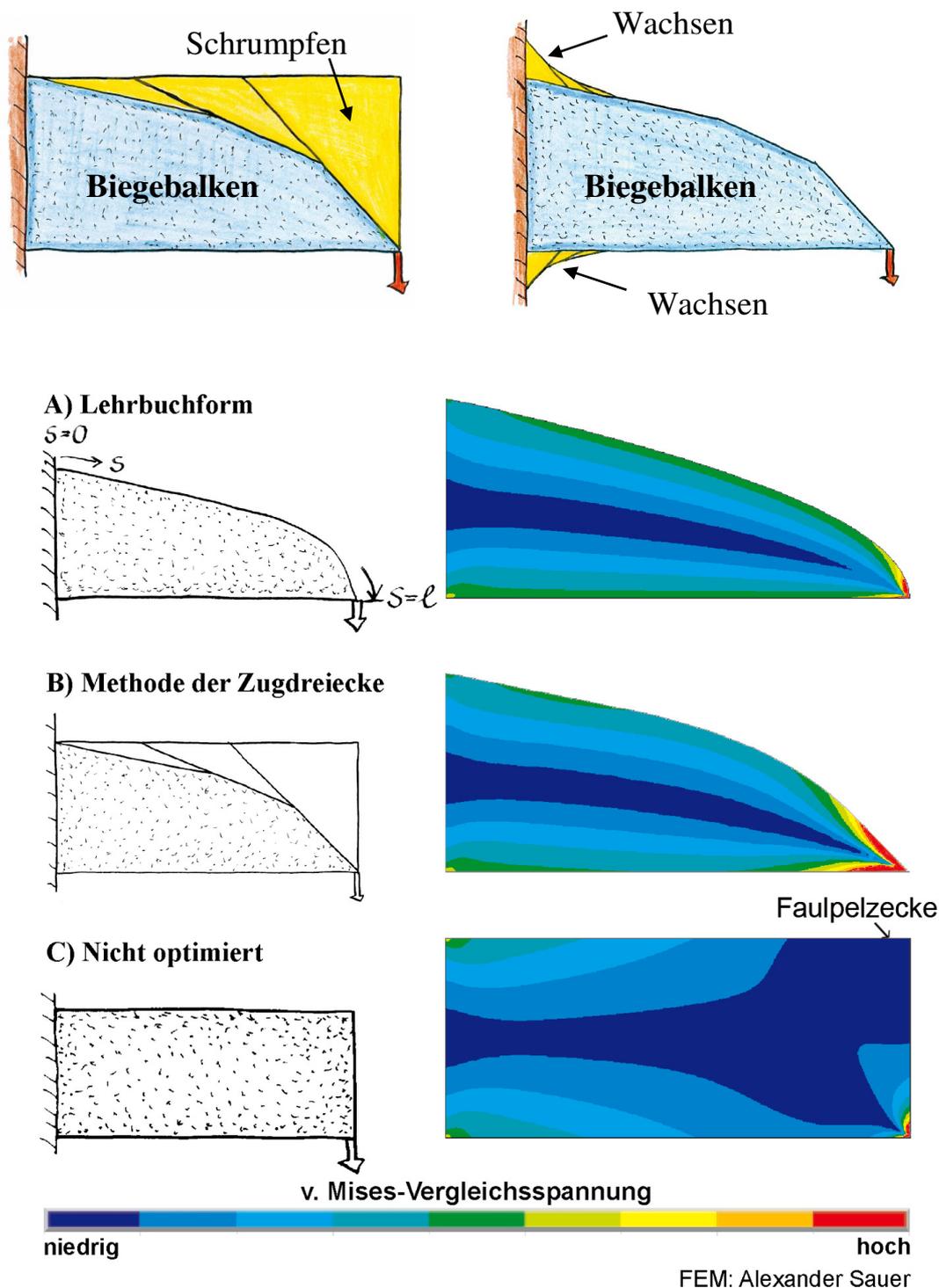


Abb. 4: Links oben: Mit der „Methode der Zugdreiecke“ kann man auch nicht tragende „Faulpelzecken“ im Randbereich eines Biegebalkens (Kragträger) entfernen. Man kann sich das wie ein Schrumpfen unterbelasteter Bereiche vorstellen. Rechts oben wurde noch die Kerbspannung an der Einspannung mit Zugdreiecken wegoptimiert. A, B, C: Eine Finite-Elemente Rechnung zeigt den Erfolg der Methode. A: Modell einer Vergleichsrechnung, denn für diesen Biegebalken gibt es auch eine Handbuchformel, welche die Kontur beschreibt. B: Modell mit der Methode der Zugdreiecke konstruiert zeigt, ebenso wie Modell A, eine gute gleichmäßige Spannungsverteilung (außer am Lastansatz, wo die FEM-Methode immer rote Flecken liefert). C: Deutlich sieht man im unteren nicht optimierten Biegebalken die dunkelblauen Faulpelze. Abbildung aus [3].

