



Silica-Modifikationen in früh-permischen verkieselten Hölzern unterschiedlicher Vorkommen

Dagmar Dietrich, Steffen Trümper, Thomas Lampke & Ronny Rößler, Chemnitz

Kurzfassung

Die Silifizierung permineralisierter und petrifizierter fossiler Pflanzen (*Psaronius*, *Agathoxylon*) aus dem frühen Perm Mitteleuropas wurde mittels Rückstreuелеlektronenbeugung am Rasterelektronenmikroskop (EBSD) hinsichtlich der Bildung von Chalzedon und Quarz untersucht. Die Proben stammen aus unterschiedlichen vulkanischen und sedimentären Ablagerungsmilieus, wie z. B. Asche-, Glutwolken- und Schlammstrom-Ablagerungen sowie fluviolakustrinen Sedimenten. In Zuge der Silifizierung der verschiedenen Gewebe entstand zumeist kryptokristalliner Quarz. In einigen Fällen unterlagen die pflanzlichen Gewebe vor der Silifizierung dem Einfluss der Lebens-tätigkeit von Mikroarthropoden oder mutmaßlicher Holzfäule, was sich auch in unterschiedlicher Kristallinität sowohl bei Chalzedon als auch bei α -Quarz widerspiegelt.

Abstract

Applying electron backscatter diffraction (EBSD), the silicification of both permineralised and petrified fossil plants was investigated. This study focuses on *Psaronius* tree ferns and *Agathoxylon* gymnosperms, which originate from different preservational settings of both pyroclastic and epiclastic environments. Among them are samples buried during ash falls, pyroclastic density currents and lahars or epiclastic sediments from the early Permian of central Europe. The silicification of different tissues mostly resulted in cryptocrystalline quartz. However, in some cases, plant tissues previously underwent certain degradation by microarthropods or putative rot, which influenced the resulting crystallinity of both chalcedony and α -quartz.

Einleitung

Kieselhölzer sind nicht nur wegen ihrer Attraktivität weltweit beliebte Sammelobjekte (Dernbach 1996). Die ihnen eigene Überlieferung sowohl biologischer als auch geologischer Details macht sie zu besonders aussagekräftigen Sachzeugen der Erd- und Lebensgeschichte (Trümper et al. 2020). Eine gute Zellerhaltung der pflanzlichen Gewebe sichert die systematische Einordnung der Funde und gestattet oftmals weitere Erkenntnisse zu den ökologischen und klimatischen Verhältnissen des ehemaligen Lebensraumes (Luthardt & Rößler 2017). Darüber hinaus geben die in Kieselhölzern nachgewiesenen SiO_2 -Modifikationen Einblicke in den Verlauf und die geologischen Randbedingungen eines vielfältigen, aber oft fundortspezifischen Fossilisationsgeschehens. Im SiO_2 als Hauptbestandteil der Kieselhölzer treten neben α -Quarz auch kryptokristalline Formen wie Chalzedon oder Moganit und selbst nach geologisch längeren Zeiträumen von Jahrmillionen optisch isotroper Opal auf (Dietrich et al. 2012). Mitunter sind sogar enge Beziehungen der Mineralabscheidung und des Aufbaus der beteiligten Pflanzenzellen nachweisbar (Dietrich et al. 2013). In anderen Fällen sind es Gitterstörungen oder Fremdionen im kristallinen SiO_2 , die zur Erhellung des Silifizierungsprozesses beitragen (Trümper et al. 2018).

Wegen des Zusammenhangs zwischen verbesserten Überlieferungschancen und zunehmender vulkanischer Aktivität im Ablagerungsmilieu werden Kieselhölzer und fossilführende Hornsteine in Ablagerungen des frühen Perms besonders häufig gefunden (Barthel & Rößler 2012). Obwohl bedeutende Fundstellen in Zentraleuropa seit mehr als drei Jahrhunderten bekannt sind, wurden die aus unterschiedlichen geologischen Konservierungs-

Anschriften der Autoren

Dr. Dagmar Dietrich und Prof. Dr. Thomas Lampke: TU Chemnitz, Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik, 09107 Chemnitz

E-Mails: dagmar.dietrich@idd-chemnitz.de, thomas.lampke@mb.tu-chemnitz.de

Steffen Trümper und Prof. Dr. Ronny Rößler: Museum für Naturkunde Chemnitz, Moritzstraße 20, 09111 Chemnitz,

E-Mails: steffen.truemper@hotmail.de, roessler@naturkunde-chemnitz.de

bedingungen resultierenden fundorttypischen taphonomischen Charakteristika noch wenig untersucht (Trümper et al. 2018, Dietrich et al. 2011, Galtier et al. 2011, Barthel et al. 2010, Feng et al. 2015, Timpe 2010, Noll et al. 2003, Rößler et al. 2014). Der vorliegende Beitrag soll helfen, fundort- und fundschichtspezifische Silifizierungsvorgänge von Kieselhölzern mittels Rückstreuelektronenbeugung am Rasterelektronenmikroskop (EBSD) zu charakterisieren und besser zu verstehen. Folgende Fundstellen und Belege werden dafür näher untersucht:

Chemnitz, Flöha, Wendishain, Kohren-Sahlis und Obergräfenhain (Zentral- und NW-Sachsen), wo an Ort und Stelle die Bedeckung und nachfolgende Konservierung durch pyroklastische Ablagerungen (heiße natürliche Feststoff-Gas-Dispersionen) infolge explosiver vulkanischer Eruptionen erfolgte; Perdasdefogu (Sardinien), Autun (Zentralmassiv Frankreich) und Freital (Döhlen-Becken), wo der direkte oder indirekte Einfluss vulkanosedimentärer Prozesse die Fossilisation und Erhaltung von Hölzern verursachte oder begünstigte; Manebach (Thüringer Wald), wo durch das Wachstum und die Ablagerung der Hölzer in Flusslandschaften mit Mooren und Seen vor der Silifizierung eine zumindest teilweise Ummantelung mit Stromatolithen hinzukam; Winnweiler (Rheinland-Pfalz), wo Transport, Ablagerung und Einbettung durch alluviale und fluviatile Prozesse stattfanden und die Sedimente einen hohen Anteil vulkanischer Komponenten aufweisen.

Eine grundlegende Unterscheidung der Kieselhölzer beruht auf der Erhaltung organischer Substanz. Während die Zellwände permineralisierter Hölzer¹ noch als organische Reste wie z. B. unterschiedlich hoch inkohlter Kohlenstoff überliefert und nur die Zellinnenräume silifiziert sind, bestehen petrifizierte Hölzer¹ nahezu vollständig aus mineralischen Substanzen, die sowohl Lumina und Wände der Zellen inkrustiert und schließlich ersetzt haben (Taylor et al. 2009: 1042). Die vorliegende Studie untersucht die Konservierung der aus unterschiedlichen Ablagerungsmilieus ausgewählten repräsentativen Kieselhölzer mit besonderem Fokus auf die Kristallinität der entstandenen SiO₂-Polymorphe.

