



Versteinerte Bäume aus einer Schuttstrom-Ablagerung des Meißener Massivs: Fossilwerdung und Stratigraphie

Petrified trees from a debris-flow deposit of the Meißener Massif: Fossilisation
and stratigraphic implications

Steffen Trümper, Chemnitz, Steffen Köhler, Meißen, Horst Greif, Niederau,
Wolfram Modaleck, Chemnitz, Jens Götze, Freiberg und Ronny Rößler, Chemnitz

Kurzfassung

Funde silifizierter Gymnospermenhölzer werden aus dem Kaolin-Tagebau Canitz-Nord bei Meißen vorgestellt. Das Untersuchungsgebiet liegt in der mittleren Elbezone, einer durch umfangreiche intrusive und extrusive Magmatite des Karbons geprägten Region in Sachsen (Ostdeutschland). Die Einbettung der teils Meter langen Stammfragmente erfolgte präkretazisch–frühkänozoisch durch wiederholte, plastische Schuttströme auf einem Paläorelief des Meißener Massivs. Die fossilen Bäume zeigen nur wenige Partien mit anatomischer Erhaltung, was ihre Bestimmung erschwert. Die farblich variablen Kieselhölzer haben eine selektive, rissige Erhaltung, die auf Abrasion während Einbettung und Transport, Kompaktion infolge Auflast und eine verbreitete Auslöschung anatomischer Strukturen während der Verkieselung zurückzuführen ist. Kathodolumineszenz-Analysen und eine häufige, grüne Fluoreszenz unter UV-C-Anregung belegen eine einphasige Silifizierung der Stämme, während dieser Spuren von Uran im Quarz eingeschlossen wurden. Die Ergebnisse belegen erstmals die Existenz Kieselhölzer führender Sedimente auf dem Meißener Massiv und demonstrieren das Potenzial spektroskopischer Verfahren in der Provenienz-Analyse strukturerhaltener Pflanzenfossilien.

Abstract

Silicified gymnospermous woods are presented from Canitz-Nord open kaolin pit near Meißen. The investigation area is situated in the middle Elbe Zone, a region characterised by several intrusive and extrusive Carboniferous magmatites in Saxony (E-Germany). The up to several metres long trunk fragments were transported and buried by repeated plastic debris flows on a palaeorelief formed by the Meißener Massif in pre-Cretaceous–early Cenozoic times. The petrified wood is poorly preserved exhibiting only rare and patchy anatomical structure and hampering identification. Further, the stems are widely fissured according to abrasion during the trunks' entombment and transport and compaction due to overburden. Cathodoluminescence properties and a common green UV-C fluorescence indicate monophasic silicification of the stems accompanied by widespread incorporation of uranium traces by quartz. The results provide the first proof of petrified wood-containing sediments overlying the Meißener Massif and demonstrate the potential of spectroscopic methods to enlighten the provenance of anatomically preserved plants.

Anschriften der Autoren

Steffen Trümper, M. Sc., Museum für Naturkunde Chemnitz, Moritzstraße 20, 09111 Chemnitz, E-Mail: steffen.truemper@hotmail.de.

Steffen Köhler, Sonnenleite 21, 01662 Meißen, E-Mail: Steffen_Koehler_Mei@web.de.

Horst Greif, Ring der Einheit 15, 01689 Niederau, E-Mail: HorstGreif@gmx.de.

Wolfram Modaleck, Straße des Friedens 13, 09228 Chemnitz/OT Wittgensdorf.

Prof. Dr. Jens Götze, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie, Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg

Prof. Dr. Ronny Rößler, Museum für Naturkunde Chemnitz, Moritzstraße 20, 09111 Chemnitz, E-Mail: roessler@naturkunde-chemnitz.de.

1 Einleitung

Versteinerte Wälder sind seit Jahrhunderten ein Phänomen der Erd- und Lebensgeschichte und haben für Sammler und Forscher gleichermaßen einen ungebrochenen Reiz (Dernbach 1996, Veltzelos & Zouros 1998, Rößler 2001, Daniels & Dayvault 2006, Savidge 2007, Mencil 2010, Niemirowska 2013). Der Untersuchungsgrad versteinelter Wälder ist jedoch sehr unterschiedlich, und ihr Vorkommen reicht vom Auftreten der ersten Landpflanzen im Devon (Stein et al. 2020) bis in unsere Tage, in denen die Bildung von Kieselhölzern in unterschiedlichen Zeitdimensionen durch natürliche Experimente nachvollzogen werden konnte (Akahane et al. 2004, Hellawell et al. 2015, Liesegang & Gee 2020).

Neue Funde und Fundstellen rufen immer ein herausragendes Interesse hervor, ungeachtet dessen, dass einige Kieselhölzer noch keinen Wald ausmachen. Trotz ihrer weitgehend übereinstimmenden Zusammensetzung aus verschiedenen SiO_2 -Modifikationen trennen die Kieselhölzer verschiedener Fundstellen doch Welten. Das gilt für ihre botanische Natur wie für ihre Herkunft, Entstehung und Fossilisation. Während nur eine gute anatomische Erhaltung ihre Identifizierung sichert, haben Kieselhölzer durch ihren während der Fossilisation erworbenen Gehalt an Spurenelementen oder Gitterstörungen im Quarz nicht selten Hinweise auf den Versteinierungsprozess konserviert (Mustoe 2017, Trümper et al. 2018). Diese Besonderheiten sorgen dafür, dass die kieseligen Versteinierungen ein fundort- bzw. fundschichtspezifisches Muster aufweisen, dessen Entschlüsselung von besonderer Bedeutung ist (Götze & Rößler 2000, Trümper et al. 2018). Obwohl Kieselhölzer auch in rein klastischen Sedimenten vorkommen (Schüssler & Simon 2007, Philippe et al. 2013, Trümper et al. 2020a), zeigen häufig solche Regionen eine besonders hohe Funddichte, in denen vulkanische Prozesse die Landschaft geprägt haben oder vulkanische Gesteine das Aufschlussbild dominieren. Bekannte Beispiele sind das Chemnitz-Becken mit der permischen Fossilagerstätte Chemnitz sowie weiteren Fundstellen und Fundhorizonten versteinelter Hölzer (Rößler et al. 2015, Löcse et al. 2013, 2017; Rößler & Zierold 2017) oder auch der Nordwestsächsische Vulkanitkomplex (Walter & Rößler 2006). Der Raum Meißen ist seit langem bekannt für sein breites Spektrum magmatischer Gesteine (Stutzer 1910, Beeger & Quellmalz 1994, Czołbek 2002, 2008, Felsche 2012, Hoffmann et al. 2013). Aus den mitunter tiefgründig verwitterten, den Granitoiden auflagernden Vulkaniten stammen vor allem aus Seilitz farbenfrohe Achate, die bei Sammlern bekannt und beliebt sind (Blankenburg 1988). Auf der Suche nach letzteren gelang am 01. Januar 2016 Herrn Gunar Arnold, Meißen, der erste Fund eines Kieselholzes im Meißener Raum. Nachforschungen am Fundort, dem Tagebau Canitz-Nord, offenbarten, dass die versteinerten Hölzer nicht selten vorkommen, aber sehr rissig und selektiv erhalten sind. Zudem weisen sie eine große farbliche Bandbreite auf und erreichen teils meterlange Ausmaße. Die Nebengesteine der silifizierten Stämme – Kaoline und an Kaolin reiche Sedimente – führen Magmatite des Meißener Massivs und werfen damit die Frage nach der Herkunft der fossilen Pflanzen auf. Basierend auf einem multidisziplinären Ansatz aus Grabungen, Profildokumentationen und spektroskopischen Verfahren hat diese Arbeit zum Ziel, die Entstehung und das Alter dieses für den Raum Meißen einzigartigen Fossilvorkommens mit ersten Antworten zu erhellen.

2 Geologie des Untersuchungsgebietes

Der Tagebau Canitz-Nord liegt ca. 6,5 km südwestlich von Meißen zwischen den Orten Löthain und Löbschütz in der Gemeinde Käbschütztal, Landkreis Meißen, Sachsen (Abb. 1). Das Untersuchungsgebiet ist Teil des Sächsischen Hügellandes, das den Übergang bildet zwischen dem Erzgebirge im Süden und dem Norddeutschen Tiefland im Norden. Dieser Position entsprechend sind im Raum Meißen Gesteine verschiedener krustaler Stockwerke aufgeschlossen, die weiter südlich bereits abgetragen wurden bzw. weiter nördlich von mächtigen känozoischen Sedimentabfolgen überdeckt sind.

Das Grundgebirge als unterstes Stockwerk umfasst karbonische Magmatite des **Meißener Massivs**, die sich entlang der Elbe über das Untersuchungsgebiet hinaus verfolgen lassen. Entsprechend treten die Gesteine innerhalb eines $20 \times 80 \text{ km}^2$ großen Gebiets zwischen dem Müglitztal bei Pirna und dem Raum Torgau auf (Abb. 1a). Das Meißener Massiv besitzt einen schaligen Aufbau aus zwei Plutonit-Serien, die sich sowohl in ihrem Chemismus als auch ihrem Alter unterscheiden (Wenzel et al. 1991). Die äußere Schale besteht aus mittel- bis selten grobkristallinen Monzoniten und untergeordnet Dioriten, die Abkühlungsalter von 326 bis 330 Millionen Jahren aufweisen (Wenzel et al. 1997, Nasdala et al. 1999). Granite bilden dagegen die innere Schale und umfassen den 323 Millionen Jahre alten, fein- bis mittelkristallinen „Hauptgranit“ sowie den mittel- bis grobkristallinen Riesenstein-Granit,

der als Bau- und Dekorstein überregionale Bekanntheit erlangte (Abb. 1a). Die Platznahme des Meißeener Massivs in der Elbezone erfolgte syntektonisch und stand in Zusammenhang mit dem Übergang von einem Seitenverschiebungsregime in ein Kollisionsregime während der variszischen Gebirgsbildung (Wenzel & von Quadt 1993, Mattern 1996, Wenzel et al. 1997, Wenzel 2012).

In seinem Zentrum nahe Meißen lagert dem Meißeener Massiv eine Abfolge von Vulkaniten und Pyroklastiten auf, die als **Vulkanitkomplex von Meißen-Priestewitz** zusammengefasst wird (Abb. 1b). Die Gesteine repräsentieren das Übergangsstockwerk im Untersuchungsgebiet und verteilen sich auf zwei Vorkommen beidseits der Elbe (Abb. 1a). Während das rechtselbische Vorkommen um Priestewitz stärker herausgehoben wurde und daher ein tieferes, subvulkanisches Niveau des Vulkanitkomplexes aufschließt, sind im linkselbischen Vorkommen SW Meißen auch oberflächliche Bildungen in Form von Laven und Vulkaniklastika erhalten (Hoffmann et al. 2013; Abb. 1b). Mangels geeigneter Aufschlüsse sind die Lagerungsverhältnisse im linkselbischen Vorkommen mit Fragen behaftet; das älteste Glied bildet aber der im Abbau befindliche, massige, teils vitrophyrische und verschweißte Leutewitz-Ignimbrit (Benek et al. 1977, Hoffmann et al. 2013). An letzterem ermittelten Hoffmann et al. (2013) ein U-Pb-Isotopenalter von $302 \pm 2,5$ Millionen Jahren, das den Beginn des Vulkanismus im Raum Meißen-Priestewitz in das ausgehende Karbon datiert. Als nächstjüngere Bildung folgen ausgedehnte Decken des für seine Fließgefüge bekannten Dobritz-Rhyoliths bis -Rhyodazits (Jentsch 1981, Richnow 1994; Abb. 1b). Genetisch gehören diesem auch die flaschengrünen, braunen, gelben, schwarzen und rötlichen Pechsteine des Triebischtals an (Sauer 1889, Röllig 1985), die lange Zeit als Glasrohstoff Verwendung fanden. Zusätzlich bekannt sind die Pechsteine durch die „Wilden Eier“ – kugelige und dm- bis maximal 3 m große Entglasungsstrukturen, die selten Achat, Rauchquarz oder Amethyst führen (Beck 1914, Jentsch 1981, Röllig 1985). Czożek (2002) interpretierte die Dobritzer Vulkanite als Ergebnis mehrerer Eruptionen, die zu Beginn phreatomagmatisch waren und nachfolgend in Lavastrom- und Lavadom-Bildungen übergingen. Den Abschluss der Vulkanitabfolge bilden andesitische Gänge und Lavadecken, die in der Literatur traditionell unter der Bezeichnung „Glimmerporphyrit“ zusammengefasst werden (Sauer 1889, Reinisch 1920, Hoffmann et al. 2013). Die Entstehung des Vulkanitkomplexes von Meißen-Priestewitz wird mit einer Senke in Verbindung gebracht, die sich im Kreuzungsbereich mehrerer Störungen im Bereich des Elbelineaments entwickelte, das den Lausitzer Block vom Erzgebirgskristallin trennt (Lange & Heide 1996). Zeitlich fällt die Anlage dieser Senke in eine Phase verstärkter Beckenentwicklung in Zentraleuropa, die gegen Ende der variszischen Gebirgsbildung an der Karbon-Perm-Grenze auch von intensivem Vulkanismus begleitet war (Schneider et al. 1995, Kroner & Romer 2013).