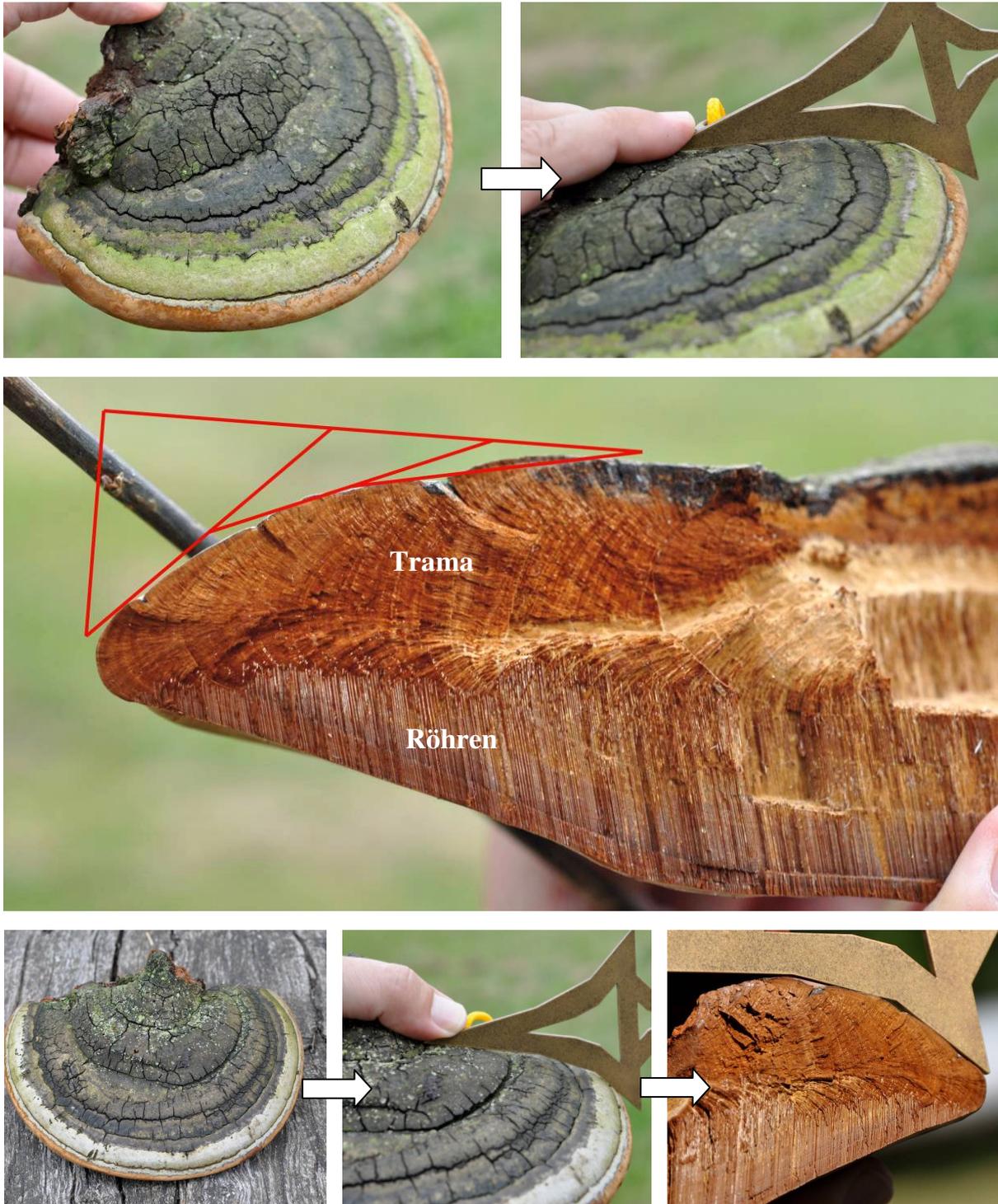


Abb. 5: Konsolenaufbau eines „Gemeinen Feuerschwamms“ (*Phellinus igniarius*). Das Wachstumsprinzip entspricht im Wesentlichen dem des Echten-Zunderschwamms (vgl. Abb. 7), nur dass bei dieser Pilzart kein Mycelialkern gebildet wird. Die anfängliche Knolle, mit der ein Fruchtkörper aus dem Substrat (Holz) ins Freie tritt, besteht hier aus Trama (= Hutfleisch), die beim Gemeinen Feuerschwamm eine eher holzartige Konsistenz besitzt. Auch hier entstehen durch das typische „Randwachstum“ oft Konsolen, die wie optimierte Biegebalken/Kragträger geformt sind, vgl. Schablone mit der „Kontur der Zugdreiecke“.