Material

Aus den o. g. Vorkommen versteinerner Hölzer standen folgende Proben zur Untersuchung zur Verfügung:

- *Psaronius* sp., Baumfarn (sog. Starstein), Chemnitz-Hilbersdorf, Leukersdorf-Formation, Museum für Naturkunde Chemnitz, K102
- *Psaronius* sp. in einem Hornstein, Perda Pilia, Perdasdefogu-Formation, Sardinien, Museum für Naturkunde Chemnitz, F15372
- *Psaronius* sp. mit Kopolithen in Mikroarthropoden-Fraßgängen, Manebach, Thüringen, Ilm-Schotter mit aufgearbeiteten Geröllen aus der Manebach-Formation, Museum für Naturkunde Chemnitz, K6266ab
- *Agathoxylon* sp., Gymnospermenholz in Stromatolith, Manebach, Thüringen, Manebach-Formation, Museum für Naturkunde Berlin, 2009/297
- *Agathoxylon* sp., Gymnospermenholz mit Block-Riss-Struktur, Winnweiler, Saar-Nahe-Becken, Donnersberg-Formation, coll. Robert Noll, Tiefenthal, Museum für Naturkunde Chemnitz, K7516.

Methoden

Polierte Schliffe, d. h. einfache Querschliffe oder nicht abgedeckte Dünnschliffe, wurden durch Bedampfung mit einer leitenden Kohlenstoffschicht versehen und im Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop REM Neon 40 (ZEISS) untersucht. Das Gerät verfügt über ein energiedispersives Röntgenspektrometer zur lokalen Elementanalyse und eine Kamera zur Aufnahme von Rückstreuelektronen-Beugungsbildern (EDAX TSL).

Aufgenommen wurden REM-Bilder mit dem Rückstreuelektronendetektor. Solche Abbildungen zeigen einerseits Materialkontrast, d. h. je höher die mittlere Ordnungszahl der abgebildeten Verbindung, desto heller erscheint das Bilddetail. Eisenminerale sind beispielsweise besonders hell. Das Siliziumdioxid der weitgehend petrifizierten Proben erscheint grau, und dunkler grau, je mehr Poren oder Kohlenstoff darin eingeschlossen sind. Andererseits zeigen Rückstreuelektronenbilder auch Orientierungskontrast, d.h. gutausgebildete Quarzkristalle zeigen unterschiedliche Grauwerte in Abhängigkeit von ihrer kristallinen Orientierung zum einfallenden Elektronenstrahl.

An kristallinen Bestandteilen der Proben erfährt der kohärente Anteil der rückgestreuten Elektronen eine Beu-

¹ Bei Verwendung der Sammelbezeichnung „Hölzer“ sehen wir hier davon ab, dass Farne wie z. B. *Psaronius* im botanischen Sinne keine Hölzer darstellen.

gung. Nimmt man von einem interessierenden Gebiet Punkt für Punkt das entstandene Beugungsmuster auf, lassen sich aus dem Datensatz Karten berechnen. Diese Technik wird nach dem Englischen „Electron Backscatter Diffraction“ auch im Deutschen mit EBSD-Technik bezeichnet. Nimmt man zur Auswertung nur die Erkennbarkeit des Beugungsmusters an den jeweils erfassten Messpunkten einer Probe, erhält man eine EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte, auf der alle kristallinen Gebiete (Quarz- bzw. andere Kristalle) hell dargestellt werden. Die Auswertung (Indizierung) der Beugungsmuster ergibt eine farbige EBSD-Kristall-Orientierungskarte. Die Farben werden entsprechend der Orientierung der Kristalle zugewiesen. Üblicherweise filtert man diese Karte dann so, dass nur mit einer gewissen Zuverlässigkeit (Konfidenz) ermittelte Kristallorientierungen angezeigt werden. Dabei ist die Konfidenz von der Güte der kristallinen Ordnung im Mineralkorn abhängig. Zu beachten ist außerdem die Größe des Informationsvolumens von einigen Zehn Nanometern, die den Nachweis von Quarz-Kristalliten mittels EBSD limitiert. Die durch Filterung entstandenen schwarzen Bereiche entsprechen dann kryptokristallinen SiO_2 -Modifikationen. Ungefiltert können EBSD-Kristall-Orientierungskarten dann einen Eindruck vermitteln, ob der oft als Zellfüllung vorkommende kryptokristalline Quarz eine Vorzugsorientierung aufweist.

Ergebnisse und Diskussion

Psaronius sp. von Chemnitz-Hilbersdorf

Abb. 1a–d stammen von einem *Psaronius* sp. von Chemnitz-Hilbersdorf mit guter Zellerhaltung des Wurzelmantels und Achatfüllung der Zellen. Die Tracheiden des Primärxylems sind von einigen μm großen Quarzkristallen umgeben und teils mit kryptokristallinem Quarz (Abb. 1c, d), teils mit Eisenoxiden gefüllt (Abb. 1b links). Einige der Leitbündel umgebenden Parenchymzellen enthalten kristallinen Quarz im Zentrum.

