



## Ein fossiler Eichenholzstamm mit Kernfäule?

Dagmar Dietrich, Chemnitz, Mike Viney, Fort Collins (CO, USA), Jim Mills, Creston (CA, USA), Andrés Verdugo & Ronny Rößler, Chemnitz und Freiberg

### Kurzfassung

Zeigt die fossile Eiche *Quercinium pliocaenicum* makroskopische Anzeichen von Kernfäule durch Weißfäulepilze? Ausgangspunkt ist ein kurzer Überblick über den Metabolismus der Fäulnispilze unter Bevorzugung von Lignin oder Zellulose sowie die Fähigkeit der Bäume, sich in bedingtem Maße dagegen zu schützen (CODIT). Davon ausgehend werden Stücke einer 1895 in Clover Creek, Idaho, USA, gefundenen fossilen Eiche, *Quercinium pliocaenicum*, untersucht. Teile davon zeigen Verfärbungen, die in Vergleich zu rezenten Eichen zu der Annahme führen, dass zu Lebzeiten des Baumes Kernfäule durch Weißfäulepilze aufgetreten ist. Dadurch hätte sich das Verhältnis der Holzbestandteile Zellulose und Lignin verändert und den Prozess der Verkieselung möglicherweise beeinflusst. Die in den dunkel verfärbten Abschnitten wesentlich schlechtere Erhaltung der organischen Gewebe suggeriert die Holzerstörung vor der Einkieselung, lässt jedoch keine Reste pilzlicher Mikroorganismen mehr erkennen. Die Untersuchung des Übergangs von unverfärbtem zu verfärbtem Kieselholz mittels mikro-Röntgenfluoreszenz ergab Anreicherungen von Verbindungen des Aluminiums, Eisens, Kaliums, Kalziums, Mangans und Zinks. Letztere kommen in der Nähe von Rissen sowie in unregelmäßig umgrenzten Teilen des dunkel verfärbten Kieselholzes vor, sind jedoch nicht an die SiO<sub>2</sub>-Matrix gebunden. Daher führen wir die Anreicherungen von Metallionen auf Vorgänge während oder nach der Fossilisation zurück. Der mutmaßliche pilzliche Holzabbau vor der Fossilisation lässt sich nur durch den stärkeren Zersetzungsgrad des Holzes in den braun gefärbten Arealen belegen.

### Abstract

Does the fossil oak *Quercinium pliocaenicum* show macroscopic signs of heart rot caused by white-rot fungi? We begin with a brief overview of two groups of wood-decaying fungi and their ability to derive nutrition from degrading cell-wall components as well as the tree's limited ability to protect itself according to the CODIT model. Patterns exhibited by specimens of the fossil oak *Quercinium pliocaenicum* found along Clover Creek, Idaho, USA, in 1895 are assessed in light of damage caused by wood-decaying fungi and the CODIT model. We propose a hypothesis that differential patterns of color and damage preserved in the opalized wood can be attributed to the effect of white-rot fungi when the tree was still growing. Some white-rot fungi preferentially degrade lignin, which could have changed the ratio of cellulose to lignin in the secondary xylem thus probably affecting the silicification process. The much poorer preservation of organic tissues in the brown mineralized areas suggests wood destruction prior to silicification, but does not reveal remnants of fungal microorganisms. Examination of the transition from yellow to dark brown silicified wood by micro-X-ray fluorescence revealed elemental enrichments of aluminum, iron, potassium, calcium, manganese, and zinc. The latter accumulations occur in cracks and irregularly bounded portions of the brown mineralized areas, but are not linked to the SiO<sub>2</sub> matrix. Therefore, we attribute the accumulations of metal ions to processes during or after fossilization. The presumed fungal degradation of wood prior to fossilization can be evidenced only by the greater degree of wood decomposition in the brown-colored areas.

### Anschriften der Autoren

Dr. Dagmar Dietrich, Chemnitz, Sachsen, E-Mail: dagmar.dietrich@idd-chemnitz.de

Mike Viney, Ft. Collins, Colorado, E-Mail: Mike.Viney@colostate.edu

Jim Mills, Creston, California, E-Mail: Jim@MillsGeological.com

Andrés Verdugo, Chemnitz, Sachsen, E-Mail: andres\_veral@yahoo.com

Prof. Dr. Ronny Rößler, Museum für Naturkunde Chemnitz, Moritzstraße 20, 09111 Chemnitz, E-Mail: roessler@naturkunde-chemnitz.de, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Bernhard-v.-Cotta-Straße 2, 09599 Freiberg

## Einleitung

Holz fault. Aus wissenschaftlicher Sicht unterscheidet man Destruktionsfäule bzw. Braunfäule und Korrosionsfäule bzw. Weißfäule. Die verursachenden Fäulnispilze zersetzen die Holzbestandteile. Braunfäulepilze ernähren sich durch den Abbau von Hemizellulose und Zellulose, woraus die Zellwände lebender oder toter Bäume bestehen. Weißfäulepilze ernähren durch die einzigartige Fähigkeit, Lignin in lebenden Laubbäumen abzubauen. Manche bauen sowohl Lignin als auch Zellulose für ihren Stoffwechsel ab. Die für den Lignin-Abbau nötigen physiologischen Grundlagen – insbesondere die Produktion des Enzyms Laccase – entstanden wahrscheinlich das erste Mal gegen Ende des Karbons, vor rund 300 Millionen Jahren. Interessanterweise wird dies – wenn auch nicht unwidersprochen – von einigen Autoren mit dem Rückgang von Steinkohlenbildung in Zusammenhang gebracht (Floudas et al. 2012). Weißfäule ist ursprünglich eine Eigenschaft der *Agaricomycetes*. Einige Seitenzweige der Ständerpilze haben sie beibehalten, andere zugunsten von Braunfäule oder der Bildung von Mykorrhiza aufgegeben (Floudas et al. 2012, Krah et al. 2018). Trotzdem haben sich die Weißfäule-Pilze überwiegend auf Angiospermen spezialisiert, die mit Beginn der Kreidezeit auftraten, während die meisten Braunfäulepilze Gymnospermen-Spezialisten oder Generalisten sind (Goodell et al. 2020).