Das Deckgebirgsstockwerk im Untersuchungsgebiet bilden Verwitterungskrusten und Lockersedimente des späten Mesozoikums und Känozoikums. Zuunterst zählen dazu bis 20 m mächtige, weiße bis grünlich-weiße **Kaoline**, die den paläozoischen Plutoniten und Vulkaniten lückenhaft auflagern (Störr 1983, Elsner 2017; Abb. 1c, 2a, b). Diese Sedimente repräsentieren die Relikte einer einst in Sachsen weit verbreiteten Verwitterungsdecke, die sich an der Oberfläche unter warm-feuchtem Klima aus den feldspatreichen Magmatiten entwickelte (Störr 1978, Schellenberg & Kleeberg 1997, Schwerdtner et al. 2007, Walter 2011, Krüger et al. 2013). Aufgrund des Mangels geeigneter Zeitmarker, wie biostratigraphisch verwertbarer Fossilien oder datierbarer Tuffe, kann die Bildung der Kaoline nur auf den Zeitraum späte Kreide-frühes Miozän eingegrenzt werden (Walter 2011, Kleeberg & Lange 2014). Bis heute besitzen die umfangreichen Meißeener Kaoline große Bedeutung als Rohstoff für die Keramik-Herstellung. Ihre Entdeckung im Jahr 1764 beendete die bis dahin aufwendige Ausbeutung kleinerer mittelsächsischer und erzgebirgischer Vorkommen und erschloss der Porzellanmanufaktur Meissen eine dauerhafte und nahegelegene Quelle (Elsner 2017). Der vor allem aus dem Monzonit abgeleitete Titangehalt von 0,2 Masse-% sorgt für ein besonders reines Weiß im Porzellan (Störr 1983).

Im Raum Seilitz-Löthain folgen im Hangenden der Kaoline Tone, Sande und Braunkohlen frühmiozänen Alters, die in einer als Löthain-Becken bezeichneten kleinräumigen Senke akkumuliert wurden (Stremme 1909, Lange & Heide 1996; Abb. 1b, c). Die Sedimente spiegeln die Ablagerung durch Flüsse sowie mit ihnen assoziierter Überflutungsebenen, Seen und Moore wider. Da diese Flüsse die älteren Kaolin-Verwitterungsdecken aufarbeiteten, sind die Tone und Schluffe des Löthain-Beckens teils reich an Kaolin und werden zur Erzeugung von Fein- und Sanitärkeramik abgebaut, z. B. im Tagebau Canitz-Nord (Kleeberg & Lange 2014; Abb. 2a, b). Aufgrund ihrer weißen Farbe ist die Abgrenzung dieser umgelagerten, an Kaolin reichen Feinklastika gegen die unterlagernden reliktierten Kaolin-Decken auf Grundgebirge mitunter schwierig (Abb. 1c, 2b). Den Sedimenten des Löthain-Beckens lagern Meter bis wenige Dekameter mächtige, meist braune pleistozäne Sedimente auf, darunter Grundmoränen und glazifluviale Sande der Elster-Kaltzeit sowie saale- bis weichselzeitliche Lössdecken (Kleeberg & Lange 2014;

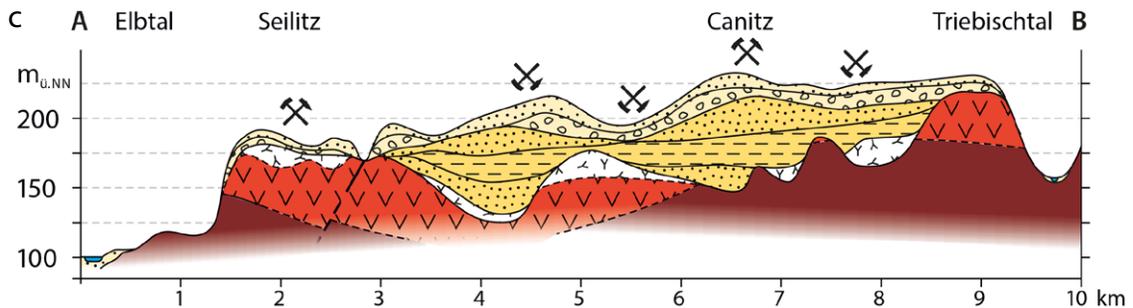
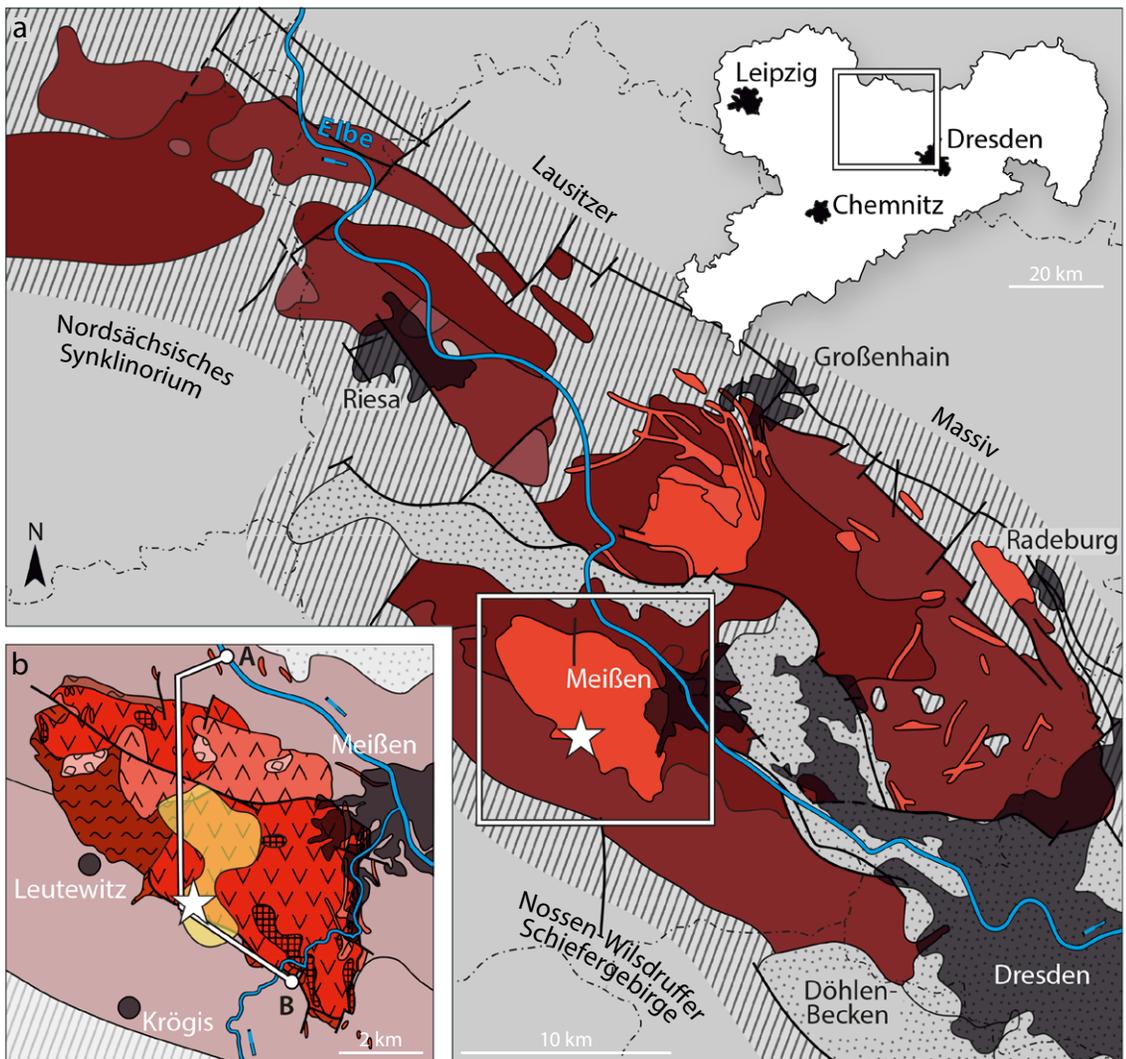


Abb. 1 | Geologische Karte der Region Meißen. **a** – Meißener Massiv mit schaligem Aufbau, im Zentrum überlagert vom Vulkanit-Komplex von Meißen-Priestewitz. **b** – Detailkarte des linkselbischen Teils des Meißen-Priestewitz-Vulkanitkomplexes einschließlich des auflagernden miozänen Lössbeckens (gelb). **c** – Querschnitt durch den Meißen-Priestewitz-Vulkanitkomplex. Der Stern markiert den Tagebau Canitz-Nord. Zusammengestellt und verändert nach Benek et al. (1977), Störr (1983), Lange & Heide (1996), Förster et al. (2011) und Hoffmann et al. (2013).

Fig. 1 | Geological map of the Meissen area. **a** – The late-Variscan Meissen Massif shows a concentric structure of different magmatic suites and is overlain by the Meissen-Priestewitz Volcanic Complex in its central part. **b** – Geological map of the southwestern part of the Meissen-Priestewitz Volcanic Complex including the position of the lower Miocene Löss Basin. **c** – Transverse section through the Meissen-Priestewitz Volcanic Complex.

Grundgebirgsstockwerk: Saxothuringikum mit Meißeener Massiv

 Paläozoikum, metamorph	 Dioritoide des Meißeener Massivs	 Monzonitoide des Meißeener Massivs	 Granitoide des Meißeener Massivs
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Übergangsstockwerk: Vulkanitkomplex von Meißen-Priestewitz

 Vulkanite, undifferenziert	 Leutowitz-Ignimbrit	 Basale Dobritz-Pyroklastite	 Dobritz-Rhyolith, kristallin
 Dobritz-Rhyolith, glasig (Pechstein)	 Vulkaniklastite	 Intermediäre Vulkanite ("Glimmerporphyrit")	

Deckgebirgsstockwerk: Kaolin, Lößhain-Becken und Quartär

 Kaolin	 Tone+Schluffe des Lößhain-Beckens	 Sande des Lößhain-Beckens	 Glaziofluviale Sande (elsterzeitlich)
 Moräne (elsterzeitlich)	 Löss (saale-, weichselzeitlich)		

Sonstiges

 Aktiver Bergbau	 Altbergbau	 Stadtgebiet
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

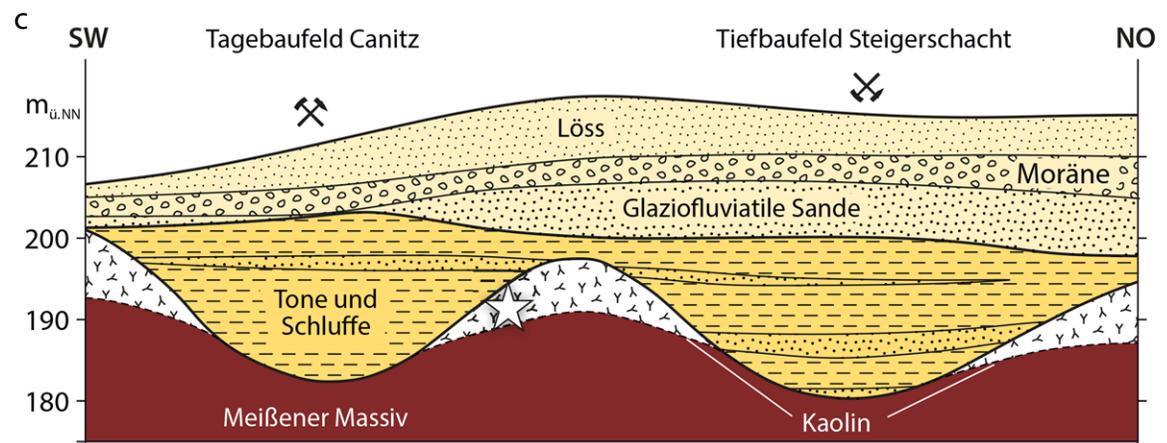
Abb. 1c, 2). Auf letzteren ist ein bis 0,5 m mächtiger holozäner Mutterboden entwickelt, der den Abschluss des Deckgebirges bildet.