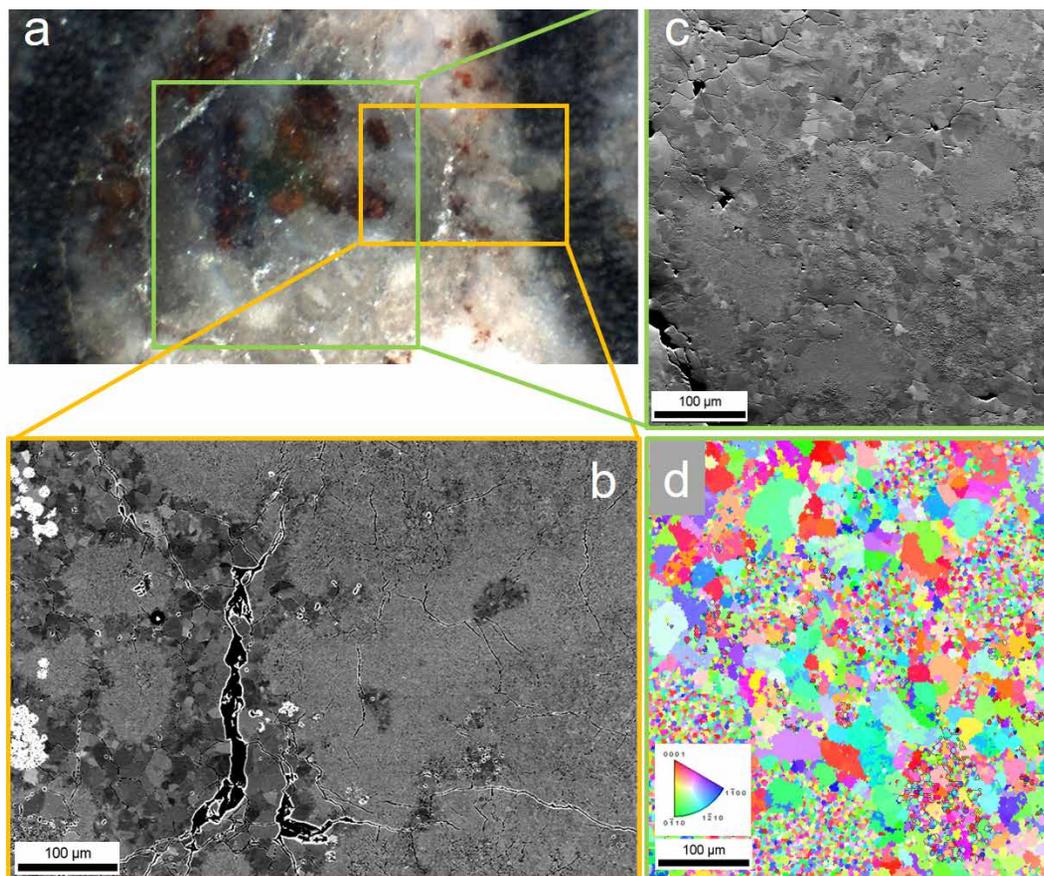


Abb. 1 | Luftwurzel eines *Psaronius* sp. aus Chemnitz-Hilbersdorf: **a** – Übersicht im Lichtmikroskop; **b** – gelb: REM-Bild von Teilen des Leitbündels, des umgebenden Parenchyms und der Sklerenchymscheide; **c** – grün: REM-Bild vom Zentrum des Leitbündels; **d** – EBSD-Kristall-Orientierungskarte zu c, ungefiltert.

Psaronius sp. von Perda Pilia

Die Probe zeigt das aerenchymatische Gewebe einer Luftwurzel von *Psaronius* sp. mit sehr guter, permineralisierter Zellerhaltung aus dem Perdasdefogu-Becken (Abb. 2a).

Ein dreidimensionales Netz von dünnwandigen Parenchym-Zellen mit dazwischen eingeschlossenen interzellularen Lufträumen bildet das Aerenchym. Die die Wurzel umschließende sclerenchymatische Rinde ist einige Zellen breit und besteht aus deutlich kleineren, polygonalen Zellen ohne Interzellularräume. Im Rückstreuerelektronenbild erkennt man die Zellen im Wesentlichen als dunkle Linien im Bereich der aneinandergrenzenden Zellwände, die die Umrisse der Zellen markieren (Abb. 2 b, c). Die Zentren einiger Parenchymzellen erscheinen strukturiert (Abb. 2c). In den EBSD-Karten ist zu erkennen, dass hier ähnlich wie beim Hilbersdorfer *Psaronius*, kristalliner Quarz vorhanden ist (Abb. 2 d, e). Gut erkennbar ist zudem die Füllung eines Risses zwischen Aerenchym und sclerenchymatischer Rinde durch eine sekundäre Bildung von kristallinem Quarz.

Bei höherer Vergrößerung im Rückstreu-Bild erkennt man, dass die Quarzkristalle in kryptokristallinem Quarz eingebettet sind, der halbkugelförmige Kristall-Aggregate, sog. Sphärolithe, bildet (Abb. 3 a). Der kryptokristalline Quarz ist porös. Im Bereich der Zellwände sind die Poren in besonders hoher Konzentration vorhanden und erzeugen durch die Aneinanderreihung schwarze Linien. Die winzigen Kriställchen im kryptokristallinen Quarz bilden Aggregate ähnlicher Orientierung (Abb. 3 b, c). Die Zentren einiger Parenchym-Zellen scheinen ebenso wie die Zellwände als Wachstumszentren von α -Quarz-Kristalliten höherer kristalliner Ordnung zu wirken.

Bei höherer Vergrößerung im Rückstreu-Bild erkennt man, dass die Quarzkristalle in kryptokristallinem Quarz eingebettet sind, der halbkugelförmige Kristall-Aggregate, sog. Sphärolithe, bildet (Abb. 3 a). Der kryptokristalline Quarz ist porös. Im Bereich der Zellwände sind die Poren in besonders hoher Konzentration vorhanden und erzeugen durch die Aneinanderreihung schwarze Linien. Die winzigen Kriställchen im kryptokristallinen Quarz bilden Aggregate ähnlicher Orientierung (Abb. 3 b, c). Die Zentren einiger Parenchym-Zellen scheinen ebenso wie die Zellwände als Wachstumszentren von α -Quarz-Kristalliten höherer kristalliner Ordnung zu wirken.