Braunfäule zeigt sich abgesehen von der Farbänderung durch einen charakteristischen Würfelbruch des Holzes, während die Weißfäule zur Zerfaserung des Holzes oder bei mengengleichem Abbau von Lignin und Zellulose zur Weißlochfäule führt (Blanchette 1991). Beide Arten der Holzersetzung sind nicht nur an Totholz, sondern auch am lebenden Stamm als sogenannte Innen- oder Kernfäule zu beobachten.

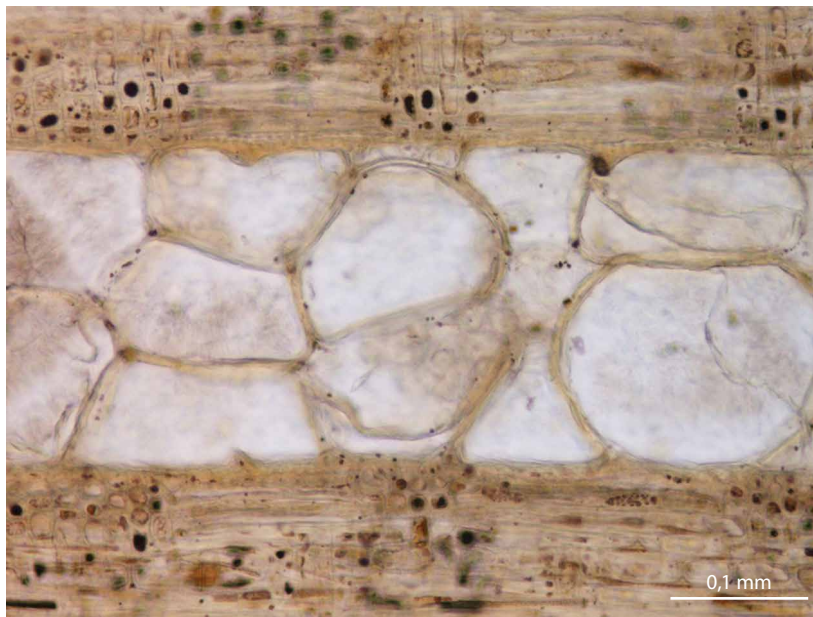
Im Laufe der Jahre entstehen mit dem Wachstum der Bäume verschiedene Zonen im Stamm: innen das aus Primärgewebe bestehende Mark, darum das Kernholz und außen das Splintholz. Im Kernholz werden die Gefäße durch Thyllen verschlossen. Das sind Auswüchse benachbarter Parenchymzellen, die das Lumen der Gefäße kammerartig abdichten, so dass diese nicht mehr zur Wasserleitung beitragen. Außerdem werden phenolische Inhaltsstoffe eingelagert, wodurch sich u. a. bei der Eiche (*Quercus*) der Kern farblich vom Splintholz abhebt. Bevor er in den Kern übernommen wird, dient der Splint zur Leitung nährstoffhaltigen Wassers hinauf in die Baumkrone, aber auch zu dessen Speicherung. Der Gehalt an Lignin, das das Zellulosegerüst des Holzes imprägniert, sklerotisiert und festigt, unterscheidet sich kaum in Kern und Splint. Wie in allen Gattungen der Familie der Buchengewächse (Fagaceae) sind auch bei Eichen die Bildung von Zwieseln und Doppelkernen (verwachsene Zwiesel) bekannt (Abb. 1). Insbesondere in V-förmigen Gabelungen kommt es mitunter zur Bildung sogenannter Wassertaschen, in deren Klüften und Rissen eindringendes Wasser zur Fäule führen kann. Pilzsporen gelangen hier über Verletzungen oder auch über Wurzeln und Astungswunden in das Bauminnere. Sie zerstören vor allem den Kern. Bevor Hohlräume entstehen, verfärbt sich das Holz.

Für Bäume gibt es verschiedene Möglichkeiten, den Angriff der Pilze abzuwehren. Die Rinde erzeugt dazu wachsartige Korkstoffe. Ist der Baum geschwächt oder verletzt, dann dringt der Pilz über das Kambium weiter ein (Phase 1 und 2). Der Baum bildet dann im lebenden Splintholz eine aktive Abschottung gegen die Fäulnispilze durch innere Schutzwälle (Phase 3). Shigo & Marx (1977) entwickelten dafür eine Theorie der Kompartimentierung von Schäden in Bäumen und bezeichneten sie als CODIT-Modell: CODIT = Compartmentalization of Damage in Trees. Diese Theorie beschreibt die baumeigene Fähigkeit, durch die Bildung von verschiedenen Schutzwällen Pilze und andere pathogene Mikroorganismen an der Ausbreitung im Baum zu hindern. Diese vier Wälle entstehen folgendermaßen:

- Schutzwall 1  
Das ursprünglich leitfähige Gefäßgewebe wird über und unter der Wunde durch Thyllenbildung in vertikaler Richtung verschlossen.
- Schutzwall 2  
Dickwandige, ligninreiche Zellen des Spätholz-Zuwachsrings verlangsamen die Ausbreitung der Infektion in radialer Richtung.
- Schutzwall 3  
Chemisch veränderte Zellen in Holzstrahlen, die horizontal zur Stammachse ausgerichtet den Stamm in Segmente unterteilen, verhindern die tangentielle Ausbreitung der Infektion.
- Schutzwall 4  
Neues Wachstum von spezialisiertem Holzgewebe, sog. Wundxylem, auf der Außenseite des Baums kann die Ausbreitung der Infektion u. U. vollständig verhindern (Phase 4).