Zum Zeitpunkt der Grabungsarbeiten reichte das im Tagebau Canitz-Nord aufgeschlossene Profil von den Kaolinen über die Tone, Schluffe und Sande des Lößhain-Beckens bis in die quartäre Überdeckung (Abb. 2). Temporäre Ausschürfungen im Zuge des Abbaus erreichten auch die mehr oder weniger stark kaolinisierten, unterlagernden paläozoischen Magmatite, vor allem Monzonite des Meißeener Massivs, an der Grubensohle. Der 0 bis maximal 27 m mächtige Kaolin in Canitz-Nord tritt in Form inselartiger Vorkommen auf Kuppen des Meißeener Massivs auf (Abb. 2). Im Nordosten des Tagebaus dienten auch die Dobritzer Vulkanite, vertreten durch die glasigen Varietäten Pechstein und Felsit, als Ausgangsgesteine für die Kaoline.

3 Material und Methoden

3.1 Stratigraphie und Biostratonomie der Fundschichten

Die Kieselholzfunde und Gesteinsproben stammen aus dem durch die Sibelco Deutschland GmbH betriebenen Tagebau Canitz-Nord (Abb. 2) und wurden durch Aufsammlungen, Schürfe und Grabungen im Gelände von 2016–2020 zusammengetragen (Abb. 3, Tab. 1). Eine Grabung am 18.09.2019 hatte zum Ziel, die Fundschichten der versteinerten Stämme offen zu legen und dadurch die stratigraphische Position im Tagebauprofil sowie die Einbettung zu erhellen. Als Grabungsstelle wurde ein Areal nahe der Nordecke des Tagebaus gewählt (Abb. 2a, b), in dem bereits am 14.08.2017 im Zuge des Abbaus ein größerer Stamm in subvertikaler Orientierung entdeckt worden war (Abb. 3a–e). Neben der Freilegung und Bergung mehrerer Stämme unterschiedlicher Größe und Erhaltung erfolgte die Ansprache der einbettenden Gesteine nach ihrer Korngröße, Rundung und Farbe als auch nach lithologischen Grenzen, Mächtigkeiten und Modalbeständen (Abb. 3). Die während der Grabung angetroffenen Kieselhölzer wurden hinsichtlich ihres Durchmessers und ihrer Länge sowie ihrer räumlichen Orientierung nach Fallrichtungsmethode dokumentiert. Da die verkieselten Stämme stark brüchig sind, beschränkte sich die Entnahme auf kompakte Teilstücke, die eine Präparation und Dokumentation der fossilen Gewebe erlauben. Die untersuchten Belege werden in den Sammlungen des Museums für Naturkunde Chemnitz (coll. MfNC) sowie in den Privatsammlungen Steffen Köhler, und Gunar Arnold (Meißen), Horst Greif (Niederau), Wolfgang Krahl (Weinböhla) und Wolfram Modaleck (Chemnitz) aufbewahrt (vgl. Tab. 1).



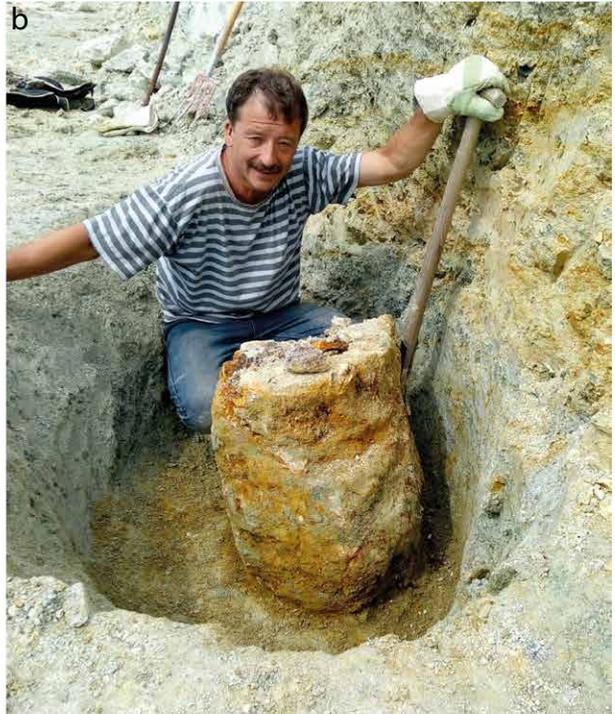
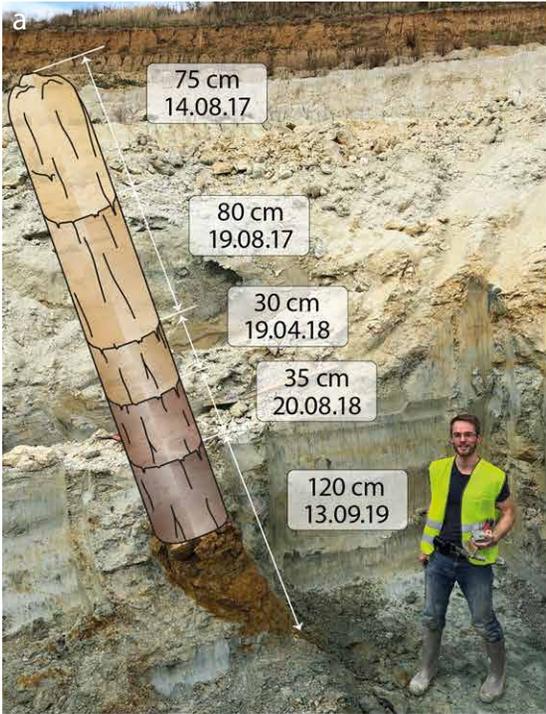
- Abb. 2** | Profil des Tagebaus Canitz-Nord; die Sterne markieren die Grabungsposition des 13.09.2019. Für Legende s. Abb. 1.
a – Der Tagebau aus der Vogelperspektive (GoogleEarth-Aufnahme vom 27.09.2020). Maßstab: 50 m.
b – Blick nach NO in den Tagebau. **c** – Schematisches Profil (verändert nach Störr 1999).
- Fig. 2** | Geological profile of the Canitz-Nord Pit; the stars mark the excavation of 2019-09-13. For legend, see Fig. 1.
a – Bird's eye view at the pit (GoogleEarth image of 2020-09-27). Scale: 50 m. **b** – View from the southwestern corner.
c – Stylised pit profile (modified after Störr 1999).

Tabelle 1 | Zusammenstellung der bisher aus den Massenstromablagerungen von Canitz-Nord bekannten Kieselhölzer.
Table 1 | Compilation of fossil trunks hitherto found in debris-flow deposits from the Canitz-Nord Pit.

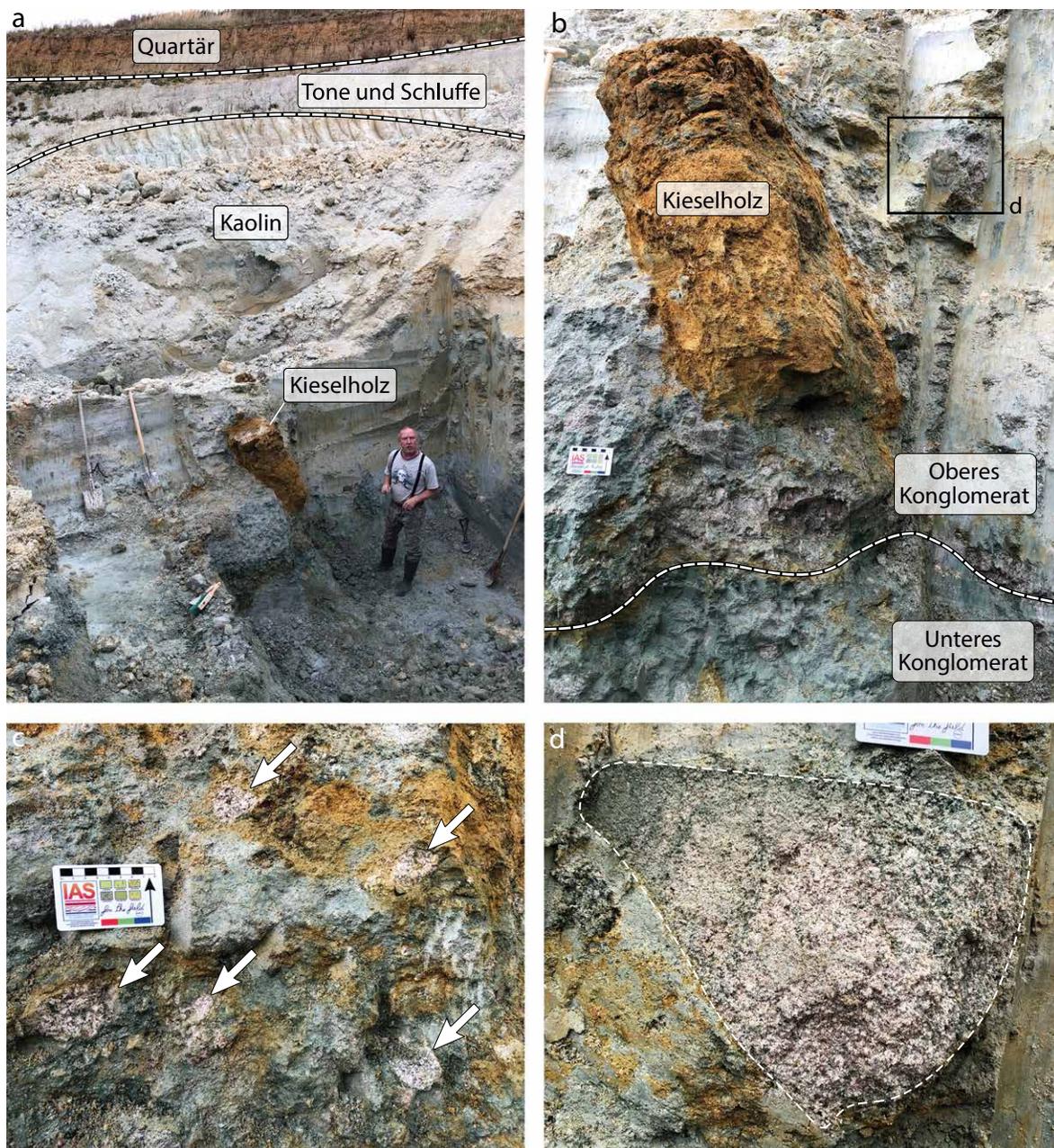
Fund	Farbe, Merkmale	Funddatum	Abbildungsverweis	Zugehörigkeit
Stamm 1 „großer Stamm“	blaugrau, braun und honiggelb, teils mit Amethyst	14.08.2017 – 13.09.2019	Abb. 3a–e, 4a, b, 9, 10c–e, 11, 12, 14, 15	coll. Köhler, coll. Greif, coll. MfNC: K7491a–j, K7565a–c, K7566, K5767a–c, K7570a–g
Stamm 2 „Stämmchen“	blaugrau, braun und honiggelb	09.04.2017	Abb. 19	coll. Köhler, coll. Greif, coll. Krahl
Stamm 3 „roter Stamm“	rotorange, weiß, Holz ist stark fragmentiert	19.03.2017	Abb. 13, 18d–f	coll. Köhler, coll. Greif, coll. MfNC: K6292, K6293, K6294a, b, K6296, K6297, K6298, K6299a, b, K6300a, b, K6301, K6302, K6843
Stamm 4	honiggelb, orange	06.04.2017	Abb. 10b, 11a	coll. Köhler, coll. Greif
Stamm 5 „roter Stamm mit Saum“	Schwarz, grau, rot, Amethyst in Drusen, mit weißem Bleichungssaum	Januar 2016 (Haldenfund)	Abb. 10a, 18a–c	coll. Köhler, coll. Greif, coll. MfNC: K6123, K6124, K6303, K6304, K6305, K6306, K6307a, b, K6673
Stamm 6 „brauner Stamm“	braun, grau, Holz stark rissig	19.03.2017	-	coll. Köhler, coll. Greif, coll. MfNC: K6295, K6693
Stamm 7 „grüner Stamm“	blaugrau und untergeordnet fleckig orange, chloritgrüne Kruste	13.09.2019	Abb. 3f, 5a, 11g	coll. MfNC: K7564
Stamm 8	grau, fleckig grau-grün	03.10.2020	-	coll. Köhler, coll. Greif
Stamm 9	grau	13.09.2019	-	Nicht entnommen
Stamm 10	braun, weißbraun, rotorange, mit ausgeprägten Knickbändern im Holz	2016		MfNC: K6122, coll. Greif
Stamm 11	grau, rot	Haldenfund 2016	Abb. 8	coll. Köhler, coll. Greif, coll. Modaleck, coll. MfNC K7580

3.2 Botanische Zugehörigkeit und Erhaltung der Kieselhölzer

Die Kieselhölzer wurden durch Wolfgang Krahl, Weinböhl, und Tristan Roscher, Deutschneudorf, in verschiedenen anatomischen Ebenen gesägt, geschliffen und poliert. Mit dem Ziel, die Natur der verkieselten Hölzer zu ergründen, folgte auf die Präparation die deskriptive und fotografische Dokumentation der Gewebe, ihrer Farben und Erhaltungen im Auflicht mittels eines Nikon SMZ 1500-Stereomikroskops, gekoppelt mit einer Nikon DS-5M-L1-Digitalkamera und einer NIS-Elements D Abbildungssoftware (Version 3.2; Nikon, Tokio, Japan). Außer im Auflicht können zur Bestimmung relevante anatomische Merkmale auch mikroskopisch durch Elektronenanregung fossiler Gewebe sichtbar gemacht werden. Durch diese als Rasterelektronenmikroskopie (REM) bezeichnete Methode werden die Atome einer Probe mittels Elektronenbeschuss im Vakuum energetisch angeregt.