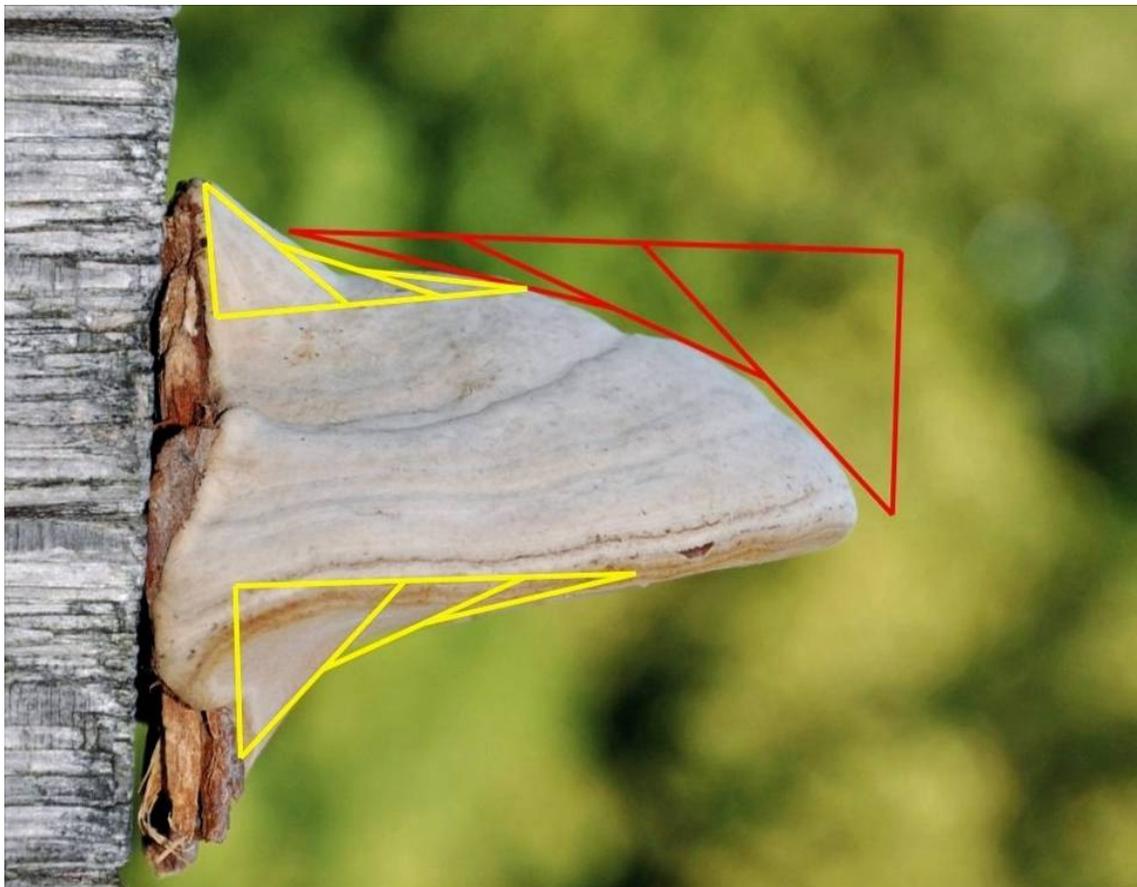
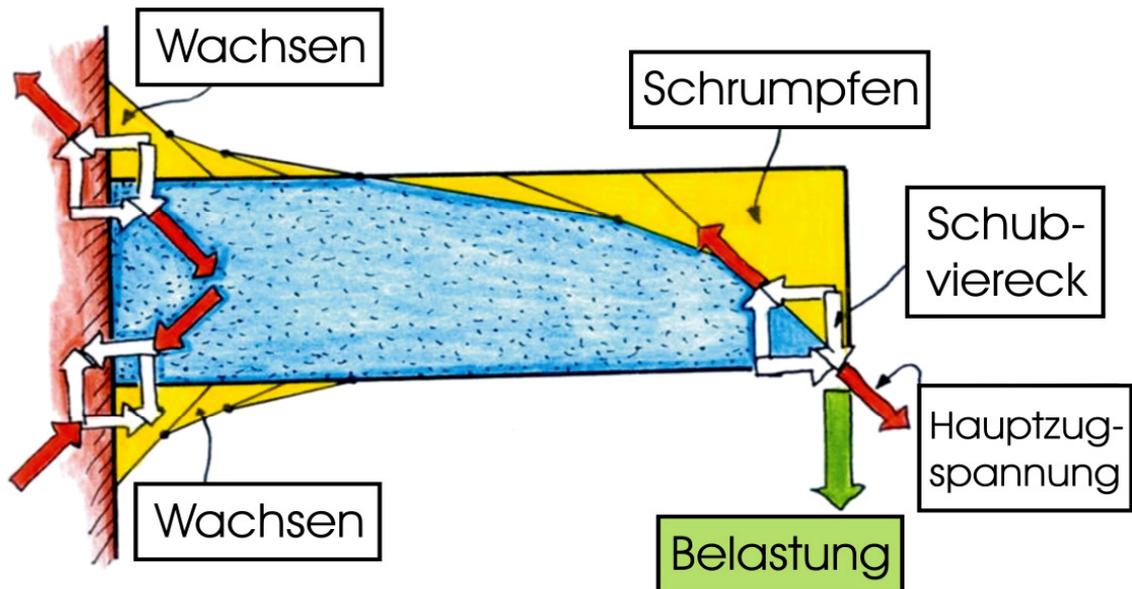


Abb. 6: Der Fruchtkörper mehrjähriger, stambürtiger „Konsolen-Pilze“ als optimierter Biegebalken oder Kragträger (Kragträger = einseitig gelagerter, waagerechter Balken bzw. Träger). Bild oben: Schema eines optimierten Biegebalkens. Mit der „Methode der Zugdreiecke“ wurden nicht tragende „Faulpelzecken“ im Randbereich eines Biegebalkens entfernt (Schrumpfen unterbelasteter Bereiche). Des Weiteren wurde die Kerbspannung an der Einspannung mit Zugdreiecken wegoptimiert. Bild unten: Konsolenförmiger Fruchtkörper eines „Echten Zunderschwamms“ (*Fomes fomentarius*), der fast wie ein „optimierter Biegebalken“ geformt war.