**Abb. 1** | Typische Wuchsform einer rezenten Eiche, ca. 80 Jahre alt.



**Abb. 2** | *Quercinium pliocaenicum*, Radialschnitt, starker Verschluss der Frühholz-Tracheen mit Thyllen.

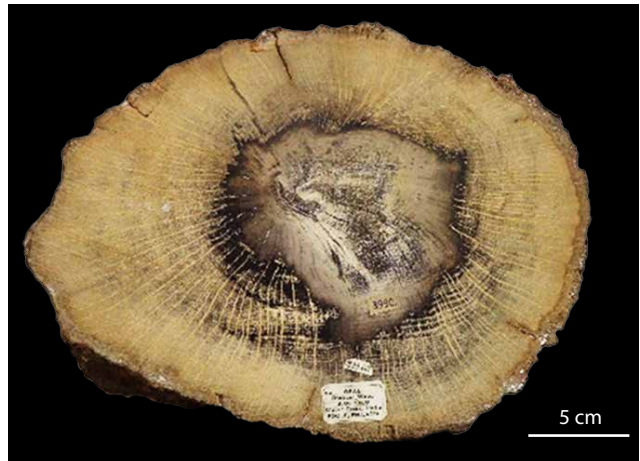
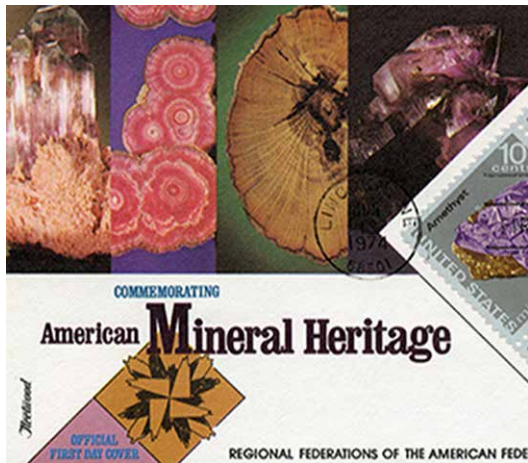
Eichen gehören zur Familie der Buchengewächse, die seit Ende der Kreidezeit auftrat. Hinweise im Fossilbericht deuten darauf hin, dass sich die Gattung *Quercus*, insbesondere die Sektion der Weißeichen, schon im frühen Paläozän entwickelte. Inzwischen hat sie sich auf der Nordhalbkugel fest etabliert (Barrón et al. 2017). Zur Pilzabwehr bilden die weiten Gefäße im Frühholz in starkem Maße Thyllen (Rosenthal & Bäucker 2013). Die breiten Holzstrahlen bilden einen guten Schutzwall. Sie befinden sich versetzt im Holz, bilden ein Labyrinth, verzögern die Fäule in Jahrringrichtung und machen das Kernholz witterungsfest. Die Grenze zum unveränderten gesunden Holz verläuft nicht gleichmäßig, sondern gezackt.

Bei Astungswunden findet eine Verletzung quer zum Faserverlauf im Stamm statt. Häufig befindet sich in der Wundmitte älteres Gewebe, welches schlecht abschottet, und die Wunde bleibt lange oder sogar für den Rest des Baumlebens in Phase 3 nach dem CODIT-Prinzip.

### Beobachtungen an verschiedenen Stücken einer fossilen Eiche

Etwa 1895 wurde in Clover Creek, Idaho, USA, ein rund 4 Millionen Jahre alter fossiler Eichenstamm gefunden. Nach seiner Bergung wurde der Fund aus dem Pliozän explizit als einzelner Stamm beschrieben, in viele Scheiben und Stücke geteilt und insbesondere durch den Mineralienhändler W. M. Foote (1872–1936) in Philadelphia verkauft. Viele solcher Stücke finden sich heute in mineralogischen Sammlungen von Naturkundemuseen in Amerika, Europa und Australien als eindrucksvolle Beispiele für Holzopal (Viney et al. 2016a, 2016b). Das liegt auch an der schönen goldbraunen Farbe des Opals, der an das ursprüngliche Holz erinnert, welches er konservierte. Hinzu kommt die sehr gute Erhaltung der Holzanatomie bis in das kleinste Detail. Das belegen die im Museum für Naturkunde Chemnitz aufbewahrten Dünnschliffe, deren Präparation durch die Göttinger Firma Voigt & Hochgang noch von Museumsgründer J. T. Sterzel (1841–1914) in Auftrag gegeben wurde. Anschließend ließ Sterzel die Eiche beschreiben, die seitdem als *Quercinium pliocaenicum* bekannt ist (Schuster 1908). An diesen Dünnschliffen ist u. a. die starke Thyllenbildung im Frühholz gut erkennbar, wie das Beispiel in Abb. 2 zeigt.

Nur wenige der knapp vierzig in den Museen der Welt aufgefundenen Scheiben konnten in persönlichen Augenschein genommen werden. Doch von fünfundzwanzig Stücken wurden Abbildungen in Publikationen gefunden oder Fotografien angefertigt, entweder von Museumsmitarbeitern oder von Bürgerwissenschaftlern (Viney et al. 2020). Neben einigen wenigen Bruchstücken handelt es sich zumeist um Querschnitte vom Stamm, selten fast kreisförmige, oft ovale Scheiben unterschiedlichen Durchmessers. Es fällt auf, dass einige Scheiben um das



**Abb. 3** | Abbildung auf Ersttagsbrief, Mitte: NMNH C38 (Washington, D.C.) **Abb. 4** | ex-Bally 3990 (Lausanne).

Mark herum eine deutliche Farbänderung aufweisen. Diese ist unterschiedlich ausgeprägt. Zum Teil ist sie fast unauffällig wie bei einem Exemplar aus der Smithsonian Institution, das 1974 auf zwei Ersttagsbriefen (OFDC) des U. S. Postal Office abgebildet wurde (Abb. 3). Es gibt aber auch Exemplare mit recht großen verfärbten Regionen wie die Scheibe aus Lausanne zeigt (Abb. 4). Beobachtet werden dunkelbraun gefärbte Bereiche oder gebleichte Bereiche mit dunklem Saum, die teilweise bläulich oder rötlich erscheinen. Außerdem liefern die untersuchten, meist angeschliffenen Stücke mehrfach Hinweise auf eine schlechtere Erhaltung der Holzanatomie, insbesondere in den dunklen Bereichen des Stammzentrums (Viney 2021).