- Abb. 3** | Bergung und Dokumentation von Kieselhölzern aus Canitz-Nord. **a–e** – Sukzessive Entnahme des bisher größten Stammes 1 mit zeitlicher Abfolge der Entnahmeabschnitte (a). **f** – Dokumentation des Stammes 7.
Fig. 3 | Removal and documentation of silicified woods from Canitz-Nord. **a–e** – Successive removal of the largest stem one including a chronological order of sections taken (a). **f** – Documentation of stem 7.



- Abb. 4** | Grabungsprofil und Lithologie. **a** – Die Grabung im Profil des Tagebaus Canitz-Nord. **b** – Detail aus a mit der Schichtgrenze zwischen beiden Kieselhölzern führenden Konglomerat-Horizonten. **c** – Detail des basalen Abschnitts im oberen Konglomerat-Horizont mit zahlreichen gerundeten Plutonit-Geröllen (Pfeile). **d** – Mit 20 cm größtes Plutonit-Geröll der Grabung aus dem oberen Konglomerat-Horizont; für Position im Grabungsprofil siehe b.
Fig. 4 | Excavation section and lithology of kaolinised rocks. **a** – Stratigraphic position of the excavation in the Canitz-Nord section. **b** – Detail of figure a showing the sedimentary boundary that separates two conglomerates with the upper conglomerate containing a large fossil trunk. **c** – Detail of figure b focusing on the basal part of the upper conglomerate. Note rounded plutonic lithoclasts (arrows). **d** – Largest clast size (20 cm) documented in the conglomerates.

Als Folge des Beschusses setzen die Atome wiederum Elektronen frei, die von einem Detektor aufgefangen werden und Informationen zur Oberflächenbeschaffenheit übermitteln. Da die zu untersuchenden Proben rasterartig mit Elektronen beschossen werden, ist die REM fähig, selbst feinste Oberflächenstrukturen hochauflösend abzubilden, z. B. Tüpfel auf den Radialwänden von Tracheiden. Für diese Studie wurde aus dem Holz von zwei fossilen Stämmen mit dem Hammer jeweils ein 1,5×1,5×1,0 cm großes Bruchstück erzeugt und mittels REM auf den Feinbau der Tracheiden hin untersucht. Dazu erfolgte zunächst eine Bedampfung der Proben mit Kohlenstoff, um eine energetische Aufladung der Oberfläche infolge des Elektronenbeschusses zu verhindern. Zur Erstellung der REM-Aufnahmen diente ein Rasterelektronenmikroskop des Typs JEOL JSM-7001F (Jeol, Ltd., Akishima, Japan) des Instituts für Geologie der TU Bergakademie Freiberg.

3.3 Spektroskopie der an der Verkieselung beteiligten SiO₂-Phasen

In Verkieselungen tritt Siliziumdioxid mit einer großen Bandbreite von Modifikationen und Varietäten auf, wodurch die oft farbenprächtige und ansprechende Erscheinung silifizierter Hölzer erzeugt wird (Mustoe & Acosta 2016). Die Ursachen für die vielfältigen Erscheinungsformen des Siliziumdioxids liegen im Kristallisationsgrad, im Einbau von Fremdatomen oder im Vorhandensein von Fehlstellen in der SiO₂-Struktur begründet (Götze & Hanchar 2018). Welche Strukturmerkmale das feste Siliziumdioxid in dem zu verkieselnden Holz besitzen wird, hängt von den physikochemischen Bedingungen während der Silifizierung ab. Spektroskopische Verfahren vermögen die Strukturen des Siliziumdioxids mit sichtbarem Licht erkennbar zu machen, sodass auf die Bildungsbedingungen während der Fossilisation rückgeschlossen werden kann (Matysová et al. 2008, 2010, Trümper et al. 2018). In dieser Studie kommen die Kathodolumineszenz (KL) und die UV-Lumineszenz (UV-L) als spektroskopische Methoden zum Einsatz. Beiden gemein ist eine energetische Anregung der Probe, die diese aufgenommene Energie in Abhängigkeit ihrer Struktur sodann als detektierbares Licht im sichtbaren Spektrum abgibt (380 bis 780 nm). Die Unterschiede liegen, neben der technischen Ausgestaltung, vor allem in der Art der Erreger-Strahlung. Während bei der Kathodolumineszenz ein Elektronenstrahl im Vakuum auf die Probe gerichtet wird, kann die UV-Lumineszenz auch ohne Vakuum mittels Einstrahlung von Licht im ultravioletten Bereich (100 bis 380 nm) erzeugt werden. Da die durch UV induzierte Lumineszenz annähernd mit dem Abstellen der Erreger-Strahlung erlischt, wird sie meist als UV-Fluoreszenz bezeichnet – im Gegensatz zur Phosphoreszenz, bei der die Probe nach Beendigung der energetischen Anregung noch kurz nachleuchten würde.

Die Kathodolumineszenz-Analyse erfolgte an vier polierten und mit Kohlenstoff bedampften 30-µm-Dünnschliffen im Format 28×48 mm², die im anatomischen Querschnitt aus den verkieselten Hölzern hergestellt wurden. Für die Spektroskopie diente ein Heißkathoden-KL-Mikroskop (Konstruktion nach U. Zinkernagel und R. Neuser, Bochum), das mittels eines Glasfaserkabels mit einem Acton-Research-SP-2356-Spektrographen gekoppelt ist (Princeton Instruments, Acton, USA). Letzterer ermöglichte die Messung der Kathodolumineszenz im Spektralbereich 370 bis 900 nm unter standardisierten Bedingungen. Eine Halogenlampe gewährleistete die Kalibrierung der Wellenlängen. Der analysierte Bereich für spektrale Messungen besaß aufgrund einer Lochblende im Mikroskop einen Durchmesser von 30 µm bei einer Beschleunigungsspannung von 14 kV und einer Stromstärke von 0,2 mA. Photographische Aufnahmen wurden mit einer auf den Mikroskop-Tubus fixierbaren Olympus-DP72-Digitalkamera aufgenommen (Olympus Corporation, Tokio, Japan). Für die Dokumentation der UV-Lumineszenz diente eine Fotoanlage, bestehend aus zwei Herolab-UV-8S/L-Lampen (Herolab GmbH, Wiesloch, Deutschland). Die Lumineszenz-Charakteristika der Kieselhölzer wurden bei Wellenlängen der Erreger-Strahlung von 254 und 365 nm beschrieben. Photographische Aufnahmen entstanden mit einer Nikon Z7-Kamera.

Komponenten der Konglomerate. **a** – Subhorizontal eingebettetes, kompaktiertes Kieselholz (Stamm 7) über einem Plutonit-Geröll. Maßstab: 50 mm. **b–f** – Unterschiedlich stark kaolinisierte Granit- (b, c, d und f) und Monzogranit-Gerölle (e). Maßstab: 20 mm. **g** – Riesenstein-Granit von Meißen, poliert. Maßstab: 20 mm. **h** – Porphyrisch-phaneritischer Monzogranit bis Granodiorit von der Knorre bei Meißen. Maßstab: 20 mm.

Die Pfeile in e und h weisen auf hypidiomorphe Feldspateinsprenglinge hin.

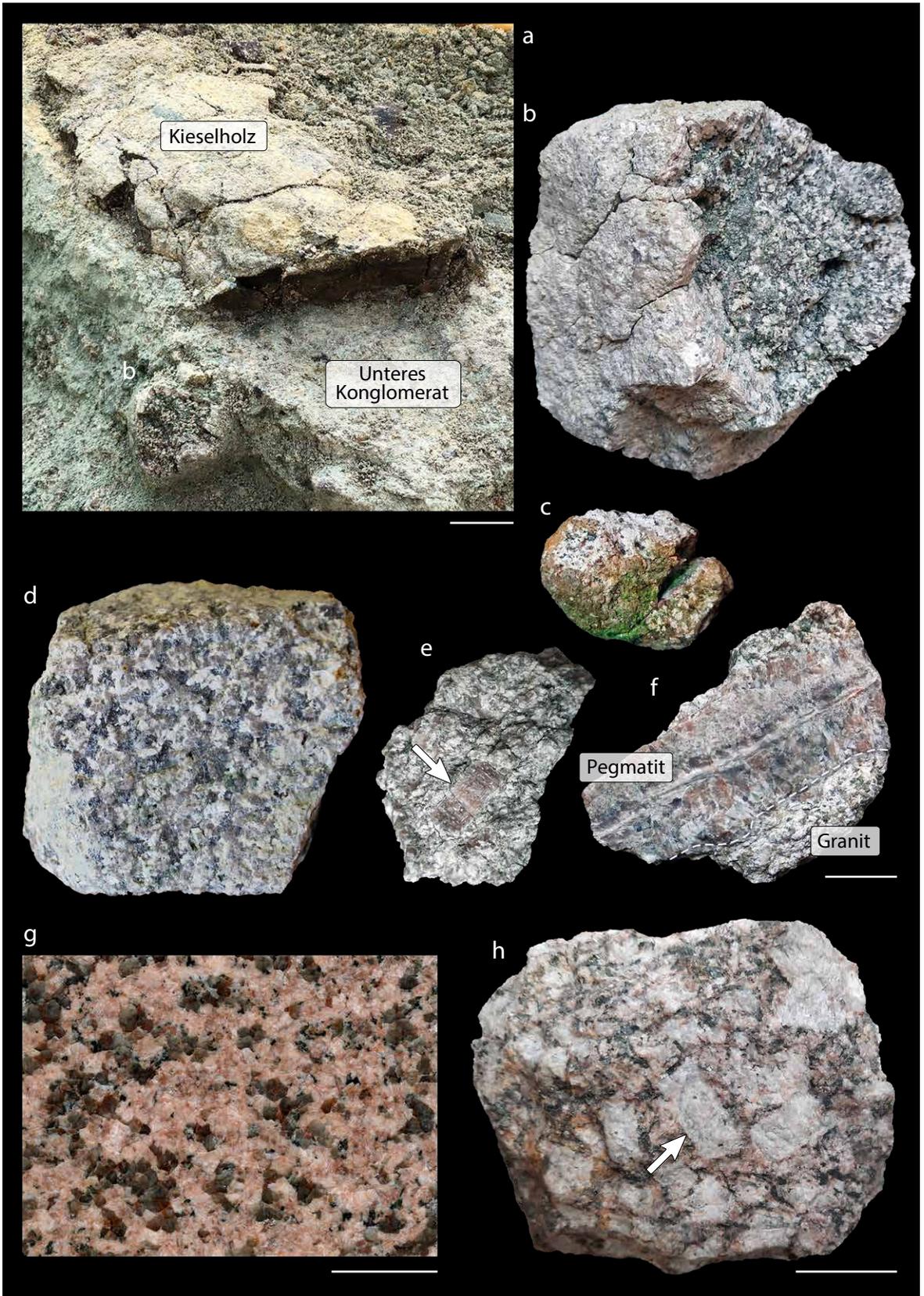
Alle Stücke coll. MfNC: b: P4276a, c: P4276b, d: P4299, e: P4300, f: P4297, g: P1272, h: P4298.

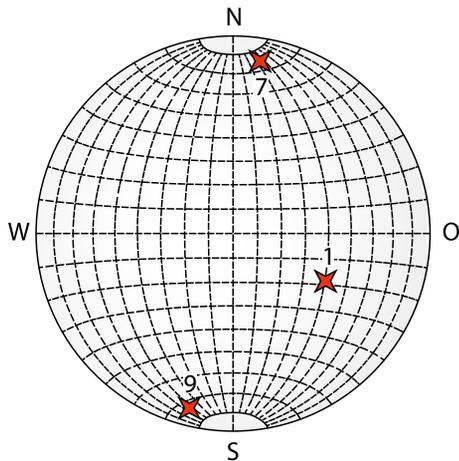
Components of the conglomerates. **a** – Subhorizontally embedded, compacted fossil wood (stem 7) overlying a plutonite clast. Scale: 50 mm. **b–f** – Granite (b, c, d and f) and monzonite (e) clasts showing variable degrees of kaolinisation. Scale: 20 mm. **g** – Riesenstein-type granite from Meißen, polished cross-section. Scale: 20 mm.

h – Porphyritic-phaneritic monzogranite to granodiorite from the Knorre locality near Meißen. Scale: 20 mm. Arrows in e and h point to subhedral feldspar phenocrysts. All objects coll. MfNC: b: P4276a, c: P4276b, d: P4299, e: P4300, f: P4297, g: P1272, h: P4298.