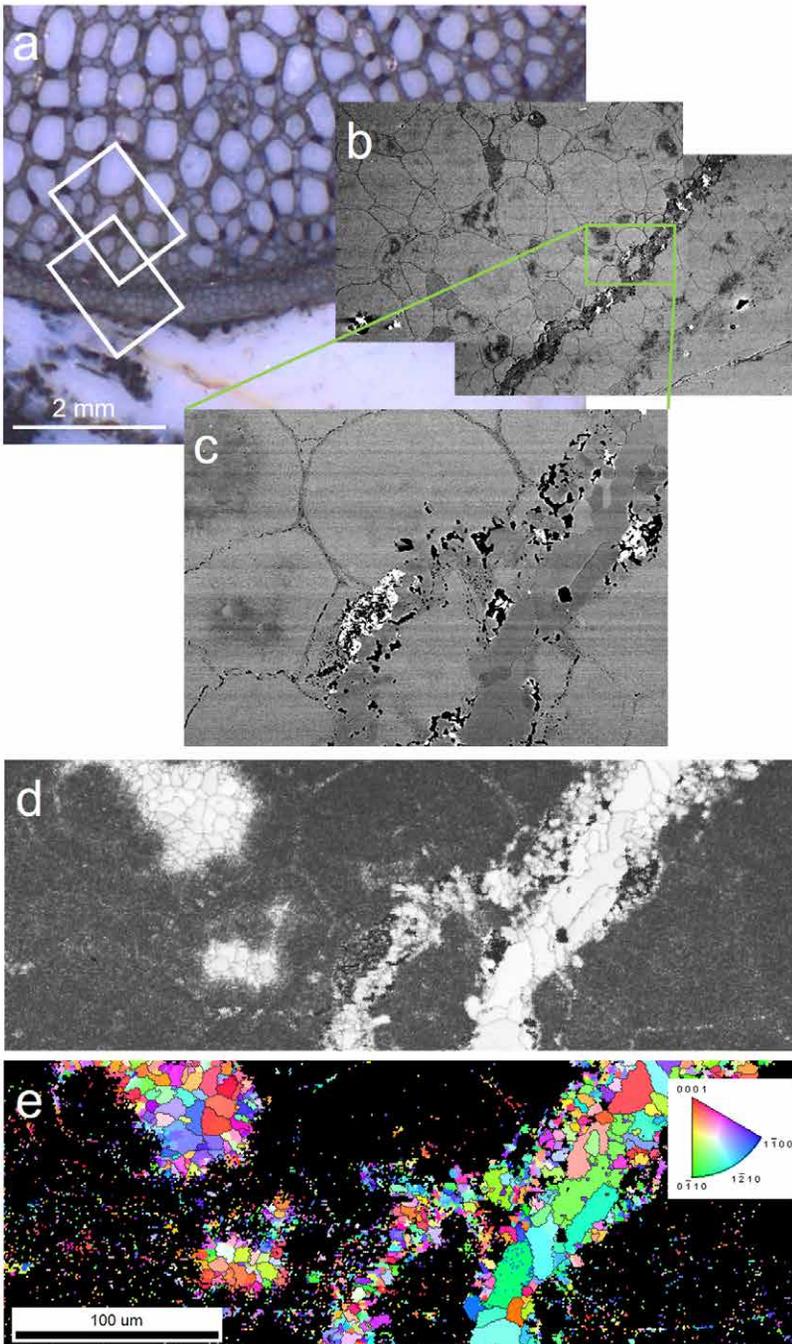


Abb. 2 Aerenchym eines *Psaronius* aus Perda Pilia; **a** – Lichtmikroskopische Übersicht; **b** – Rasterelektronenmikroskopische Übersicht der Markierung in a; **c** – Detail von b; **d** – EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte; **e** – EBSD-Kristall-Orientierungskarte, gefiltert (Konfidenz >0,1).

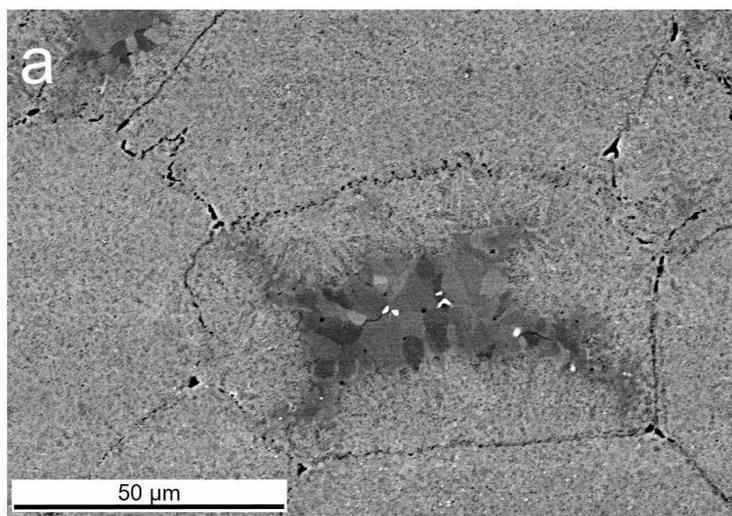
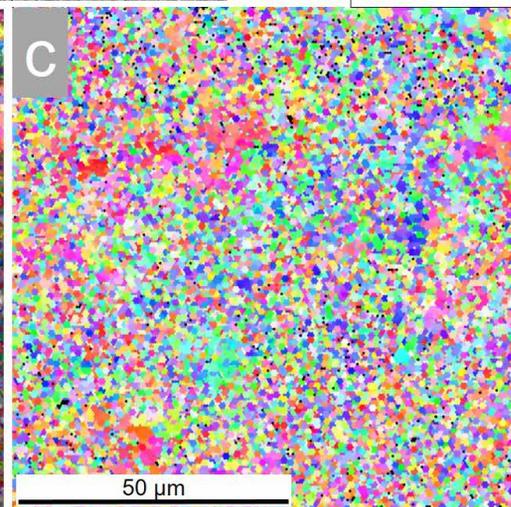
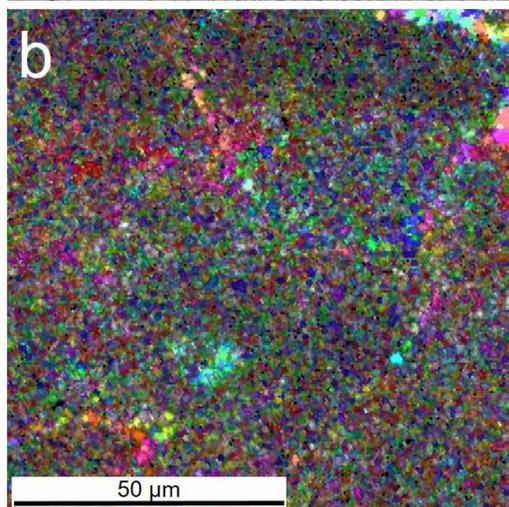
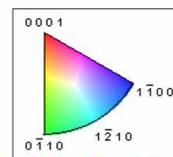


Abb. 3 Details zur Kristallinität in einem *Psaronius* sp. aus Perda Pilia:
a – Kristalliner Quarz innerhalb einer ehemaligen Parenchymzelle, dazwischen Eisenoxid-Kristallite; **b** – Überlagerung von EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte und Kristall-Orientierungskarte, ungefiltert; **c** – EBSD-Kristall-Orientierungskarte, ungefiltert.



Psaronius sp. von Manebach

Dieses aus Manebacher Ilm-Schottern stammende Geröll von *Psaronius* sp. zeigt zwischen den Sclerenchym-scheiden mit recht guter Zellerhaltung teilweise zerstörte und insgesamt gering erhaltene Gewebepartien. Innerhalb der Sclerenchym-scheiden finden sich oftmals Fraßgänge mit einer großen Anzahl kleiner Koprolithen. Ähnlich wie bei den vorher beschriebenen Proben findet sich innerhalb der Lumina der Grundgewebszellen vorwiegend kryptokristalliner Quarz. Zwischen den Zellen und in Rissen ist dagegen mikrokristalliner Quarz zu finden, vor allem aber in den verdickten Zellwänden der Sclerenchymfasern, wo er mit hoher Wahrscheinlichkeit als Chalzedon auftritt. Auch die in kryptokristallinen Quarz eingebetteten Koprolithen weisen eine teilweise mikrokristalline Verkieselung auf.

Agathoxylon sp. mit Stromatolith-Saum von Manebach

Dieses *Agathoxylon*-Holz zeigt im Querschliff eine gute Zellerhaltung des Sekundärxylems, und wurde im Uferbereich eines Sees stromatolithisch umkrustet und schließlich eingebettet.