Als eine Ursache für die Entstehung der Farbunterschiede in den Opalhölzern vom Clover Creek könnte die ursprünglich unterschiedliche Färbung des Kern- und Splintholzes angenommen werden, wie sie von rezenten Eichen bekannt ist. Aber dass sich der höhere Gehalt an Phenolen, Lignanen und Flavonoiden im Kernholz auf die Farbe des im Zuge der Fossilisation sich bildenden Opals auswirkt, ist zumindest bislang nicht nachgewiesen. Mustoe & Acosta (2016) nennen als Ursache für die Entstehung von Farben bis hin zu komplexen Farbmustern in fossilen Hölzern Spurenelemente wie beispielweise Eisen und Chrom in verschiedenen Oxidationszuständen im Zusammenspiel mit der Permeabilität der Holzstruktur in longitudinaler und radialer Richtung, die sich im Laufe verschiedener Episoden der Silifizierung verändern kann. Dabei betrachten sie nicht nur einfache Diffusionsvorgänge, sondern auch eine mögliche Separation beim Stofftransport durch den Chromatographie-Effekt der Zellulose sowie eine nachträgliche Entfärbung durch Infiltration von Bodenwässern. Die häufig beobachtete Begrenzung gebleichter Gebiete durch einen dunklen Saum bringen sie auch mit pilzlichem Holzerfall in Zusammenhang. Dunkelbraune Demarkationslinien in fossilem Holz wurden auch von Rößler et al. (2021) als Muster interpretiert, die in Gewebeschäden ihre Ursache haben, die zu Lebzeiten des Baumes entstanden sind.

Neben dem oft vorhandenen Saum fällt an verschiedenen Clover-Creek-Stücken auf, dass der Bereich der Farbänderung nicht rund, sondern immer asymmetrisch ist. Neben dem eindrucksvollen Beispiel aus Lausanne (Abb. 4) sei auf Tabelle 1 verwiesen. In dieser Tabelle wurden Sammlungsexemplare aufgelistet und durch eine rote Markierung gekennzeichnet, wenn sie relativ große, farblich veränderte Bereiche aufweisen. Existenz, Größe und Form solcher Bereiche wurde in der letzten Spalte beschrieben. Besonders interessant sind zwei Stücke, die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt sind. Sie weisen mit mehr als 30 cm die größten Durchmesser auf, weil beide Stücke jeweils zwei Markzentren mit darum befindlichen Kernen besitzen. Es sind Zwiesel. Beim Stück ex-Bally 10424 aus Lausanne befindet sich im Inneren ein größerer Spalt, der ebenfalls andeutet, dass bereits vor der Fossilisation ein Teil des Gewebes zerstört war. An der Freiburger Scheibe FG 558/97 gibt es eine Einbuchtung an der Trennstelle und auffällig große Bereiche mit dunkelbraunen Farbveränderungen um die beiden Zentren. Anhand einer hochaufgelösten Fotografie diagnostizierte Blanchette (2018) hier deutliche Hinweise auf Weißfäule. Die Aktivität von Pilzen an fossilen Gefäßpflanzen verschiedener Gattungen und Erdzeitalter wurde mehrfach untersucht und publiziert, so z. B. bei Stubblefield & Taylor (1986), Creber & Ash (1990), Pujana et al. (2009), Taylor et



al. (2015), Harper et al. (2018) und Ruiz et al. (2020). Im Mittelpunkt des Interesses standen dabei vor allem die Ausbildung von Pilzhypen und die von ihnen verursachten, mikroskopisch erkennbaren Schäden. Selten werden dagegen makroskopische Veränderungen diskutiert (Creber & Ash 1990).

Bei den in den Abb. 3–6 dargestellten Exemplaren der fossilen Eiche vom Clover Creek (Idaho) erinnert die Form der Bereiche mit abweichender Farbe deutlich an solche Flächen und deren Begrenzung, wie sie bei der Abschottung von Fäulnisregern durch die Ausbildung von Schutzwall 2 und 3 nach dem CODIT-Modell entstehen. Die in Tabelle 1, Spalte 4 beschriebenen Bereiche können so als Bereiche mit hypothetischer Kernfäule angesehen werden. Dass die Bereiche veränderter Farbe umso kleiner sind, je geringer der Durchmesser des fossilen Stammes ist, würde zu der Beobachtung passen, dass die Ausbreitung der Kernfäule im Stamm nach und nach in Richtung Krone erfolgt. Bei der fossilen Eiche vom Clover Creek trat sie also schon während der Lebens- und Wachstumszeit des Baumes auf.

**Tabelle 1** | Visuelle Beurteilung der Sammlungsstücke Holzopal, Clover Creek, Idaho

Museum	Katalog-Nummer	Größe der Hauptachsen in cm	Beschreibung der verfärbten Region / Anmerkung
Natural History Museum (British Museum) London	BM81433	unbekannt	Klein, rund, dunkelbraun
	BM1905.51	28x25	Ohne Abbildung
	BM1927.27	7x7	Ohne Abbildung
	BM1985, MI9058,	„Zweig“	Ohne Abbildung
	BM1985, Lin19431	unbekannt	Ohne Abbildung
Academy of Natural Sciences of Drexel University Philadelphia	17130	24x12	Zerfaserte Grenze, dunkel / helle Astspur
	17131	24x19	Zerfaserte Grenze, dunkel / dunkle Astspur
Museum für Naturkunde Chemnitz	9 Dünnschliffe		Thyllen (sichtbar im Mikroskop)
	vermisst	14,5x9	Ohne Abbildung
	vermisst	23x15	Ohne Abbildung
Technische Universität Bergakademie Freiberg	MiSa 8871	13x9	Keine / Löcher in Marknähe
	FG 558/97	Zwiesel 36x33	Zwei große Regionen, hell und dunkel, z. T. rosa
Museums Victoria Sydney	M1595	unbekannt	Keine / helle Astspur
Naturhistorisches Museum Wien	G7505	11x6	Keine
American Museum of Natural History New York	AMNH 32500	unbekannt	Sehr groß, birnenförmig, hell
	AMNH 32501	13x11,5	Klein, oval, dunkel / drei dunkle Astspuren
Field Museum Chicago	FMNH M6070	18x6	Klein, zerfaserte Grenze, dunkel
	FMNH M 9818	25x23	Sehr groß, hell bis bläulich
	FMHN 619746	24x24x37	Ohne Abbildung
Smithsonian Institution Washington, D.C.	82584 U.S.N.M.	Keine Angabe	Klein, fast rund, dunkel
	NMNH 84401	Keine Angabe	Trapezförmig, mittelgroß, rötlich / dunkle Astspur
	NMNH 53091	Keine Angabe	Ohne Abbildung
	NMNH 84709	Keine Angabe	Ohne Abbildung
	NMNH C38	Keine Angabe	Klein, eckig, dunkel
	NMNH C2917	Keine Angabe	Ohne Abbildung