Das Entstehen einer „optimal“ geformten Pilz-Konsole

Durch die aufbrechende Rinde wächst zunächst eine Knolle heran. An deren Unterseite entsteht dann die erste Röhrenschicht. Am „fleischigen“ Röhrenrand wächst der Fruchtkörper nach vorne, d. h. vom Substrat weg. Es entsteht ein Zuwachswulst. Da die aktive Wachstumszone grundsätzlich nur am Rand des jeweils letzten Zuwachswulstes und dessen Röhrenschicht ist, wächst der Fruchtkörper, in Wachstumsschüben, nach vorne und vertikal nach unten. So entsteht eine „Konsole“, siehe hierzu Abb. 7, Abb. 8, Abb. 9 und zusammenfassend ein Schema in Abb. 10.

Die Porenfläche auf der Fruchtkörperunterseite wird dadurch von Jahr zu Jahr größer. Die Kontur des Fruchtkörpers läuft über die „Anwachsknolle“ oben häufig sanft aus. Auch am unteren Ende läuft die Kontur des Fruchtkörpers über die am Substrat „herablaufenden“ Röhren häufig sanft aus, vgl. Abb. 6. Diese „sanften“ Übergänge besitzen häufig auch eine „Zugdreiecks-Form“ und verhindern die Ausbildung scharfer Ecken und damit möglicher Sollbruchstellen.

Auf diese Weise entsteht nicht selten eine Konsole mit der Form eines „optimierten Biegebalkens“ (Abb. 4) mit der „Kontur der Zugdreiecke“.

Je exponierter ein Fruchtkörper am Stamm wächst (relativ gleichmäßiges und ungestörtes Wachstum vorausgesetzt), desto ausgeprägter, so unsere Beobachtungen, scheint diese „optimierte“ Konsolenform realisiert zu werden.

Zur Belastung eines Biegebalkens und einer Pilz-Konsole

Bei einem waagerechten, einseitig gelagerten Biegebalken (Kragträger) greift die Last am freien Ende an und „zieht“ vertikal nach unten, vgl. Abb. 4. Für diesen Belastungsfall wurde der Biegebalken in Abb. 4 mit der „Methode der Zugdreiecke“ optimiert. Die Optimierung bestand im Wesentlichen darin, unbelastete Bereiche (Faulpelzecken) zu entfernen, was Material einspart, ohne die Stabilität zu verringern. Dieses Leichtbau-Konstruktions-Prinzip ist in der „evolutionsbewährten“ Natur (Überleben des besser Angepassten) häufig zu finden, weshalb plausibel erscheint, es auch an exponierten Pilz-Konsolen wieder zu finden.

Wenn aber diese Formoptimierung gleichermaßen mechanischen Bauteilen und exponierten Pilz-Konsolen Vorteile verschafft, dann sollten diese doch besonders bei vergleichbaren Belastungsfällen in Erscheinung treten.

Die holzzeretzenden Pilzarten, deren Fruchtkörper hier beschrieben, bzw. besprochen wurden, verursachen allesamt „absteigende“ Holzfäulen [2, 5], d. h. die Fäule entsteht in der Regel im oberen Stammbereich und wandert im Stamm nach unten. Fruchtkörper-Konsolen am mittleren oder unteren Stammbereich haben demnach immer mehr oder weniger stark zersetzte Stamm- oder Astpartien über sich, die leicht brechen können.

Es gibt nun im Dasein eines exponierten, konsolenförmigen Pilzfruchtkörpers einen offensichtlich „lebensbedrohlichen“ Belastungsfall, nämlich das Herabfallen von Ästen oder Stammteilen des fäulebefallenen Wirtsbaumes oder auch des Nachbarbaumes.

So finden sich in der Natur nicht selten vitale Pilz-Konsolen, die durch ein solches Ereignis schwer beschädigt wurden. Abb. 11 zeigt zwei derartig beschädigte Fruchtkörper, die möglicherweise auf Grund ihrer „mechanischen Gestaltoptimierung“, einer relativ starken vertikalen Krafteinwirkung erfolgreich widerstanden.

Abb. 12 und Abb. 13 zeigen indes auch Fruchtkörper (am stehenden und liegenden Stamm), die einer solchen vertikalen Belastung nicht widerstanden, was wiederum zeigt, dass der oben angenommene Belastungsfall nicht nur tatsächlich in der Natur existiert, sondern dass er sogar eine konkrete Bedrohung für eine Pilz-Konsole, bzw. für einen stammbürtigen „Konsolen-Pilz“ darstellen kann.

Wurzelbürtige Pilzarten hingegen, die „aufsteigende“ Holzfäulen [2, 5] verursachen, d. h. deren Fäule von unten in den Stamm hoch wandert, und die ebenfalls konsolenförmige Fruchtkörper ausbilden (z. B. Lackporlinge, Eschen-Baumschwamm), zeigen in der Regel kaum formoptimierte Konsolen mit der „Kontur der Zugdreiecke“.

Abb. 14 zeigt schließlich noch, dass manchmal auch einjährige, stammbürtige, konsolenförmige Fruchtkörper (hier Birken-Porling), besonders an exponierten Standorten, Konsolen mit der „Kontur der Zugdreiecke“ ausbilden können.