Im Bereich des Holzes (Abb. 5a) wurde der Großteil der Tracheiden mit kryptokristallinem Quarz gefüllt. Im Bereich der sekundären Zellwände bildete sich mikrokristalliner Quarz, vermutlich Chalzedon (Abb. 5b–d). Im Übergangsbereich des Xylems zum Stromatolithen wurden einige der Tracheiden mit Kalzit gefüllt (Abb. 5a, 6a–h). Diese Füllung ist in aller Regel einkristallin (Abb. 6h). Vereinzelt finden sich auch mit α -Quarz gefüllte Tracheiden (vgl. Abb. 6f und h). Wie schon die Rückstreuелектронен-Abbildungen des Xylems vermuten lassen (Abb. 5a, 6a), belegt die

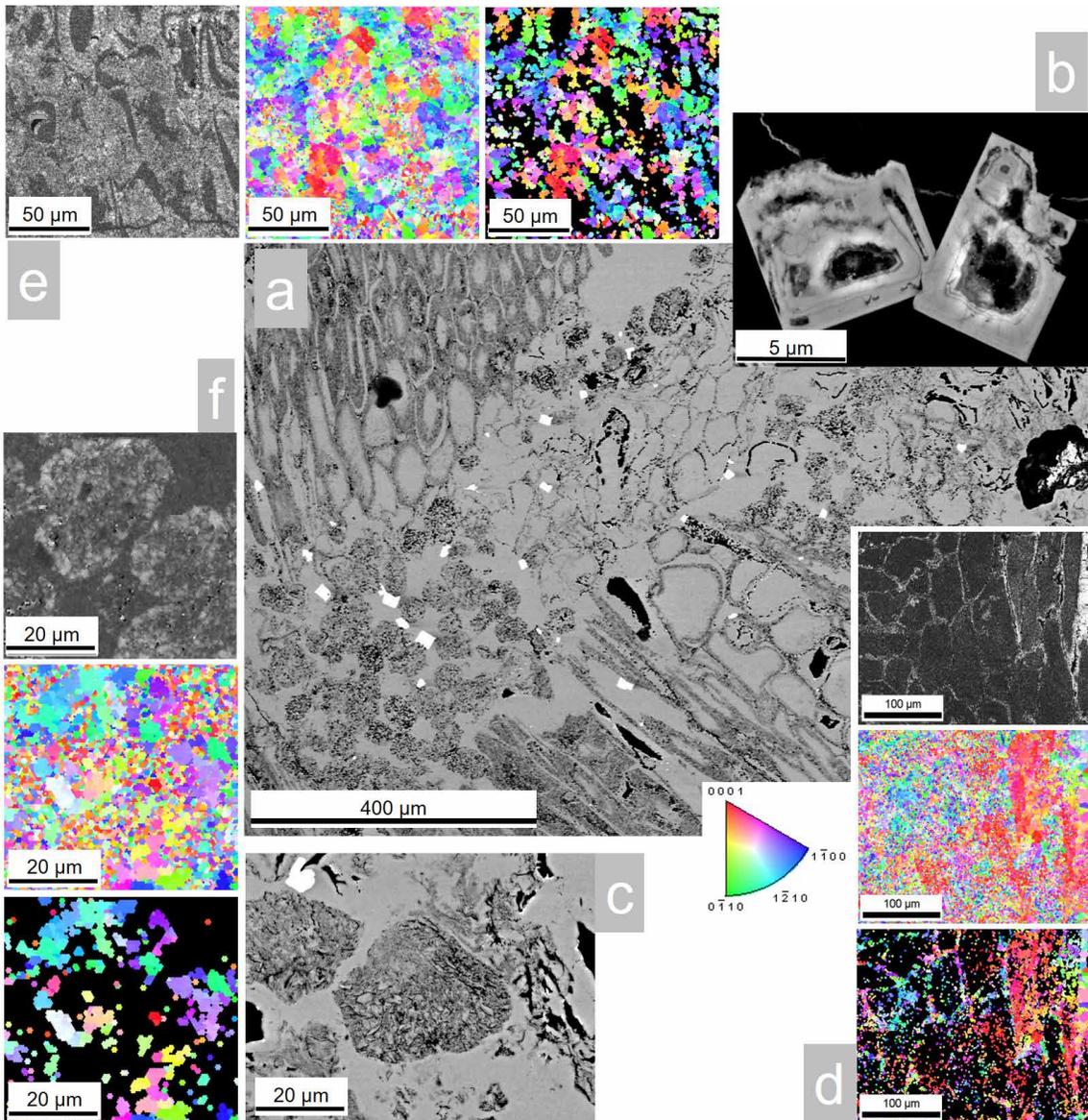


Abb. 4 | Fraßgang in einem *Psaronius* sp. aus Manebach: **a** – Teil einer Sclerenchymascheide mit dickwandigen Fasern (links oben) sowie eines Fraßganges gefüllt mit Koprolithen und Eisensulfiden (diagonal mittig). Rechts sind kollabierte Parenchymzellen erkennbar; **b** – Eisenmineralisation in würfelförmiger Kristallform, Detail; **c** – Mikrokoprolithen, Detail; **d** – EBSD-Karten von Parenchym-Zellen (Qualität, Orientierung, Orientierung mit Konfidenz >0,1); **e** – EBSD-Karten von Sclerenchymazellen (Qualität, Orientierung, Orientierung mit Konfidenz >0,1); **f** – EBSD-Karten von Koprolithen (Qualität, Orientierung, Orientierung mit Konfidenz >0,1).

Kohlenstoff-Verteilung (Abb. 6f), dass der höchste Anteil an Kohlenstoff im Zuge der Fossilisation im Bereich der sekundären Zellwände verblieben ist.

Der Stromatolith besteht aus schaligen Kalzit-Lagen mit zwischengelagertem mikrokristallinem α -Quarz. In den Kalzit-Lagen finden sich hin und wieder fossile Schalen kleiner Muschelkrebse (Ostracoda), zumeist in Kalzit-Erhaltung. Solche Ostrakoden besiedelten und besiedeln alle aquatischen Lebensräume vom Meer über das Brackwasser bis zu kleinen Tümpeln auf der Überflutungsebene. Die Bildung der durchmischten Lagen von Kalzitschichten und relativ großen α -Quarz-Kristallen im Stromatolith infolge von pH-Wert-Verschiebungen und niedrigen Abscheidungsraten diskutieren Mustoe et al. (2019) im Detail.