Museum	Katalog-Nummer	Größe der Hauptachsen in cm	Beschreibung der verfärbten Region / Anmerkung
Musée cantonal de géologie Lausanne	ex-Bally 2304	12x6,4	Keine
	ex-Bally 3990	26x19	Ausgeprägt trapezförmig, bläulich
	ex-Bally 10424	Zwiesel 34x30	Zwei große, dreieckige Regionen, dunkel
Colorado School of Mines Geology Museum Golden (Colorado)	TM 81.151	23x19	Oval, sehr groß, fünfeckig, hell und bläulich
	TM 3513	9x4	Keine / ohne Markbereich
	TM 8388	15x12,5	Minimal, dunkel / Mark nicht zentrisch, Astspur
Statens Naturhistoriske Museum Kopenhagen	1908.73	20x15	Mittelgroß, dunkel / helle Astspur
	1904.1384	8x4,5	Keine
Royal Ontario Museum Toronto	ROM 455	27x14	Sehr klein, zerfasert, dunkel
Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden	Min 1514BaS (MMG)	10,5x6	Ohne Mark
Naturhistorisches Museum Bern	MNBE 5340	Teilstück	Ohne Mark
Fersman Mineralogical Museum Moskau	FM 12682	8x4	Ohne Mark / deutliche Astspur
	FM 12681	8x4	Ohne Mark
Virginia Department of Mines, Minerals and Energy Charlottesville	DMME:MB2690	Bruchstück	Keine

Zur Hypothese von Weißfäule während des Wachstums des Stammes passt auch die Verfärbung von Astspuren an verschiedenen Stücken von *Quercinium pliocaenicum* bei Anwendung des CODIT-Modells. Auch führt der Vergleich der Holzfasern in der Umgebung der Astspuren der beiden großen Stücke aus Freiberg und Lausanne mit dem Bruchstück FM 12682 aus Moskau zu der Vermutung, dass dieses ebenfalls zum unteren Abschnitt des Stammes gehörte (Abb. 7 a–c).

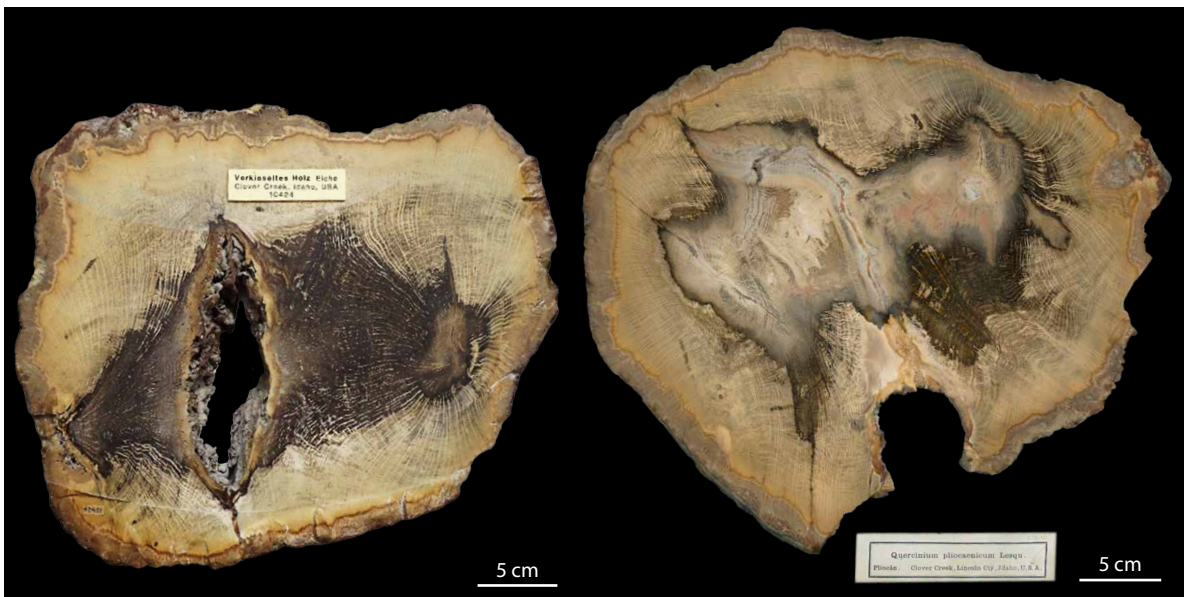


Abb. 5 | ex-Bally 10424 (Lausanne).

Abb. 6 | FG 558/97 (Freiberg).





Abb. 7 | Auftreten von Astspuren **a** Ausschnitt von Abb. 5, **b** FM 12682 (Moskau), **c** Ausschnitt von Abb. 6.

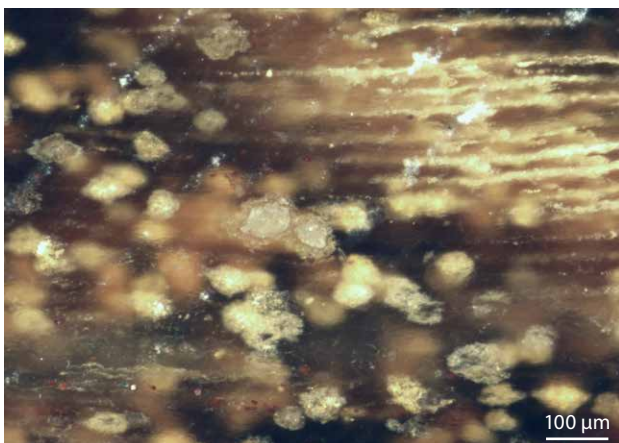
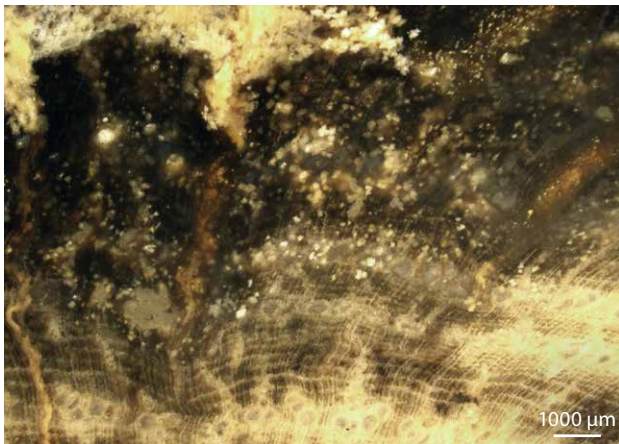


Abb. 8 | Zwieselbaum eines Spitzahorns (*Acer platanoides*), der wegen der Vorschädigung durch Pilzbefall (s. dunkle Farbänderung) bei einem Sturmereignis teilweise umgebrochen ist.