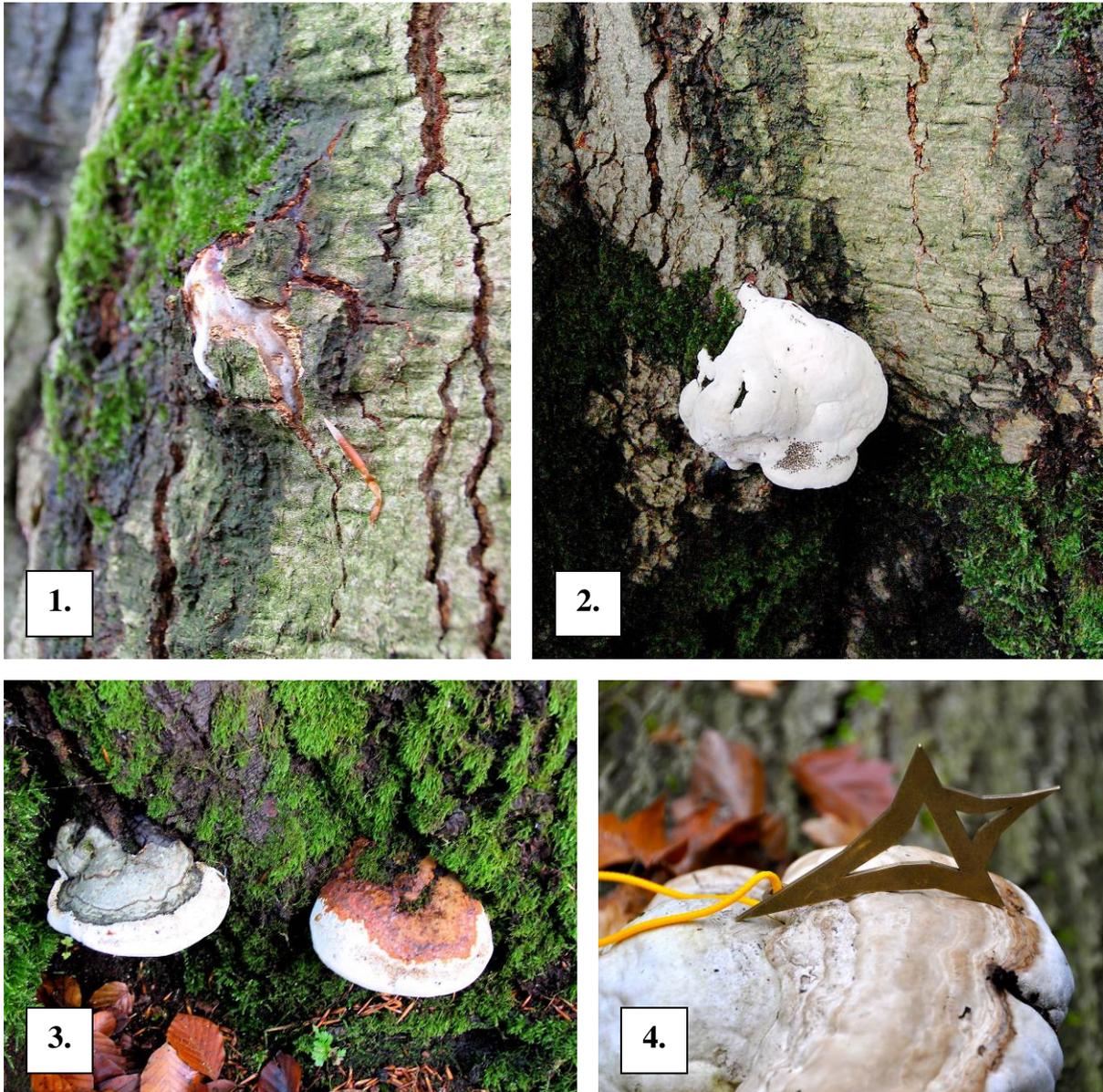


Abb. 7: Konsolenwachstum beim „Echten Zunderschwamm“ (*Fomes fomentarius*) an Buche. **1.** Durch die aufbrechende Rinde wächst zunächst eine grauweiße Knolle heran, die hauptsächlich aus dem korkartigen „Mycelialkern“ (=Anwachsknolle) besteht. **2.** Auf der Unterseite dieser grauweißen Knolle entsteht dann die erste Röhrenschicht. Sie ist durch wildlederartiges Hutfleisch (Trama) mit dem Mycelialkern verbunden. **3.** Die Oberseite der Knolle verfärbt sich nach Bildung einer Kruste erst rotbraun, dann grau. Am weißen Rand wächst der Fruchtkörper nach außen, d. h. vom Substrat weg und die Röhrenschicht wächst nach unten. **4.** Durch Wachstumsschübe (meist 2 pro Jahr [4]) entstehen neue Zuwachswülste, die zum einen auch die Röhren (ansatzlos) nach unten verlängern und zum andern die vorhandene Röhrenschicht nach vorne, bzw. am Rand nach außen erweitern. Die Porenfläche auf der Fruchtkörperunterseite wird dadurch von Jahr zu Jahr größer. Am Fruchtkörperansatz wachsen die Röhrenschichten meist etwas am Substrat entlang, wodurch die Konsole am Ansatz auch etwas breiter wird, vgl. Abb. 1, Abb. 6. Durch dieses typische „Randwachstum“ entstehen Konsolen, die oft wie ein optimierter Biegebalken (Kragträger) geformt sind, vgl. Schablone mit der „Kontur der Zugdreiecke“.