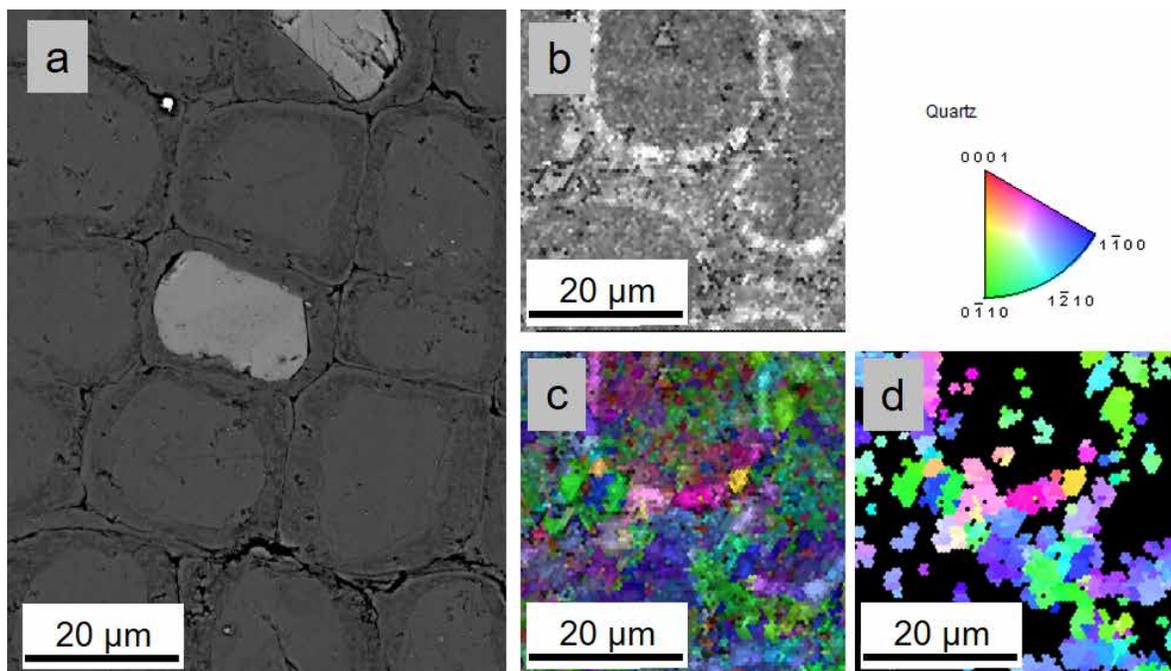


Abb. 5 | Sekundärxylems eines *Agathoxylon* sp. aus Manebach: **a** – Rundliche bis polygonale Tracheiden des Sekundärxylems im Querschnitt; **b** – EBSD-Beugungsqualitäts-Karte dreier Tracheiden; **c** – Überlagerung von EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte und Kristall-Orientierungskarte, ungefiltert; **d** – EBSD-Kristall-Orientierungskarte, gefiltert (Konfidenz >0,1).

Agathoxylon sp. von Winnweiler

Auffällig schon für das bloße Auge sowie im Lichtmikroskop sind sogenannte Block-Riss-Strukturen, d. h. schwarze Kieselholzblöcke im mm-Bereich, die einen gewissen Volumenverlust erlitten haben und dazwischen die im Zuge der Schrumpfung entstandenen, mit rotem Achat (Karneol) gefüllten Risse. Obwohl die früher hergestellte, äußerst suggestive Assoziation zu einem Waldbrand mit Holzkohlebildung (Noll et al. 2003) heute als widerlegt gilt (Rößler et al. 2014), haben wir es dennoch mit einem Schrumpfungsphänomen zu tun, dessen Ursache noch nicht geklärt ist. Inzwischen wird das Auftreten von Braunfäule oder vergleichbarer Pilzbefall als Ursache diskutiert. Bei Braunfäule-Befall bliebe das Lignin weitgehend erhalten, während die Holzbestandteile Zellulose und Hemizellulose zerstört worden wären, wodurch ein Volumenschwund mit einer typischen, weitgehend orthogonalen Riss-Struktur entsteht, der sogenannte „Würfelbruch“. Zu diesem Modell passt, dass in den schwarzen Blöcken die Sekundärxylem-Anatomie kaum erhalten wurde, während in den Arealen dazwischen und vor allem zentrumsnah im Stamm hellere Holzbereiche mit sehr guter Zellerhaltung erkennbar sind. Abb. 7a zeigt im oberen Teil des Rückstreu-Bildes die Block-Riss-Strukturen, die auch in diesem Abbildungsmodus dunkler erscheinen, was auf das Vorhandensein von Kohlenstoff im SiO_2 schließen lässt. Abb. 7b zeigt die Detailaufnahme von vier gut erhaltenen Tracheiden im Querschnitt. Gut erkennbar ist die Trennung im Bereich der aneinandergrenzenden Zellwände. Die Tracheiden enthalten eine blockig erscheinende Füllung, die aus einer Mischung von kryptokristallinem Quarz und einzelnen mikrokristallinen α -Quarz-Körnern besteht (Abb. 7d, e). Doch es gibt auch poröse Bereiche mit schlechterer Erhaltung der Holzanatomie (Abb. 7c), die möglicherweise auf weiße Taschenfäule oder eine vergleichbare mikrobielle Ursache schließen lassen. Diese Art der Fäule reduziert den Lignin-Gehalt in den sekundären Zellwänden, wodurch sie ihre Stabilität einbüßen (BLANCHETTE 1984).

Zusammenfassung

Die Verkieselung in den untersuchten Gewebebereichen, ungeachtet ob Parenchym, Sklerenchym oder Xylem, erfolgte zumeist kryptokristallin. Mittels EBSD sicher indizierbare α -Quarz-Kristallite sind bevorzugt zu finden an:

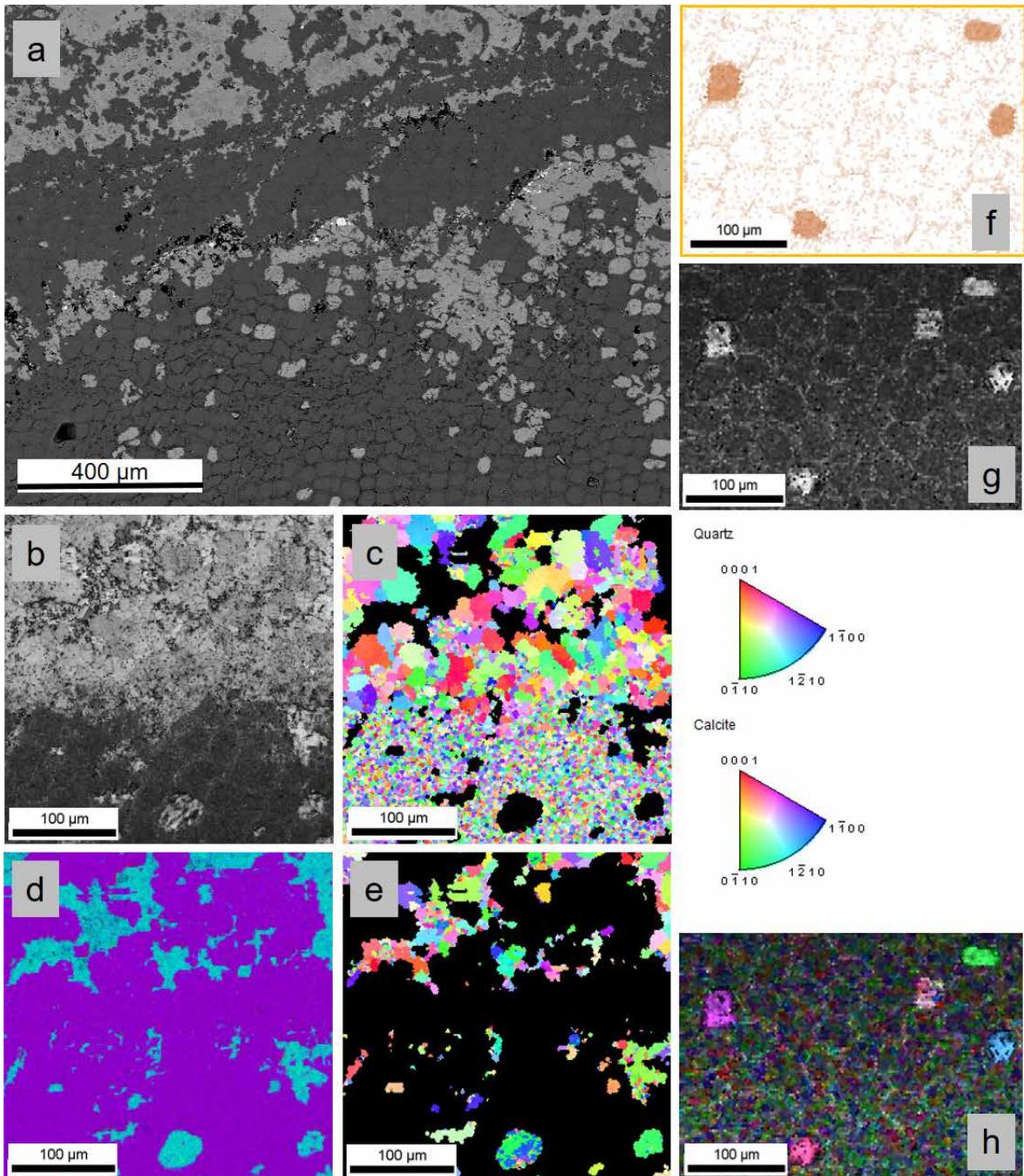


Abb. 6 | Xylem eines *Agathoxylon* sp. mit umgebendem Stromatolith aus Manebach: **a** – REM-Bild des Übergangsbereichs Sekundärxylem mit dichten Tracheidenreihen (unten) – Stromatolith mit lagiger Internstruktur (oben); **b** – EBSD-Beugungsqualitätskarte des Übergangsbereichs; **c** EBSD-Kristall-Orientierungskarte, gefiltert: nur Quarz; **d** – EDX-Elementverteilungskarte, die Mischung der Farben Rot für Silizium, Grün für Kalzium und Blau für Sauerstoff ergibt violett für SiO_2 und türkis für Kalzit; **e** – EBSD-Kristall-Orientierungskarte, gefiltert: nur Kalzit; **f** – Detail im Xylem, EDX-Kohlenstoffverteilungskarte; **g** – wie f) EBSD-Beugungsqualitätskarte; **h** – wie f) Überlagerung von EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte und Kristall-Orientierungskarte, ungefiltert.