## Element-Analyse am Freiburger Stück FG 558/97

Eine detaillierte Untersuchung des Freiburger Stücks zeigt, dass sowohl die verholzten Anteile des Gewebes wie Tracheen und Tracheiden, als auch unverholzte wie Parenchymstrahlen starke Zersetzungs- bis Auflösungserscheinungen zeigen (Abb. 9), welche vor der Einkieselung zu datieren sind. Meist sind die dunkel verfärbten Bereiche des Kieselholzes von transparentem Opal erfüllt, ohne identifizierbare Zellstrukturen überliefert zu haben. Um die an den Hölzern vorhandenen dunklen Verfärbungen hinsichtlich organismenbedingter chemischer Veränderungen zu prüfen, wurde das Freiburger Stück FG 558/97 (Abb. 10a) unter mikro-Röntgenfluoreszenz (M4 Tornado, Bruker Nano GmbH, Deutschland) untersucht. Die 13-Stunden-Messung erfolgte mittels eines



30-W-Mikrofokus-Rhodium-Rohres als Röntgenquelle und einer Hochspannung von 50 KV sowie einem Anoden-Strom von 600  $\mu\text{A}$  in einer Kammer bei 2 mbar. Dabei wurde ein quadratisches Feld von 10 mm x 58 mm untersucht (Abb. 10b), das den Übergang von hellem, gut erhaltenem Opalholz zu dunklem, schlecht erhaltenem Opalholz zeigt und die durch einen Riss gekennzeichnete Mitte des Zwieselstammes einschließt. Die Ergebnisse lassen sporadisch lokale Anreicherungen von Verbindungen des Aluminiums, Eisens, Kaliums, Kalziums, Mangans und Zinks erkennen (Abb. 11). Die Eisen-Anreicherungen sind bereits im Übersichtsbild durch eine rotbraune Farbe erkennbar und zeichnen insbesondere den o. g. Riss im Stammzentrum nach (Abb. 10a). Sämtliche Anreicherungen kommen entweder in der Nähe von Rissen oder in unregelmäßig umgrenzten, helleren Teilen des dunkel verfärbten Kieselholzes vor, die innerhalb der radial im Holz verlaufenden, bei Eichen besonders breiten Markstrahlen liegen, jedoch offensichtlich nicht an die  $\text{SiO}_2$ -Matrix gebunden sind (Abb. 10c). Daher führen wir die Anreicherungen von Metallionen auf Vorgänge während oder nach der Fossilisation zurück. Der mutmaßlich pilzliche Holzabbau vor der Fossilisation lässt sich daher nur durch den stärkeren Zersetzungsgrad des Holzes unter dem Auflichtmikroskop belegen. Während die Zellstrukturen in den dunklen Bereichen nahezu ausgelöscht erscheinen, sind in der dunklen Opalmatrix zunehmend mikroskopische Quarzkristall-Aggregate erkennbar (Abb. 9a, b).

**Abb. 9a** | Opalisierte Eiche im Querschnitt. Übergang vom gut erhaltenen Holz (unten) zu einer dunklen Zone mit schlecht erhaltenen Zellstrukturen und Quarzkristall-Aggregaten (mitte-oben), BAF 558/97.

**Abb. 9b** | Detail aus Abb. 9a.

**Abb. 9c** | Detail mit reliktscher Zellerhaltung und Quarzkristall-Aggregaten. BAF 558/97.



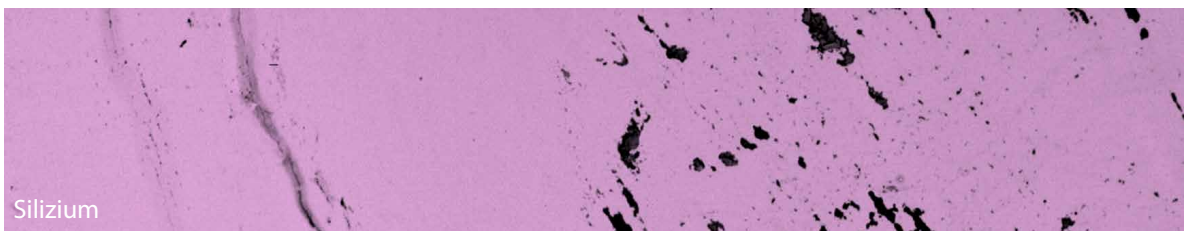


Abb. 10a | Opalisierte Eiche aus Idaho, USA, Freiburger Stück BAF 558/97.

Abb. 10b | Analyse-Ausschnitt für die mikro-Röntgenfluoreszenz-Untersuchung.

Abb. 10c | Silizium-Mapping des in 10a umrissenen Analyse-Ausschnitts.