Abb. 8: Konsolenwachstum beim „Echten Zunderschwamm“ (*Fomes fomentarius*). Zurücksetzender Fruchtkörper, d. h. die zuletzt gebildeten Röhrensichten erweitern nicht mehr signifikant die Konsole nach vorne (keine Erweiterung der neuen Porenfläche unten). Folge: „Hufförmige“ Konsolen entstehen. Die einmal ausgebildete „Kontur der Zugdreiecke“ bleibt dabei weiterhin unverändert bestehen.

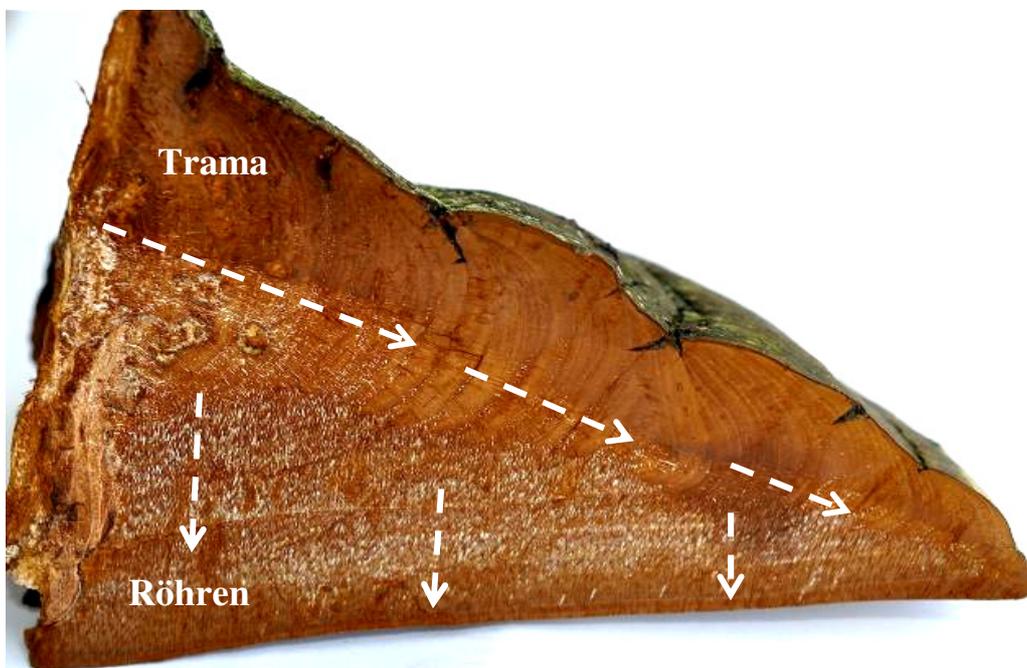


Abb. 9: Längsschnitt durch den Fruchtkörper eines „Gemeinen Feuerschwamms“ (*Phellinus igniarius*). Konsolenaufbau: Saisonale/annuale Zuwächse (Wachstumsschübe) wachsen vom Entstehungsort des Fruchtkörpers „wulstartig“ nach vorne (Rand) und nach unten (Röhren), vgl. Pfeile. Auf der Fruchtkörperunterseite schichten sich die Röhren der einzelnen Wachstumsschübe übereinander.