Abb. 5

Fig. 5





Kennwert	Stamm 1	Stamm 7	Stamm 9
Orientierung	117°/46°	009°/13°	194°/10°
Länge	340 cm	50 cm	>10 cm
Durchmesser	44 cm	7–22 cm	3–11 cm

Abb. 6 | Orientierung und Größe der am 13.09.2019 bei der Grabung angetroffenen Kieselhölzer. Die Raumlagen der fossilen Stämme sind als Durchstoßpunkte (rote Sterne) im Schmidt'schen Netz dargestellt (untere Halbkugelprojektion). Beachte den variablen Durchmesser der Stämme 7 und 9, der auf die Kompaktion der subhorizontal eingebetteten Kieselhölzer zurückzuführen ist (s. auch Abb. 5a).

Fig. 6 | Orientation and size of silicified logs found during the excavation of 2019-09-13. The fossil trunks' trend and plunge are shown as piercing points (red stars) in the equal-area hemispherical projection. Note the strongly varying diameter of subhorizontally embedded fossil trunks, which is due to compaction.



Abb. 7 | Beispiel einer rezenten Schuttstrom-Ablagerung aus dem westlichen Pamir, Kreis Shamsiddin Shohin, Provinz Chatlon, südliches Tadschikistan (Foto: Jörg W. Schneider). Beachte das Korngrößenspektrum und die wahllose Orientierung der Blöcke und Baumstämme (Pfeil). Die Ablagerung der Debrite aus Canitz-Nord erfolgte wahrscheinlich etwas weiter entfernt vom Liefergebiet und in einer Landschaft mit weniger Reliefenergie. Zudem waren die Massenströme der Canitzer Hölzer deutlich tonreicher und erreichten weitaus geringere Geröllgrößen.

Fig. 7 | Recent debris-flow deposit from the western Pamir Mountains of the Shamsiddin Shohin District, Chatlon Province, southern Tajikistan (Photo: Jörg W. Schneider). Note the grain size spectrum and the random orientation of blocks and trunks (arrow). Formation of the Canitz-Nord debris-flow deposits, however, took place in a setting more distant from the source areas and in a landscape of lower relief energy.

4 Ergebnisse

4.1 Stratigraphisches Auftreten der versteinerten Bäume

Wie Aufsammlungen im Gelände und die Grabung zeigten, treten verkieselte Hölzer im Profil des Tagebaus Canitz-Nord in mehreren stratigraphischen Niveaus auf. Die Vorkommen lassen sich zu zwei Assoziationen zusammenfassen: 1. Stämme führende Schuttstrom-Ablagerungen und 2. die Kieselhölzer führenden fluviatilen Sedimente des Löthain-Beckens.

4.1.1 Stämme führende Schuttstrom-Ablagerungen

Beschreibung: Diese Assoziation ist gegenwärtig im nördlichen Abschnitt des Tagebaus aufgeschlossen und umfasst ein inselartiges Kaolin-Relikt vorkommen auf Monzoniten des Meißener Massivs (Abb. 2, 4a). Das in diesen Sedimenten angelegte, bis 250 cm mächtige Grabungsprofil offenbarte eine stratigraphische Gliederung des in der Literatur typischerweise als homogene In-situ-Bildung reflektierten Kaolins (Abb. 4a, b). Entsprechend handelt es sich bei dem Kaolin um eine stark kaolinisierte Abfolge von mindestens zwei, jeweils wenige Meter mächtigen Konglomerat-Horizonten (Abb. 4, 5). Der untere, mindestens 100 cm mächtige Horizont, dessen basaler Abschnitt im Rahmen der Grabung nicht freigelegt wurde, besteht aus einem grau-grünen, matrixgestützten, massiven Konglomerat mit maximalen Geröllgrößen von 7 cm (Abb. 4b, 5a). Diesem folgt im Hangenden mit uneben-scharfer Basis der obere, mindestens 150 cm mächtige, grünlich-graue bis sekundär fleckig orange verfärbte Konglomerat-Horizont (Abb. 4b). Letzterer ist in seinen untersten 70 cm klast- bis matrixgestützt bei maximalen Geröllgrößen von 20 cm (Abb. 4c, d) und geht profilaufwärts unter allmählicher Abnahme des Kiesanteils in ein matrixgestütztes Konglomerat mit Gerölldurchmessern unter 8 cm über. Beiden Konglomerat-Horizonten gemein ist eine ausgesprochen schlechte Sortierung mit einem Korngrößenspektrum, das von der Ton- bis in die Steinfraction reicht. Die Gerölle der Kiesfraction sind kantengerundet bis gerundet (Abb. 5b–f). Der oligomikte bis polymikte Modalbestand der Konglomerate wird trotz der Unterlagerung durch Monzonit aus verschiedenen Plutonit-Typen des Meißener Massivs aufgebaut. Infolge der Kaolinisierung sind die Magmatit-Klasten in Abhängigkeit von ihrer Größe, der Kristallgröße und des Feldspatgehalts unterschiedlich stark verwittert, sodass schwach kaolinisierte, kompakte Gerölle unmittelbar neben weichen, nahezu vollständig entfestigten auftreten (Abb. 5b–f). Die mafischen Minerale sind in der Regel vollständig chloritisiert, wodurch die charakteristisch grüne Tönung des primär weißen Kaolins hervorgerufen wird. Trotz der Alteration gestatten der Quarzgehalt und die Gefüge der weniger stark verwitterten Plutonit-Gerölle die Rückführung auf einzelne Magmatit-Typen. Porphyrisch-phaneritische Plutonit-Gerölle mit bis zu 2 cm großen, idio- bis hypidiomorphen Feldspateinsprenglingen entstammen den Monzograniten des Meißener Massivs (Abb. 5d, h). Hinzu treten in den Konglomeraten zwei Granit-Typen. Der häufigere der beiden ist ein mittel- bis grobkristalliner Leukogranit, der dem jüngsten der Meißener Granite, dem Riesenstein-Granit, zuzuordnen ist (Abb. 5d, g). Der zweite, seltenere Granit-Typ umfasst einen mittelkristallinen Biotit-Granit und entspricht dem älteren Meißener Hauptgranit. Seltene Biotit-Granit-Gerölle, die von leukogranitischen Pegmatiten bzw. Gängen durchzogen sind, stützen die Zuordnung zu den zwei unterschiedlich alten Granit-Typen des Meißener Massivs. Die Sandfraction der Konglomerate dominieren neben Plutonit-Klasten vor allem kantige bis kantengerundete Quarze neben häufig noch hypidiomorphen, sekundär jedoch stark kaolinisierten Feldspäten.

Die verkieselten Stämme treten in beiden Konglomerat-Horizonten in moderater bis hoher Dichte auf. Allein im Grabungsschurf, der eine Größe von ca. $2,50 \times 2,50 \times 5,00 \text{ m}^3$ besaß, sind drei fossile Stämme angetroffen worden; der größte davon mit einem Durchmesser von $40 \times 51 \text{ cm}^2$ und einer Gesamtlänge von 340 cm (Abb. 3a, b, 4a, b). Die beiden kleineren Stämme wiesen Längen von maximal 50 cm bei stark durch Kompaktion modifizierten Durchmessern von 3×11 bzw. $7 \times 22 \text{ cm}^2$ auf (Abb. 5a, 6). Aus einem 30-m-Radius um die Grabung und damit im Kaolinausstrich sind zudem acht weitere Stämme von Zentimeter- bis Dezimeter-Größen geborgen worden, die eine reiche Kieselholzführung der Konglomerate stützen. Eine Vorzugsorientierung der meist fragmentiert vorliegenden fossilen Stämme ist nicht gegeben (Abb. 6), sodass subhorizontal lagernde und subvertikal eingebettete Hölzer in Dezimeter-Entfernung zueinander vorkommen.

Interpretation: Aufgrund ihrer schlechten Sortierung, ihrer massig-massiven Ausbildung, ihrer geringen kompositionellen und strukturellen Reife sowie der unregelmäßigen Einbettung unterschiedlich großer, fragmentierter fossiler Hölzer wird diese Assoziation als Ablagerung von Massenströmen interpretiert (Costa 1984, Blair & McPherson 1994). Massenströme bezeichnen Transportmedien, deren Sedimentgehalt derart hoch ist, sodass

die Interaktionen der Körner die Bewegung im Strom sowie das Gefüge des resultierenden Sediments bestimmen. Diese Schüttungen werden u. a. nach ihrem Gehalt plastischer, d. h. toniger Komponenten in bindige und nicht-bindige Massenströme untergliedert (Baker et al. 2017). Zwar ist der Gehalt an Tonmineralen in dieser Assoziation durch die spätere Kaolinisierung erhöht worden; ein primär hoher Tongehalt der Schüttungen während der Sedimentation ist aber aufgrund des sehr weiten Korngrößenspektrums und der vorwiegend matrixgestützten Konglomerate mit mikroskopisch nicht mehr auflösbarer Grundmasse anzunehmen. Die Stämme wurden in plastischen Schutt- bis Schlammströmen transportiert und eingebettet. Derartige Ablagerungen, auch Debrite genannt, treten liefergebietsnah an Hängen bzw. am Hangfuß oder als Bestandteil von Schwemmfächern auf (Abb. 7).

4.1.2 Die Kieselhölzer führenden fluviatilen Sedimente des Löthain-Beckens

Im Tagebau Canitz-Nord zeigen die weißen Tone und Schluffe des Löthain-Beckens lateral stark veränderliche Mächtigkeiten von 0 bis 17 m (Abb. 2b, 4a). Die Lockersedimente sind massig-massiv; allerdings können Schichtungen und sedimentäre Grenzen durch die tiefgründige Verwitterung verwischt worden sein. Zum Zeitpunkt der Grabungen waren die fluviatilen Sedimente des Löthain-Beckens in Canitz-Nord bereits weitgehend abgebaut. Der geologische Erkundungsbericht des Betreibers vermerkt Einschaltungen von Sanden, bis 1 m mächtigen xylitischen bzw. kohligen Tönen sowie Quarziten; letztere mit einer Mächtigkeit von maximal 1 m. Kieselholzfragmente treten in den fluviatilen Sedimenten in deutlich geringerer Dichte und Größe auf als im Kaolin. Länge und Durchmesser der versteinerten Hölzer bleiben bei weniger als 20 cm (Abb. 8).



Abb. 8 | Kieselholz aus den fluviatilen Sedimenten des Löthain-Beckens. Längsschnitt eines Stammstückes mit anhaftendem, weißem Nebengestein (links). Stamm 11, coll. MfNC K7580. Maßstab: 10 mm.

Fig. 8 | Silicified wood from fluvial sediments of the Löthain Basin. Longitudinal section of a log piece showing attached white host rock (left). Stem 11, coll. MfNC K7580. Scale: 10 mm.