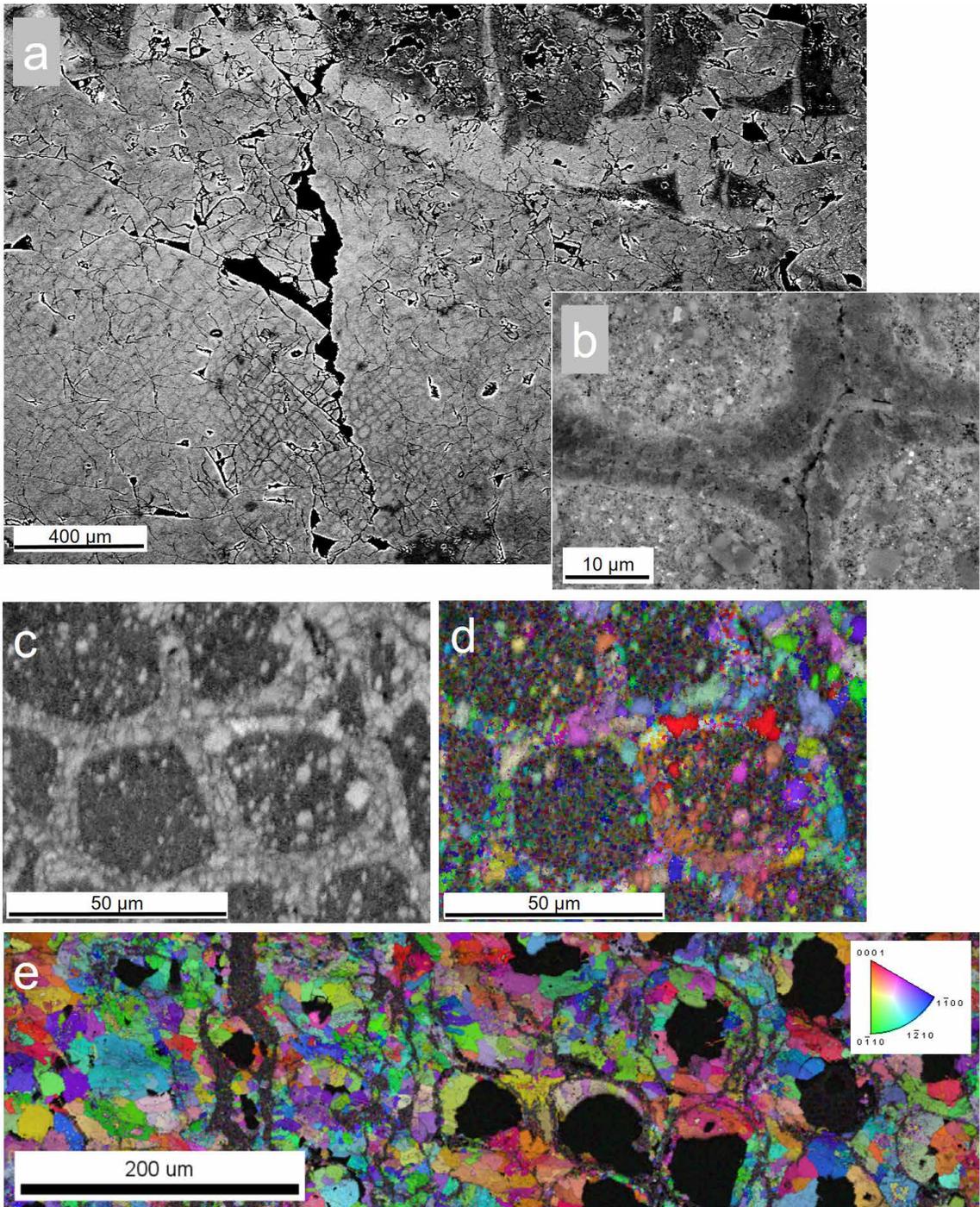


Abb. 7 | *Agathoxylon* sp. aus Winnweiler (Donnersberg): **a** – Übersicht, Blöcke ohne erkennbare Zellerhaltung oben, Sekundärxylem in guter Erhaltung unten, dazwischen Achat; **b** – Detailaufnahme von einigen Tracheiden im Querschnitt; **c** – Tracheiden, EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte; **d** – wie c) Überlagerung von EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte und Kristall-Orientierungskarte, ungefiltert; **e** – Xylem mit vermutlich mikrobiellen Zersetzungsstrukturen, Überlagerung von EBSD-Beugungsmuster-Qualitätskarte und Kristall-Orientierungskarte, ungefiltert.

- Brüchen, wo sekundäre Mineralisation stattfand,
- an der Außenseite der früheren Zellwände, wo feine Risse zwischen den Zellen entstanden,
- innerhalb von Tracheiden mit potenziellen Kristallisationskeimen wie Kristallidioblasten, Bakterien, Eisenmineral-Kristallite, o. ä.,
- im Sekundärxylem, wenn der Lignin-Gehalt der sekundären Zellwände vor der Silifizierung durch mutmaßlichen Befall von pilzlichen Mikroorganismen verringert wurde.

Diese Kristalle besitzen zumeist keine Vorzugsorientierung. Ihre Orientierung scheint unabhängig vom einbettenden Environment, von der Pflanze und dem Strukturhaltungstyp (Permineralisation/Petrifizierung) zu sein. Lediglich dicke Zellwände mit hohem Lignin-Gehalt werden häufig durch mikrokristallinen Quarz (Chalzedon) ersetzt (Dietrich et al. 2013), was auch in dieser Studie an *Agathoxylon* beobachtet wurde. Vor allem in den Psaronien finden sich häufig Eisenoxide in Form von Framboiden oder blockigen Mineralbildungen. Möglicherweise sind diese mit dem Wirken von Bakterien assoziiert – ob mit eisenoxidierenden Bakterien ähnlich dem präkambrischen Bändereisenerz oder mit Purpurbakterien, ist noch in der Diskussion.

Literatur

- Barthel, M. & Röbner, R. (2012): Pflanzen und Pflanzengesellschaften des Rotliegend. – In: Stratigraphie von Deutschland X. Rotliegend. Teil I: Innervariatische Becken. – Schriftenr. Deut. Ges. Geowiss., **61**: 79–97.
- Barthel, M.; Krings, M. & Röbner, R. (2010): Die schwarzen Psaronien von Manebach, ihre Epiphyten, Parasiten und Pilze. – *Semana*, **25**: 41–60.
- Blanchette, R. A. (1984): Screening wood decayed by white rot fungi for preferential lignin degradation. – *Applied and Environmental Microbiology*, **48** (3): 647–653.
- Dernbach, U. (Hrsg.) (1996): Versteinerte Wälder. – 188 S.; Heppenheim (D'ORO Verlag). Dietrich, D.; Lampke, T. & Röbner, R. (2011): Mikrostrukturuntersuchungen mit Rückstreuielektronen an versteinerten Hölzern aus dem Perm von Chemnitz. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **34**: 85–94.
- Dietrich, D.; Werner, H.; Lampke, T. & Röbner, R. (2012): Die räumliche Verteilung der Quarz-Polymorphe in *Medullosa stellata* im Vergleich mit Moganit und Chalzedon. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **35**: 73–84.
- Dietrich, D.; Lampke, T. & Röbner, R. (2013): A microstructure study on silicified wood from the Permian Petrified Forest of Chemnitz. – *Paläontol. Zeitschrift*, **87**: 814–834.
- Feng, Z.; Schneider, J. W.; Labandeira, C. C.; Kretzschmar, R. & Röbner, R. (2015): A specialized feeding habit of Early Permian oribatid mites. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **417**: 121–125.
- Galtier, J.; Ronchi, A. & Broutin, J. (2011): Early Permian silicified floras from the Perdasdefogu Basin (SE Sardinia): comparison and bio-chronostratigraphic correlation with the floras of the Autun Basin (Massif central, France). – *Geodiversitas*, **33** (1): 43–69.
- Luthardt, L. & Röbner, R. (2017): Jahresringe in den Bäumen des Versteinerten Waldes von Chemnitz und die aus ihnen ableitbaren paläoklimatologischen und paläoökologischen Erkenntnisse. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **40**: 43–68.
- Mustoe, G. E.; Viney, M. & Mills, J. (2019): Mineralogy of Eocene Fossil Wood from the “Blue Forest” Locality, Southwestern Wyoming, United States. – *Geosciences*, 2019, 9, 35; doi:10.3390/geosciences9010035.
- Noll, R.; Uhl, D. & Lausberg, S. (2003): Brandstrukturen an Kieselhölzern der Donnersberg Formation. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **26**: 63–72.
- Röbner, R.; Noll, R.; Dietrich, D.; Annacker, V. & Merbitz, M. (2014): Taphonomic features of fossilised wood and their ambiguous interpretation. – 23rd Int. Workshop on Plant Taphonomy, Museum f. Naturkunde Berlin, 28.11.2014.
- Timpe, M. (2010): Algeninkrustierte Pflanzenfossilien aus Nordamerika und Europa. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **33**: 5–26.
- Trümper, S.; Germann, S.; Schneider, J. W.; Mertmann, D.; Götze, J. & Röbner, R. (2020): Die versteinerten Bäume des Kyffhäusers (Oberkarbon, Thüringen): Herkunft, Fossilwerdung und paläoklimatisch-ökologische Aussagen. – *Z. Dt. Ges. Geowiss. (J. Appl. Reg. Geol.)*, **171** (3): 277–321.
- Trümper, S.; Röbner, R. & Götze, J. (2018): Deciphering Silicification Pathways of Fossil Forests: Case Studies from the Late Paleozoic of Central Europe. – *Minerals* **2018**, 8, 432; doi:10.3390/min8100432.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 2020

Band/Volume: [43](#)

Autor(en)/Author(s): Dietrich Dagmar, Trümper Steffen, Lampke Thomas, Rößler Ronny

Artikel/Article: [Silica-Modifikationen in früh-permischen verkieselten Hölzern unterschiedlicher Vorkommen 131-140](#)