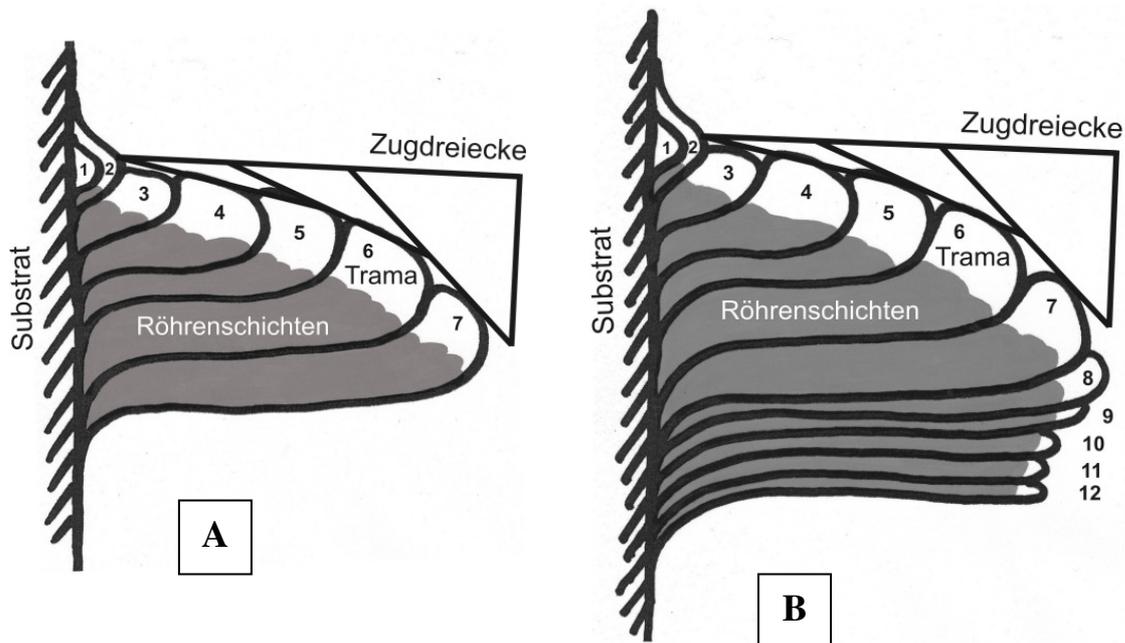


Abb. 10: Schema konsolenförmiger Fruchtkörper im Längsschnitt (z. B. *Fomes*, *Fomitiporia* bzw. *Phellinus*). **A:** Gut zuwachsender Fruchtkörper. Sieben Wachstumsschübe (1-7), bzw. Zuwachswülste, bauen den Fruchtkörper „schichtweise“ auf. Da die aktive Wachstumszone am Rand des jeweils letzten Zuwachswulstes und dessen Röhrenschicht ist, wächst die Konsole nach vorne und vertikal nach unten. Auf diese Weise entsteht oft eine Konsole mit der Form eines „optimierten Biegebalkens“, bzw. mit der „Kontur der Zugdreiecke“. Je exponierter ein Fruchtkörper am Stamm wächst (relativ gleichmäßiges und ungestörtes Wachstum vorausgesetzt) desto ausgeprägter scheint diese „optimierte“ Konsolenform realisiert zu werden. Am oberen Ende der Anbindung am Substrat läuft die Kontur des Fruchtkörpers über die „Anwachsknolle“ (Mycelialkern bei *Fomes*), bzw. „Entstehungsknolle“ (*Fomitiporia* / *Phellinus*) oft sanft aus. Auch am unteren Ende läuft die Kontur des Fruchtkörpers über die am Substrat „herablaufenden“ Röhrenschichten meist sanft aus. Dieses beidseitige, sanfte Auslaufen der Fruchtkörperkontur im Anbindungsbereich verhindert die Ausbildung scharfer Ecken, d. h. Sollbruchstellen, vgl. Abb. 6. **B:** Zurücksetzender Fruchtkörper. Die letzten vier Zuwachswülste (9-12) setzen deutlich zurück, d. h. sie erreichen nicht mehr die Ausdehnung des vorherigen Zuwachswulstes (letztes gutes Zuwachsen zeigte Wulst 8). Dieser Fruchtkörper „hungert“ (Körpersprache [2]: Zurücksetzende Zuwächse = reduzierte Nährstoffversorgung des Fruchtkörpers durch das Substratmycel). Die einmal ausgebildete „Kontur der Zugdreiecke“ bleibt dabei weiterhin unverändert erhalten, vgl. Abb. 8.



Abb. 11: Weide mit starkem Zunderschwamm-Befall, die fäulebedingt langsam „zerfällt“. Die Fruchtkörper am unteren Stammabschnitt wurden durch herabfallende Stämmlings- oder Aststücke beschädigt (Pfeile). Die Pfeile rekonstruieren zudem die Richtung der hier auf die Fruchtkörper eingewirkten Kräfte (vgl. hierzu auch Schema in Abb. 6). Die rekonstruierte Krafteinwirkung entsprach der Belastungsrichtung des in Abb. 4 und Abb. 6 optimierten Biegebalkens, wodurch Pilz-Konsole und Biegebalken mechanisch vergleichbar werden.



Abb. 12: Erle mit starkem Zunderschwamm-Befall, die ebenfalls fäulebedingt langsam „zerfällt“. Der ältere Fruchtkörper am mittleren Stammabschnitt wurde möglicherweise durch herabfallende Stamm- oder Aststücke beschädigt, vgl. Abb. 1c. Detailbild oben rechts: der vordere Teil des Fruchtkörpers brach durch starke äußere Krafteinwirkung (Pfeil) ab, der Fruchtkörper „regenerierte“ sich zum Teil wieder. Der Fruchtkörper am unteren Stammabschnitt war jünger (daraus folgt: absteigende Fäule), noch unversehrt und zeigte die „Kontur der Zugdreiecke“ (vgl. Schablone).