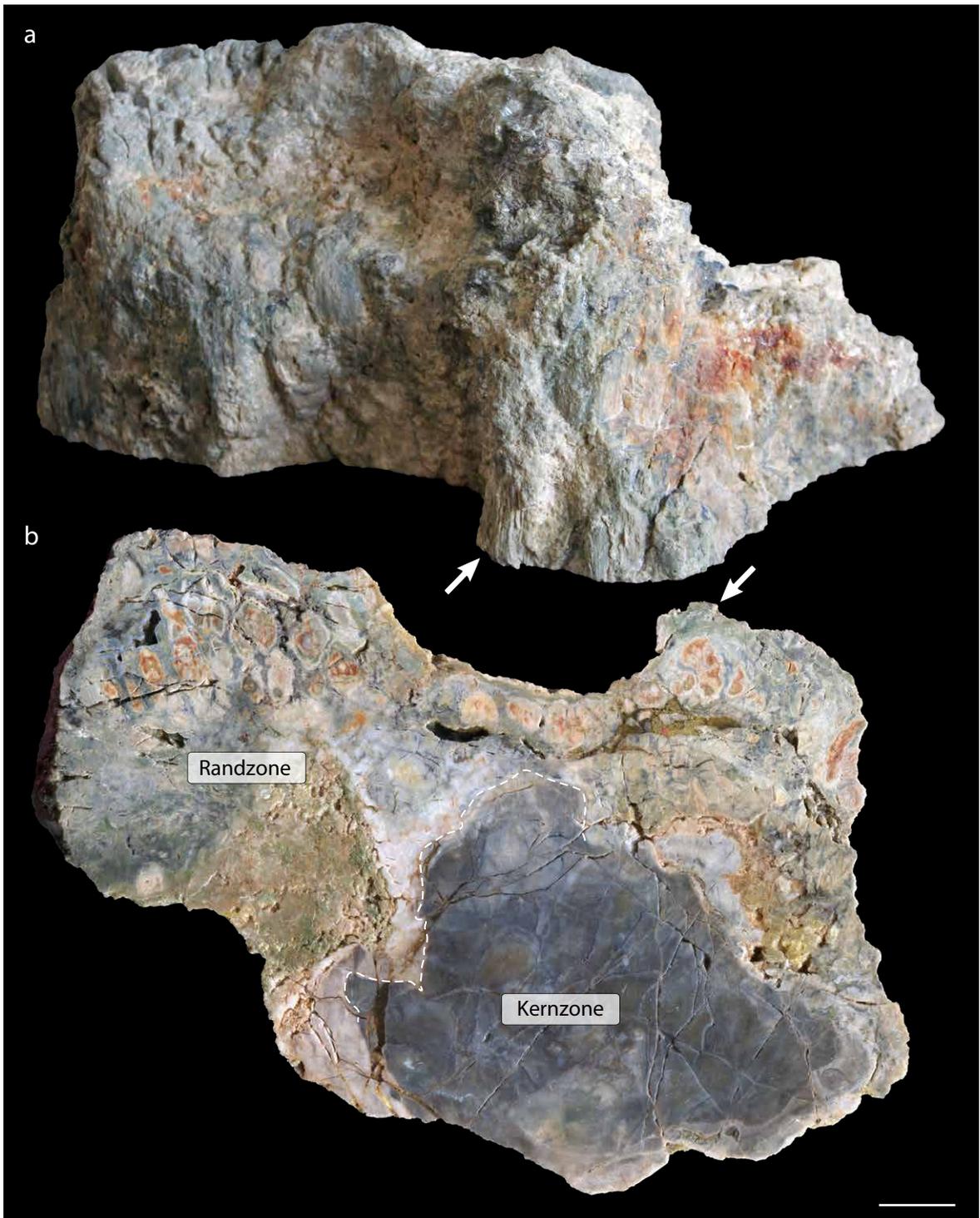


Abb. 9 | Form eines Stammendes in der Schrägansicht (a) und im Querschnitt (b; oberes Ende von Stamm 1, coll. Greif). Neben der durch hervorspringende Holzwülste (Pfeile) und Einbuchtungen gegliederten Form zeigt die Stammspitze eine interne Differenzierung in eine Kern- und eine Randzone. Maßstab: 20 mm.

Fig. 9 | Shape and preservation of a fossil trunk's termination, oblique view (a) and transverse section (b; upper termination of stem 1, coll. Greif). Besides morphologically prominent wood bulges, an internal differentiation into a core facies and a margin facies is present. Scale: 20 mm.

4.2 Form, Anatomie und Erhaltung der Kieselhölzer

Im Kaolin auftretende Kieselhölzer repräsentieren sowohl Stammfragmente als auch im Umfang nahezu vollständige Baumstämme (Abb. 3a, 4b). Äste und Wurzeln fehlen. Die Stammenden sind stumpf-kegelförmig, und ihre Oberflächen zeigen eine Feingliederung durch hervorspringende Wülste und dazwischenliegende Einbuchtungen (Abb. 9). Insbesondere subhorizontal eingebettete Kieselhölzer weisen eine starke Kompaktion auf, sodass der vertikale Stammdurchmesser nur noch knapp ein Drittel vom horizontalen beträgt (Abb. 5a, 6, 9). Die Form der Stämme ist walzenförmig bis unregelmäßig (Abb. 3a, 4b), bedingt durch einen diffusen Übergang vom verkieselten Gewebe in das Nebengestein sowie durch zahlreiche Risse und Klüfte im fossilen Stamm.

Die Kieselhölzer sind strukturerhalten, wobei verschiedene SiO_2 -Modifikationen und -Farbvarietäten an der Petrifizierung der Gewebe Anteil haben. Entsprechend bestechen die fossilen Bäume aus dem Kaolin von Canitz-Nord durch ihre große Farbvielfalt (Tab. 1, Abb. 8, 10). Querschnitte nahezu vollständig entnommener Kieselhölzer offenbaren eine Zonierung des fossilen Gewebes hinsichtlich seiner Erhaltung, sodass i. d. R. eine Kernzone und eine Randzone unterschieden werden können (Abb. 9b, 10a, d). Die **Kernzone** umfasst kompakt verkieselte Domänen im Zentrum der Stämme und wird zuweilen durch eine konzentrische Farbzonierung begleitet. Letztere kann entweder fließend von innen nach außen verlaufen (Abb. 10d) oder mit scharfen, teils unregelmäßig verlaufenden Farbgrenzen einhergehen (Abb. 10c). Die Kernzonen anderer Kieselhölzer wiederum erscheinen farblich nahezu einheitlich (Abb. 10b). Trotz der kompakten Verkieselung sind die Gewebe in der Kernzone nur innerhalb schlieriger bis inselartiger Domänen erhalten, während in den verbleibenden Arealen strukturloser mikrokristalliner Quarz vorherrscht (Abb. 11a). Sofern vorhanden und auflichtmikroskopisch erkennbar, können die Zellen nur schemenhaft und grob anhand ihrer Zellwände charakterisiert werden. Zur näheren paläobotanischen Einordnung erforderliche subzelluläre Details, wie Zellwandstrukturen, sind ausgelöscht (Abb. 11b–g). Entsprechend handelt es sich bei den in den Kernzonen der fossilen Stämme nachgewiesenen Geweben ausschließlich um Holz, das aus Tracheiden und parenchymatischen Holzstrahlen besteht. Die im Querschnitt in radialen Reihen angeordneten englumigen Tracheiden besitzen einen polygonalen Umriss bei einem durchschnittlichen Durchmesser von $45\ \mu\text{m}$ (Abb. 11c). Die $23\ \mu\text{m}$ breiten Holzstrahlen, die das Holz in radialer Richtung durchziehen, werden durch eins bis fünf Tracheidenreihen voneinander getrennt. Im Radialschnitt zeigen die Tracheiden das für sie typische, spitze Zulaufen in longitudinaler Richtung, durch das eine große Berührungsfläche mit den folgenden Tracheiden gewährleistet wird. Kreuzungsfelder der Tracheiden mit Holzstrahlen erscheinen als quadratische Flächen, lassen jedoch keine anatomischen Details, wie z. B. Kreuzfeldtüpfel, erkennen (Abb. 11d). Der Tangentialschnitt offenbart einreihige Holzstrahlen, die 4 bis 6 Zellen hoch sind (Abb. 11e). Aufgrund der erhaltenen anatomischen Merkmale sind die untersuchten Canitzer Kieselhölzer von baumförmigen Gymnospermen abzuleiten und mit *Agathoxylon* Hartig 1948 zu bestimmen (Rößler et al. 2014).

Infolge der kompakten Verkieselung der Kernzone sind neben den primären, anatomischen Merkmalen auch sekundäre, d. h. nach dem Absterben der Bäume angelegte Strukturen erhalten. Zu Letzteren zählen Fragmentierungen des Holzes, die teils für die Fülle an Rissen in den fossilen Stämmen verantwortlich sind (Abb. 12, 13). Zwei Typen der Fragmentierung sind in den Canitzer Kieselhölzern nachweisbar: 1. Zerfallsstrukturen und 2. Abrasionsstrukturen. Zerfallsstrukturen basieren auf der sukzessiven Aufgliederung des Holzes in zwei Stadien. Im ersten Stadium ist das Holz von sub-mm-breiten Rissen durchzogen, die sich an anatomischen Richtungen orientieren (Abb. 12b). Entsprechend verlaufen die Risse vorwiegend radial sowie auf konzentrischen Bahnen, sodass das Holz in eckige Fragmente zergliedert ist. Das zweite Stadium fällt durch deutlich längere und breitere sowie teils nicht mehr anatomischen Richtungen folgende Risse auf (Abb. 12c, 13a, b). Die Holzfragmente des zweiten

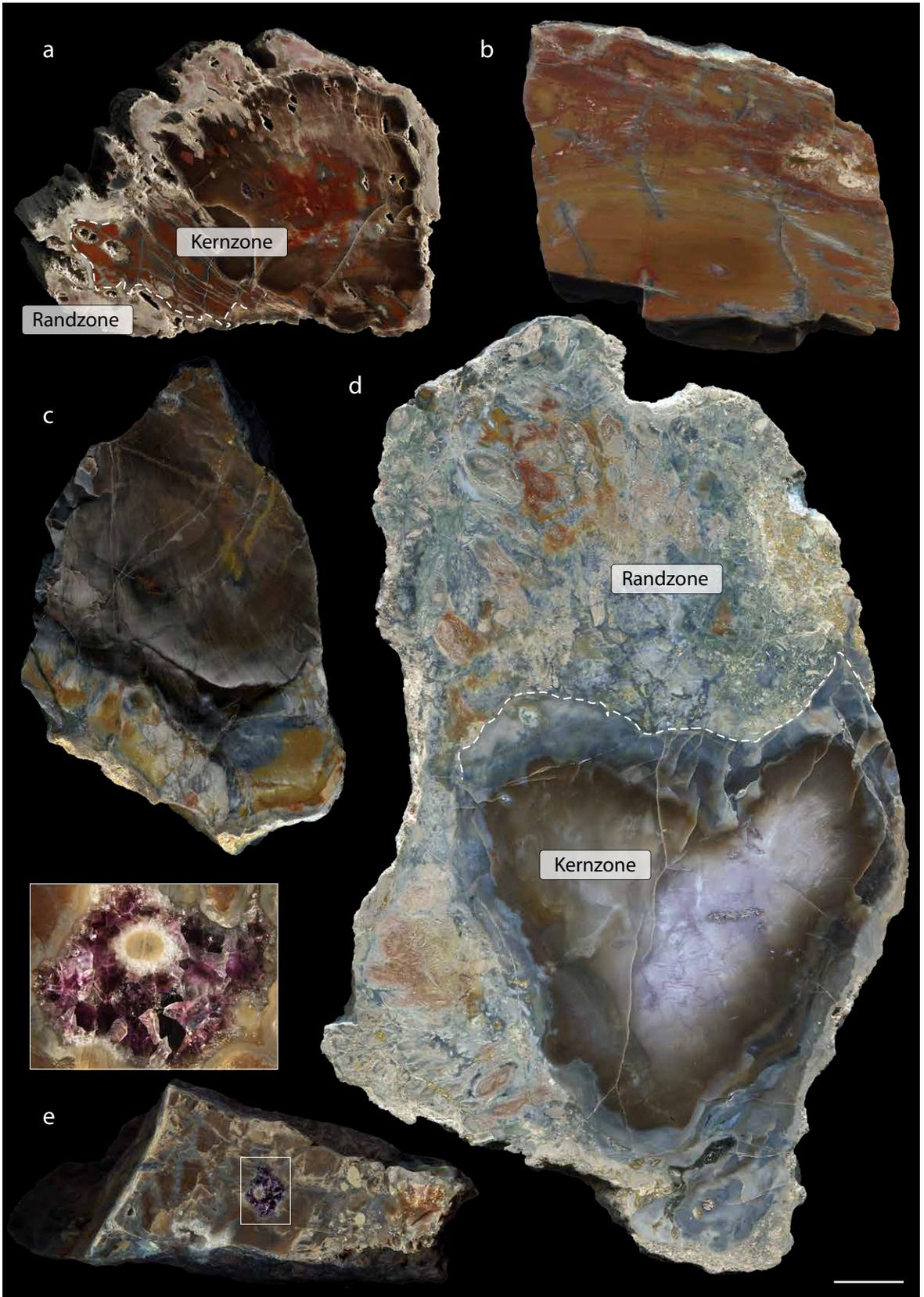
Farbspektrum verkieselter Hölzer aus Canitz-Nord (alle coll. Köhler). Typisch für die fossilen Stämme ist ein randlicher Saum aus Holzfragmenten und kaolinisiertem Nebengestein. Die Farben der versteinerten Gewebe reichen von blaviolett über graublau, graugrün, grau, cremeweiß, honiggelb, orange, rot, braun bis schwarz.