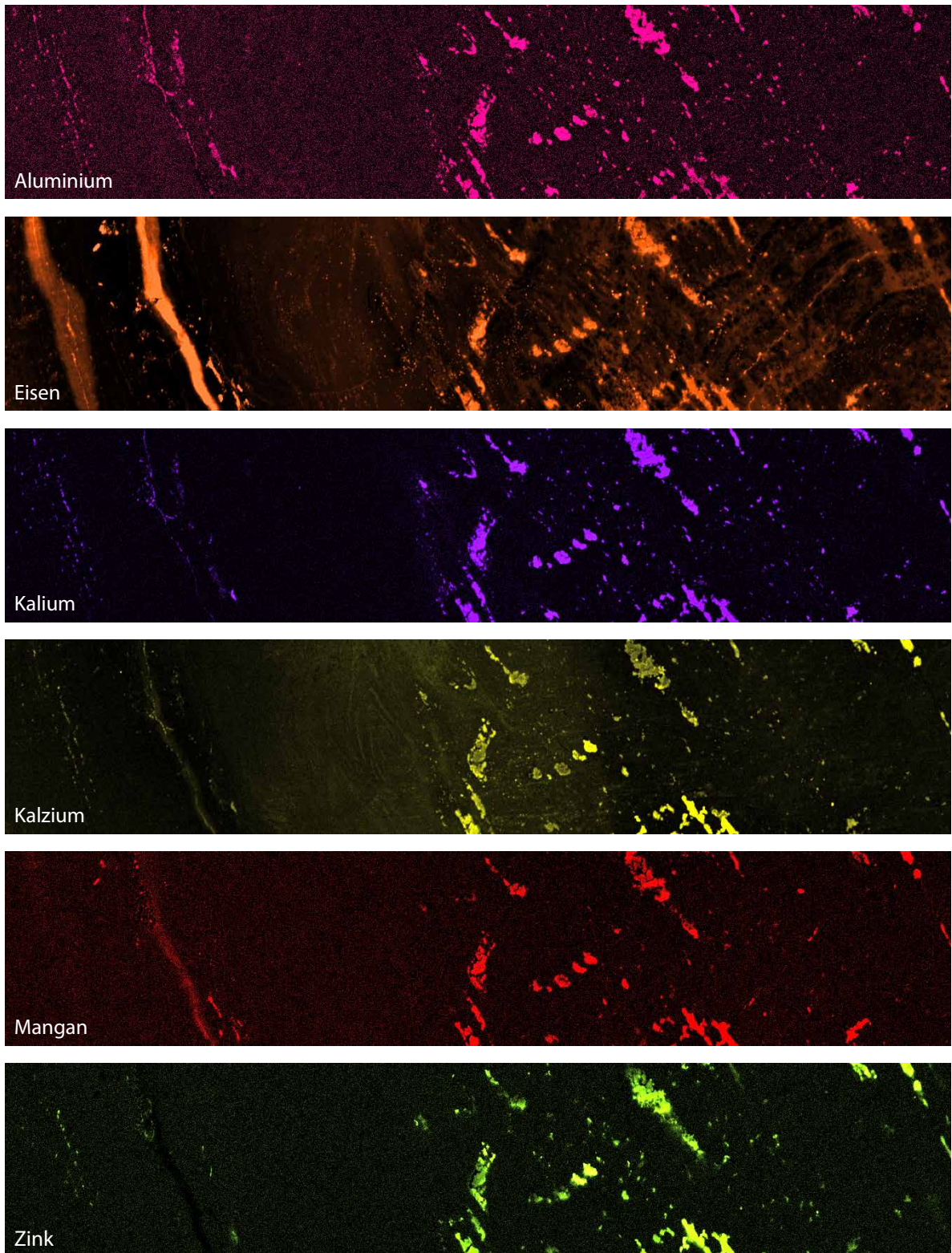


Abb. 11 | Element-Mappings des in Abb. 10a umrissenen Analyse-Ausschnitts.

Im Ergebnis der Untersuchung von Tangentialschliffen erwähnt Schuster (1908) Kalziumoxalatkristalle in den Zellen der primären Markstrahlen. Die uns vorliegenden mikro-Röntgenfluoreszenz-Daten zeigen zwar mikroskopisch kleine Kalziumspots (Abb. 11), die sich mit  $\text{SiO}_2$  ausschließen (Abb. 10c). Dennoch standen uns für die Untersuchungen keine Tangentialschliffe der dunklen Holzbereiche zur Verfügung, so dass wir Schuster's Beobachtung nicht verifizieren können.

## Fazit

Das Auftreten von farblich veränderten Flächen im sonst goldfarbenen Holzopal führte zur Hypothese, dass die Clover-Creek-Eiche aus dem Pliozän von Weißfäule-Pilzen besiedelt wurde. Deren Metabolismus hätte den ursprünglich vorhandenen Ligningehalt an solchen Stellen im Holz verringert. Auswirkungen des Ligningehalts auf die Verkieselung von Holz sind bekannt. So zeigen Untersuchungen zur Verwendung von Holz als Templat bei der Herstellung poröser Keramikkörper (Dietrich et al. 2015), dass die vollständige Entfernung des Lignins für die Nachbildung der Struktur der Cellulose-Fibrillen durch Siliziumdioxid unabdingbar ist (Van Opdenbosch et al. 2011). Auch werden bei der natürlichen Verkieselung die Einflüsse veränderter Durchlässigkeit für siliziumhaltige Fluida und veränderte pH-Werte diskutiert, wenn nach Ursachen für unterschiedliche Farben und Erhaltungszustände petrifizierter und permineralisierter Hölzer gesucht wird (z. B. Mustoe & Acosta 2016, Creber & Ash 1990, Rößler et al. 2021). Ein Beleg, dass durch den pilzlichen Stoffwechsel Lignin im Clover-Creek-Fossil bevorzugt abgebaut wurde, könnte beim Verständnis des noch immer nicht gänzlich geklärten Prozesses der Holzversteinung helfen. Interessanterweise gibt es sogar Versuche, den Gehalt an Lignin und Zellulose innerhalb der sekundären Zellwände fossilen Holzes zu messen (Boyce et al. 2002). Allerdings sind solche Untersuchungen sehr aufwändig.

Die zur Verfügung stehenden, historischen Dünnschliffe wurden auf Spuren pilzlicher Mikroorganismen untersucht. Während die Tracheen des Frühholzes zahlreich mit parenchymatischen Thyllen verschlossen sind, konnten bislang keine Anzeichen für Pilze nachgewiesen werden. Allerdings werden die Dünnschliffe auch vor über 100 Jahren nur von den besten Stücken Opalholz angefertigt worden sein und nicht von den schlechter erhaltenen, dunklen Partien der Stämme. Andererseits dürfte die schlechte Erhaltung der Organik in den dunklen Partien die Erkennung pilzlicher Mikroorganismen selbst dann ausschließen, wenn diese ursächlich für die dunkle Farbe verantwortlich waren.

Die mittels mikro-RFA festgestellten Anreicherungen verschiedener Metallionen schreiben wir den Vorgängen während und nach der Fossilisation zu.

## Dank

Für die Ausleihe von Sammlungsmaterial danken wir Dr. Birgit Gaitzsch, TU Bergakademie Freiberg. Die Durchführung der mikro-RFA-Untersuchungen wurde im Rahmen der Kooperationsbeziehungen zum Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie ermöglicht. Dafür danken wir Dr. Marius Kern. Prof. Dr. Michael Krings, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie München, übernahm die Durchsicht historischer Dünnschliffe auf Spuren pilzlicher Mikroorganismen. Evgeniy Potievsky danken wir für den Scan von Abbildung 10a und seine professionelle Geduld bei der Layouterstellung.