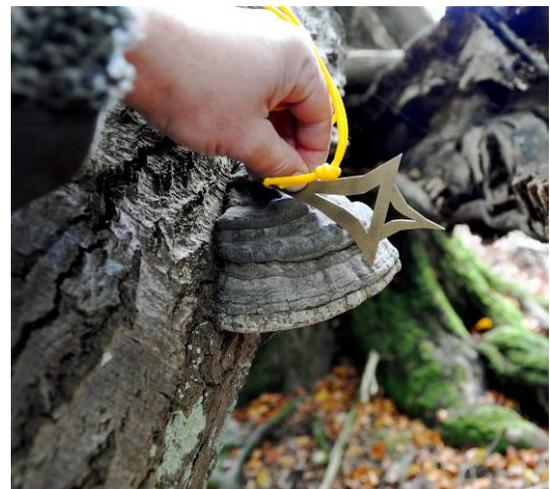
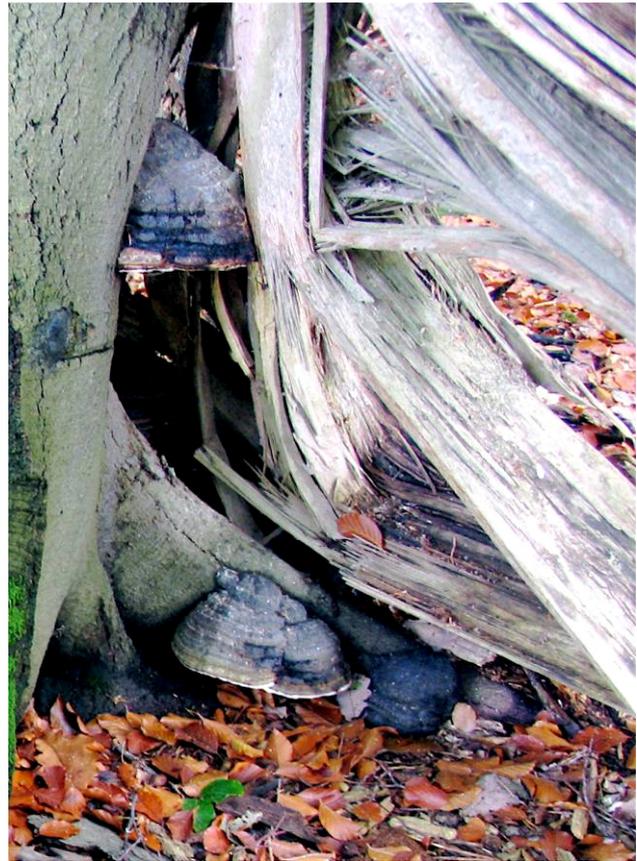
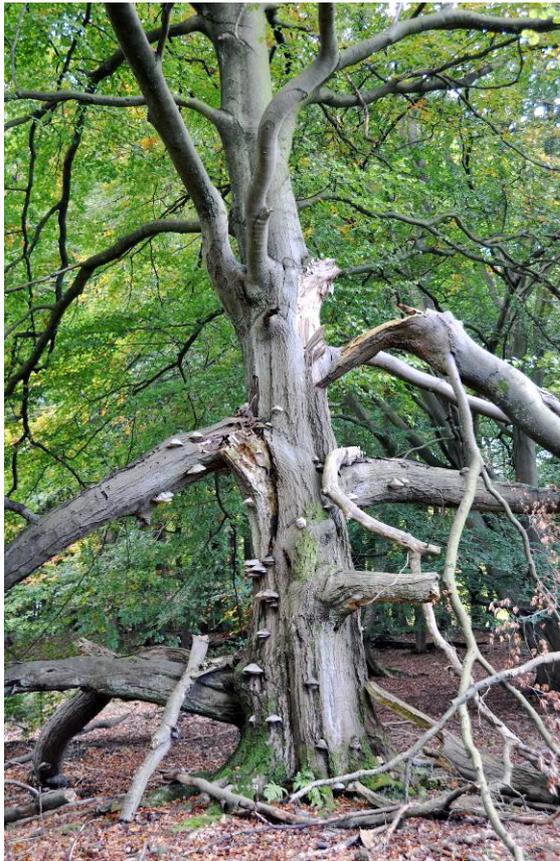


Abb. 13: Buche mit starkem Zunderschwamm-Befall, die fäulebedingt langsam „zerfällt“. Bilder oben: Die Fruchtkörper am unteren Stammabschnitt wurden teilweise durch herabfallende Aststücke beschädigt. Bild unten links: Der vordere Teil der Konsole brach durch starke äußere Krafteinwirkung ab (Pfeil zeigt Richtung der einwirkenden Kraft). Der vitale Fruchtkörper versiegelte die Abbruchstelle und bildete unten (aktiv wachsender Bereich des letzten Zuwachswulstes) einen neuen, kleineren Fruchtkörper. Er „regenerierte“ sich also z. T. wieder. Bild unten rechts: Dieser Fruchtkörper war noch unversehrt und zeigte die „Kontur der Zugdreiecke“ (vgl. Schablone).



Abb. 14: Stammbürtiger, konsolenförmiger Pilzfruchtkörpers eines Birken-Perlins (*Piptoporus betulinus*). Auch einjährige, konsolenförmige Fruchtkörper besitzen, besonders an exponierten Standorten, manchmal Konsolen mit der „Kontur der Zugdreiecke“. Bild oben: Fruchtkörper am liegenden Stamm. Bild unten: Fruchtkörper am stehenden Stamm.

Literatur

- [1] H. Jahn (1990): Pilze an Bäumen: Saprophyten und Parasiten die an Holz wachsen. 2. Auflage, Berlin, Hannover, Patzer Verlag.
- [2] K. Weber, C. Mattheck (2001): Taschenbuch der Holzfäulen im Baum. Verlag Forschungszentrum Karlsruhe.
- [3] C. Mattheck (2006): Verborgene Gestaltgesetze der Natur. 1. Auflage, Verlag Forschungszentrum Karlsruhe.
- [4] K. Weber, C. Mattheck (2010): Röhrenschnitt-Analyse, Altersbestimmung und Körpersprache mehrjähriger Pilzfruchtkörper. Tagungsband des 16. VTA-Spezialseminars, Messen und Beurteilen am Baum, 04.-05. Mai 2010, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- [5] C. Mattheck (2007): Aktualisierte Feldanleitung für Baumkontrollen mit Visual Tree Assessment. Verlag Forschungszentrum Karlsruhe.