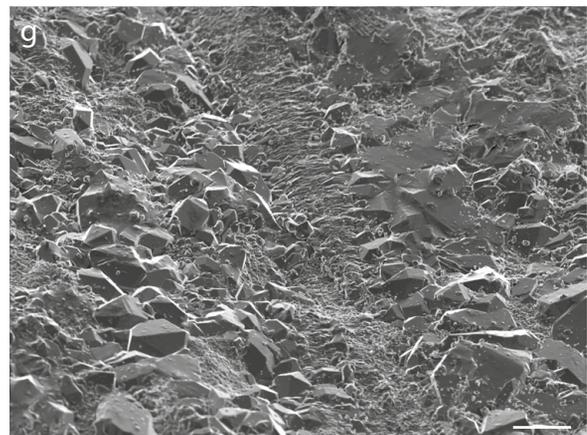
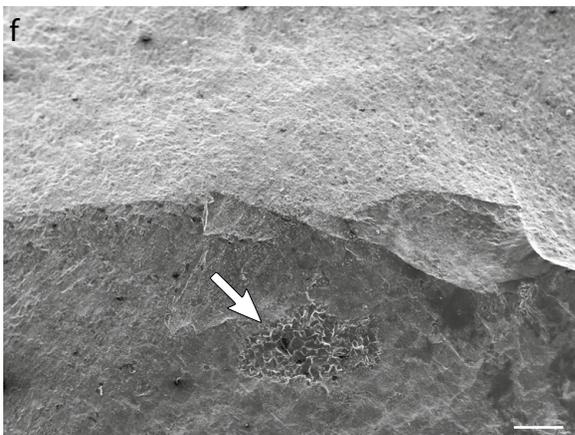
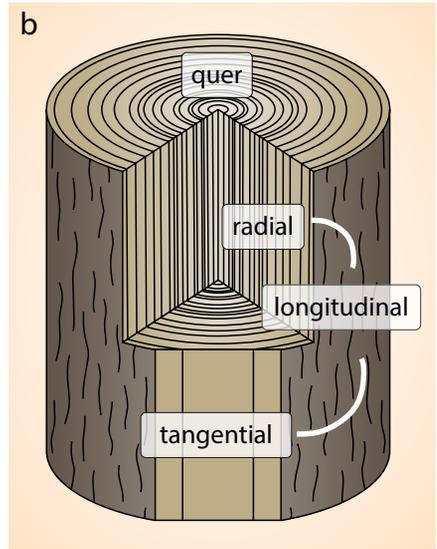
Selten ist grobkristalliner Amethyst an der Mineralisation beteiligt (e). Beachte die taphonomische Differenzierung einiger Kieselhölzer (a, d) in eine Kernzone und eine Randzone. Maßstab: 20 mm.

Colour variability of silicified woods from Canitz-Nord (all coll. Köhler). A typical feature of some fossil trunks is a differentiation into a core and a margin facies. Whereas the first comprises densely silicified wood, the latter consists either of scattered domains of poorly preserved wood mixed up with host rock and chalcedony (d), or is just limited to a less than 20 mm thick bleached fringe (a, b). Scale: 20 mm.

Abb. 10

Fig. 10





- Abb. 11** | Anatomie der Kieselhölzer; Beispiele aus der Kernzone verschiedener Stämme. **a** – Für fossile Hölzer aus Canitz-Nord typische Gewebeerhaltung mit diffus erkennbaren Zellstrukturen im Längsschnitt. Detail aus Abb. 10b, Stamm 4, coll. Köhler. Maßstab: 500 µm. **b** – Notwendige Schnittlagen für die Charakteristik und botanische Einordnung von Hölzern. **c–e** – Stamm 1 in verschiedenen Schnittlagen, coll. MfNC K7570a. **c** – Querschnitt mit Tracheidenreihen sowie dazwischenliegenden Holzstrahlen. Beachte den polygonalen Querschnitt der weniger gescherten Zellen (Pfeil). Maßstab: 200 µm. **d** – Radialschnitt mit den quadratischen Kreuzfeldern von Tracheiden und Holzstrahlen (Pfeil). Maßstab: 200 µm. **e** – Subtangentialer Schnitt. Die senkrechten Zellreihen der Holzstrahlen erscheinen rechtsseitig verwischt (Pfeil), da sie nicht exakt tangential geschnitten sind. Maßstab: 200 µm. **f+g** – REM-Aufnahmen der Kieselhölzer (f: Stamm 1, MfNC K7566v, Maßstab: 200 µm; g: Stamm 7, MfNC K7564w, Maßstab: 20 µm). Muscheliger Bruch (f) und bis 20 µm große Quarzkristalle (g) belegen, dass die Gewebe aufgrund ihrer schlechten Erhaltung kaum Einfluss auf das Bruchverhalten der Kieselhölzer haben.
- Fig. 11** | Fossil wood anatomy; examples from the core facies of various stems. **a** – Poorly preserved wood tissue in longitudinal section, which is widespread among the Canitz-Nord fossil woods. Detail of Fig. 10b, stem 4, coll. Köhler. Scale: 500 µm. **b** – Anatomical planes necessary for the identification of woods. **c** – Transverse section showing tracheid rows separated by rays. Note the polygonal outline of undeformed tracheids (arrow). Scale: 200 µm. **d** – Radial longitudinal section exhibiting square cross-fields of rays and tracheids (arrow). Scale: 200 µm. **e** – Subtangential longitudinal section. Due to the slightly oblique orientation of the cut, the rays obliterate laterally (arrow). Scale: 200 µm. **f+g** – SEM images of silicified woods (f: stem 1, MfNC K7566v, scale: 200 µm; g: stem 7, MfNC K7564w, scale: 20 µm). As indicated by the conchoidal fracture (f) and the presence of tightly packed, up to 20 µm large quartz crystals (g), cell structure has no influence on how the fossils break.

Stadiums zeigen auf engstem Raum eine große Streuung ihrer anatomischen Raumlage, und deuten damit eine Verlagerung und Rotation der einzelnen Holzfragmente an. Insbesondere sehr breite Risse sind, außer durch Chalcedon, auch mit grobem Quarz und Achat verfüllt (Abb. 12d, 13b). Durch Abrasion, d. h. durch mechanische Beanspruchung während des Transports hervorgerufene Strukturen treten in zweierlei Form in den Kieselhölzern auf. Zum einen zählen zu diesem Strukturtyp Gemische aus Schuttstrom-Detritus und 0,2 bis 1,5 cm großen, gerundeten als auch eckigen Kieselholzfragmenten (Abb. 12e), die das unmittelbar an den fossilen Stamm angrenzende Gestein aufbauen. Typischerweise sind die Porenräume dieser Holz-Sediment-Gemische ebenfalls verkieselt (Abb. 12e). Weiterhin treten Abrasionsstrukturen in Form keilförmiger Risse auf, die von der Außenseite der Stämme ausgehend in radialer Richtung und unter Abnahme der Breite in das Stamminnere verlaufen (Abb. 13c, d). Die Füllung der Risse besteht aus Sediment, dessen Porenräume ebenfalls mit Chalcedon verfüllt sind (Abb. 13d).

Die **Randzone** der Kieselhölzer ist in ihrer Ausbildung sehr variabel, und ihr Aussehen scheint mit der Größe der fossilen Stämme zusammenzuhängen. Insbesondere bei kleinen, d. h. bis 15 cm breiten Kieselhölzern beschränkt sich die Randzone auf einen wenige Millimeter bis 1,5 cm breiten, weißen Bleichungsraum, der die Kernzone umgibt (Abb. 10a–c). Dieser Bleichungsraum ist bei einigen fossilen Hölzern umlaufend entwickelt (Abb. 10a); kann allerdings auch nicht durchgängig ausgebildet sein oder gar fehlen, sodass die Kernzone unmittelbar an das Nebengestein grenzt (Abb. 13a, c). Die Grenze gegen die Kernzone ist meist unregelmäßig bis uneben, aber stets scharf ausgebildet, und ihr Verlauf zeichnet häufig annähernd die äußere Form des Kieselholzes nach (Abb. 10a). Die Qualität der Zellerhaltung in dem Bleichungsraum entspricht derjenigen der Kernzone; wenngleich bei einigen Kieselhölzern unregelmäßig geformte Löcher in der Randzone vorkommen (Abb. 10a). Bei verkieselten Stämmen mit Durchmessern von mehreren Dezimetern und Längen von bis zu wenigen Metern nimmt die Randzone meist einen deutlich höheren prozentualen Anteil vom Stammquerschnitt ein (Abb. 9b, 10d). Seltener ist die Randzone nicht durchgängig oder kaum ausgebildet (Abb. 12a). Wie bei kleineren Kieselhölzern auch weist die Grenze gegen die Kernzone einen unregelmäßigen und meist scharfen Verlauf auf; allerdings wird die äußere Form des fossilen Stammes durch diese Grenze nicht nachgezeichnet (Abb. 9d). Anders als im Bleichungsraum kleinerer Kieselhölzer sind Gewebe in der Randzone großer Kieselhölzer schlecht und selektiv erhalten. Entsprechend besteht die Randzone großer Kieselhölzer aus einem Gemisch von Domänen mit Zellerhaltung, die von einer Matrix aus verschiedenfarbigem Chalcedon und makrokristallinem, transparentem Quarz umschlossen sind (Abb. 9b, 10d, 14, 15). Die Domänen mit Zellerhaltung zeigen im Querschnitt einen rautenförmigen bis linsenförmigen, selten unregelmäßigen Umriss, wobei der Durchmesser in radialer Richtung meist größer ist als der in tangentialer Richtung (Abb. 14a, b, 15a). Das weite Größenspektrum der Domänen reicht von 6,7 mm × 4,1 mm bis 64 mm × 24 mm (Durchmesser in radialer Richtung × Durchmesser in tangentialer Richtung). Longitudinale Schnitte belegen eine langgestreckt-ellipsoide bis spindelförmige, dreidimensionale Form der Domänen in Längsrichtung der fossilen Stämme (Abb. 14d). Die Zellen innerhalb der Domänen sind schemenhaft oder diffus erhalten,

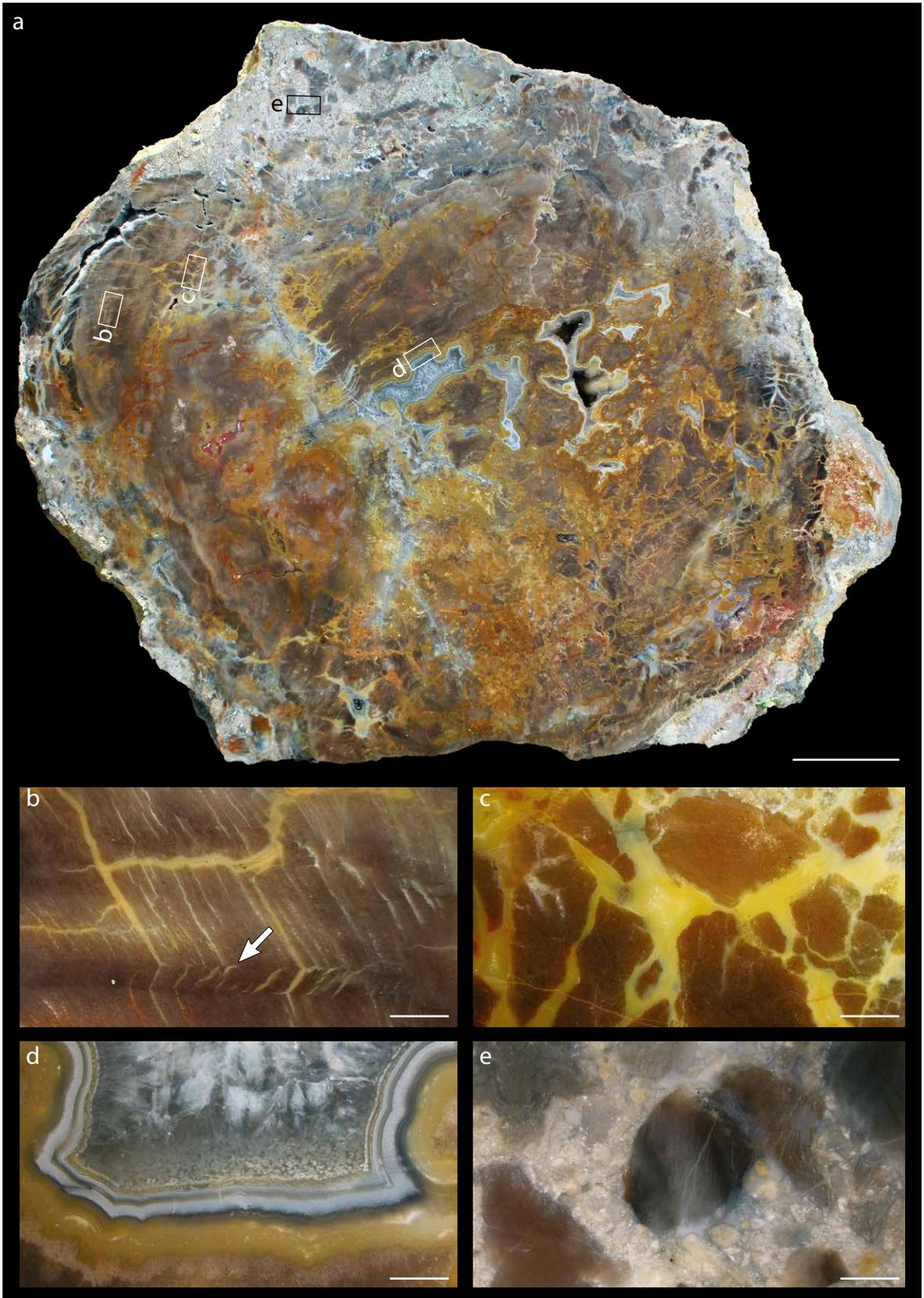


Abb. 12 | Erhaltung und Mineralisation der Kieselhölzer am Beispiel des Stammes 1 (coll. MfNC, K7566b). **a** – Polierter vollständiger Stamm-Querschnitt aus dem untersten Entnahmeabschnitt (vgl. Abb. 3a). Maßstab: 50 mm. **b, c** – Zerfallsstrukturen. **b** – Erstes Stadium mit Zerteilung des Holzes entlang anatomischer Richtungen in polygonale Stücke. Beachte die Richtungsänderung der Risse im Bereich von Scherbahnen im Holz (Pfeil). **c** – Zweites Stadium mit Verlust des Holzzusammenhanges sowie Verlagerung der Polygone. **d** – Achat im Kieselholz. **e** – Holzfragmente, vermengt mit Nebengestein. Maßstab b–e: 2 mm.