## Literatur

- Barrón, E.; Averyanova, A.; Kvaček, Z.; Momohara, A.; Pigg, K. B.; Popova, S.; Postigo-Mijarra, J. M.; Tiffney, B. H.; Utescher, T. & Zhou, Z. K. (2017): The Fossil History of *Quercus*. – In: Gil-Pelegrín, E. et al. (Hrsg.): Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus *Quercus* L., *Tree Physiology*, **7**: 39–105, doi.org/10.1007/978-3-319-69099-5\_3.
- Blanchette, R. A. (1991): Delignification by wood-decay fungi. – *Annual Rev. Phytopathol.*, **29**: 381–98, doi: 10.1146/annurev.py.29.090191.002121.
- Blanchette, R.A.; persönliche Mitteilung an DD 2018.
- Boyce, C. K.; Cody, G. C.; Feser, M.; Jacobsen, C.; Knoll, A. H. & Wirick, S. (2002): Organic chemical differentiation



- within fossil plant cell walls detected with X-ray spectromicroscopy. – *Geology*, **30** (11): 1039–1042.
- Creber, G. T. & Ash, S. R. (1990): Evidence of widespread fungal attack on Upper Triassic trees in the southwestern U.S.A. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **63**: 189–195.
- Dietrich, D.; Viney, M. & Lampke, T. (2015): Petrifications and wood-templated ceramics: Comparisons between natural and artificial silicification. – *IAWA Journal*, **36** (2): 167–185. doi:10.1163/22941932-00000094.
- Floudas, D. & 70 andere (2012): The Paleozoic Origin of Enzymatic Lignin Decomposition Reconstructed from 31 Fungal Genomes. – *Science*, **336** (6089): 1715–1719, doi:10.1126/science.1221748.
- Goodell, B.; Winandy J. E. & Morrell, J. J. (2020): Fungal Degradation of Wood: Emerging Data, New Insights and Changing Perceptions. – *Coatings*, **10**: 1210, doi:10.3390/coatings10121210.
- Harper, C. J.; Galtier, J.; Taylor, T. N.; Taylor, E. L.; Rößler, R. & Krings, M. (2018): Distribution of fungi in a Triassic fern stem. *Earth Environ. Sci. Trans. R. Soc. Edinburgh*, **108** (4): 1–12, doi:10.1017/S175569101800021X.
- Krah, F.-S.; Bässler, C.; Heibl, C.; Soghigian, J.; Schaefer, H. & Hibbet, D. S. (2018): Evolutionary dynamics of host specialization in wood-decay fungi. – *BMC Evol. Biol.*, **18**: article 119, doi:10.1186/s12862-018-1229-7.
- Mustoe, G. & Acosta, M. (2016): Origin of Petrified Wood Color. – *Geosciences*, **6**: 25 pp, doi:10.3390/geosciences6020025.
- Pujana, R. R.; García Massini, J. L.; Brizuela, R. R. & Burrieza, H. B. (2009): Evidence of fungal activity in silicified gymnosperm wood from the Eocene of southern Patagonia (Argentina). – *Geobios*, **42**: 639–647.
- Rößler, R.; Trümper S.; Noll, R.; Hellwig, A. & Niemirowska, S. (2021): Wood shrinkage during fossilisation and its significance for studying deep-time lignophytes. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **292** (2021) 104455, <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104455>.
- Rosenthal, M. & Bäucker, E. (2013): Zur Anatomie des Holzes der Weiß-Eichen. – *Holz-Zentralblatt*, **139** (11): 278–282.
- Ruiz, D. P.; García Massini, J. L.; Martínez, L. C. A. (2020): Fungal record in a legume wood from the Chiquimil Formation (Upper Miocene), Catamarca, Argentina. – *Ameghiniana* **57**: 1–8. doi:10.5710/AMGH.31.12.2019.3163.
- Schuster, J. (1908): Über ein pliocänes Eichenholz aus Idaho. – *Neue Jahrb. Mineral. Geol. Pal.*, **2**: 49–54.
- Shigo, A. L. & Marx, H. G. (1977): Compartmentalization of Decay in Trees. – *Agric. Inf. Bull.*, **405**: 73 S.; Washington, DC, U.S. (Department of Agriculture, Forest Service).
- Stubblefield, S. P. & Taylor, T. N. (1986): Wood decay in silicified gymnosperms from Antarctica. – *Bot. Gaz.*, **147** (1): 116–125.
- Taylor, T. N.; Krings, M. & Taylor, E. L. (2015): *Fossil Fungi*. 382 S.; Amsterdam u. a. (Academic Press, Elsevier).
- Van Opendenbosch, D.; Fritz-Popovski, G.; Paris, O. & Zollfrank, C. (2011): Silica replication of the hierarchical structure of wood with nanometer precision. – *J. Mat. Research*, **26** (10): 1193–1202, doi: 10.1557/jmr.2011.98.
- Viney, M.; Mills, J. & Link, P. (2016a): Opalized Wood from Clover Creek, Gooding County, Idaho. – *Rocks & Minerals*, **91** (3): 258–268, doi:10.1080/00357529.2016.1138429
- Viney, M.; Dietrich, D.; Mustoe, G.; Link, P.; Lampke, T.; Götze, J. & Rößler, R. (2016b): Multi-Stage Silicification of Pliocene Wood: Re-Examination of an 1895 Discovery from Idaho, USA. – *Geosciences*, **6** (2): 21 pp.; doi:10.3390/geosciences6020021.
- Viney, M.; Dietrich, D. & Mills, J. (2020): An opalized oak from Clover Creek, Lincoln County, Idaho c.1895: The provenance and collecting history of *Quercinium pliocaenicum*. – *J. Hist. Coll.*, **32** (2): 353–368, doi:10.1093/jhc/fhz007.
- Viney, M.; personal communication: "The best preserved areas are in the golden area of the specimen at the School of Mines, while the inner brown area has preservation that is not as good."

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Veröffentlichungen des Museums für Naturkunde Chemnitz](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Dietrich Dagmar, Viney Mike, Mills Jim, Verdugo Andrés, Rößler Ronny

Artikel/Article: [Ein fossiler Eichenholzstamm mit Kernfäule? 141-152](#)