Fig. 12 | Preservation and mineralisation of silicified woods, exemplified by stem one (coll. MfNC, K7566b). **a** – Complete transverse section. Scale: 50 mm. **b, c** – Disintegration structures reflecting two stages of wood disaggregation. In the first stage, tissues are split into wood pieces along with delicate fractures following anatomically defined directions (b). in the second stage, wood disintegration is continued by advanced fracturing and dislocation of wood pieces (c). **d** – Agate in silicified wood. **e** – Wood fragments mixed up with host rock detritus. Scales b–e: 2 mm.

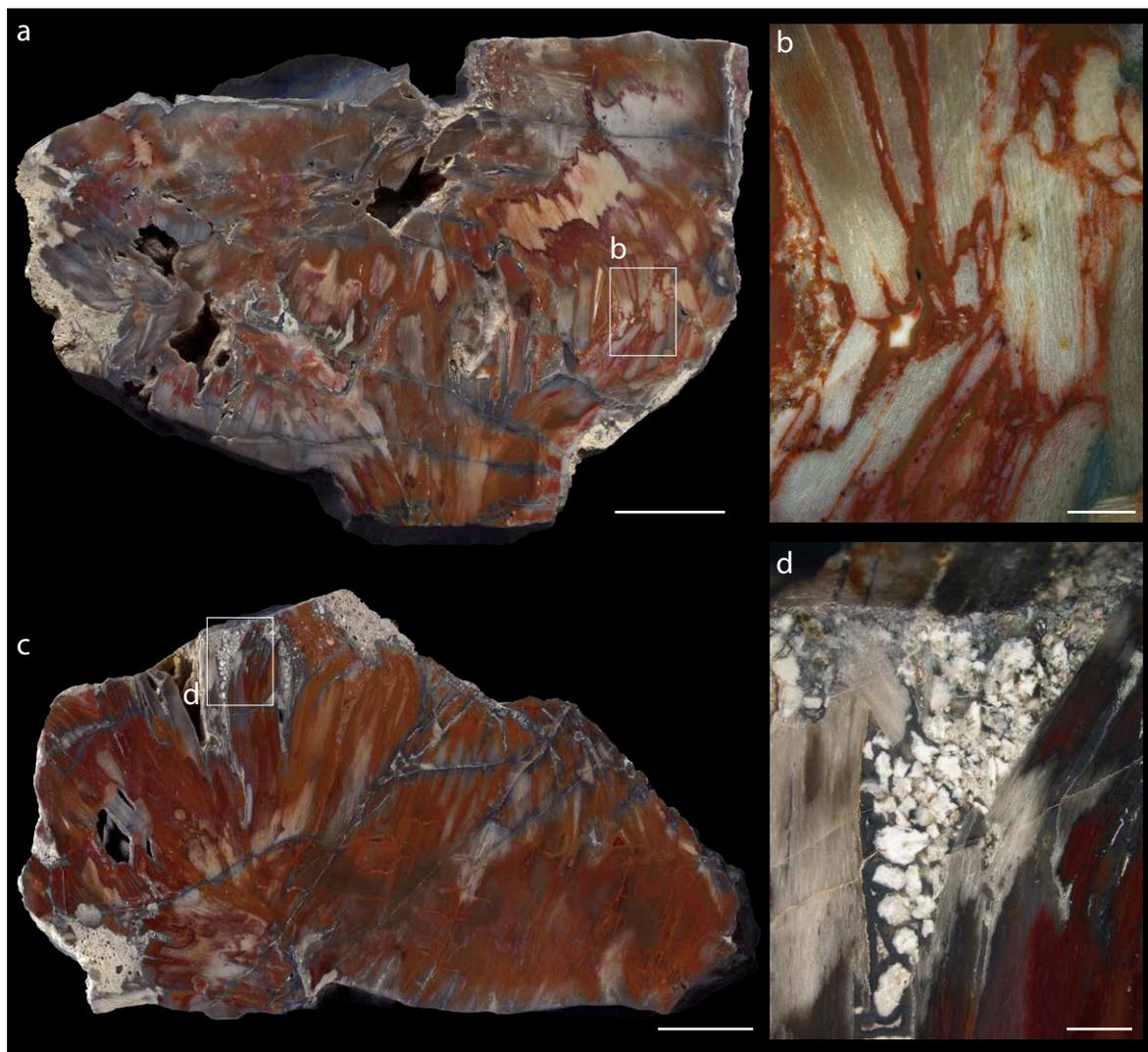
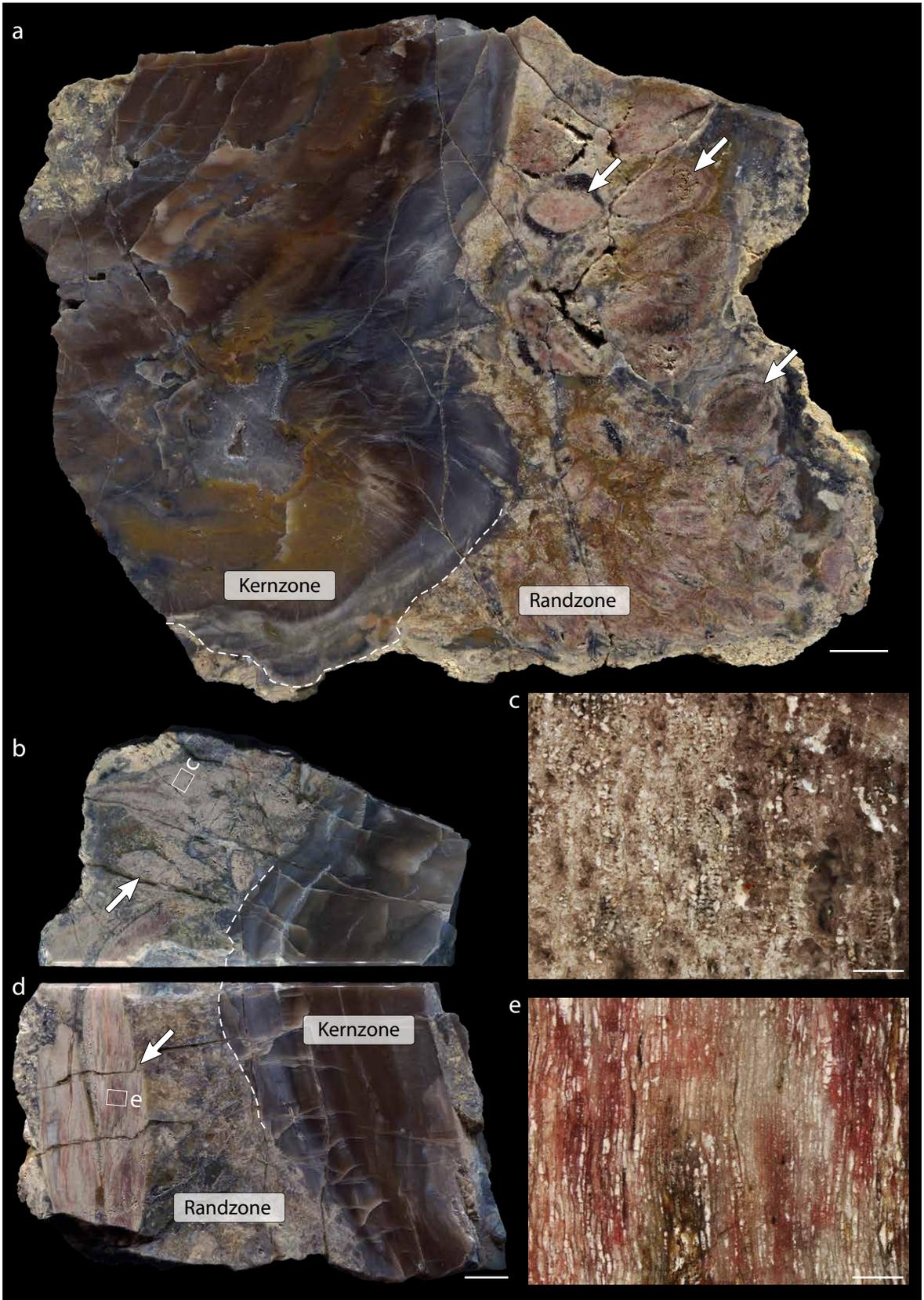


Abb. 13 | Fragmentierungen der Kieselhölzer (alle Stamm 3, coll. Köhler). **a** – Stammfragment im Querschnitt. Maßstab: 20 mm. **b** – Detail aus a mit zahlreichen Kieselholzfragmenten, umschlossen von rötlichem Chalcedon. Maßstab: 2 mm. **c** – Stammfragment im Querschnitt. Maßstab: 20 mm. **d** – Detail aus c mit sedimentgefülltem Riss vom Außenrand des Holzes. Chalcedon füllt den Kornzwischenraum. Maßstab: 2 mm.

Fig. 13 | Fragmentation of silicified woods (all stem three, coll. Köhler). **a** – Transverse section of a stem piece. Scale: 20 mm. **b** – Detail of figure a, showing numerous wood fragments enclosed by reddish chalcedony. Scale: 2 mm. **c** – Transverse section through a piece of the fossil wood. Scale: 20 mm. **d** – Detail of figure c showing a wedge-shaped and sediment-filled fracture starting at the outer stem. Chalcedony captures intergranular spaces. Scale: 2 mm.



- Abb. 14** | Selektive Gewebeerhaltung in der Randzone großer Kieselhölzer (alle Stamm 1, coll. Köhler). **a** – Stammfragment im Querschnitt mit blasseroten Domänen mit Zellerhaltung (Pfeile). Maßstab: 10 mm. **b–e** – Stammfragment im Querschnitt (b+c) sowie Längsschnitt (d+e). Die beiden Schnittlagen zeigen, dass die blasserötlichen Domänen (Pfeile) eine spindelförmige Geometrie besitzen. Maßstäbe: b+d: 10 mm, c+e: 500 μ m.
- Fig. 14** | Selective tissue preservation in the margin facies of a large stem (all stem one, coll. Köhler). **a** – Transverse section of a stem piece. Cells are poorly preserved only within pale red domains of circular, lenticular or rhombic outline (arrow). Mixtures of bluish chalcedony and host rock detritus filled the spaces in between these domains. Scale: 10 mm. **b–e** – Stem piece in transverse section (b, c) and longitudinal section (d, e). Both sections point to a fusiform three-dimensional shape of the pale red domains. Scales: b+d: 10 mm, c+e: 500 μ m.

geschert und meist auch gegeneinander verlagert, sodass der ursprüngliche Aufbau des Holzes aus reihenartig angeordneten Tracheiden und dazwischenliegenden Holzstrahlen nur noch ansatzweise zu erkennen ist (Abb. 14c, e). Die Durchmesser der Zellrelikte liegen zwischen 75 und 146 μ m und damit deutlich über denjenigen der Zellen in der kompakt verkieselten Kernzone. Obwohl die Domänen mit schlechter Zellerhaltung typisch für die Randzone großer Kieselhölzer sind, treten sie selten auch isoliert im Holz der Kernzone auf, teils in Vergesellschaftung mit Amethyst (Abb. 15). Das Holz der Kernzone lässt sich in radialer Richtung in die Domänen verfolgen; allerdings weiten sich die Tracheidenreihen unmittelbar vor dem Übertritt in die Domänen auf (Abb. 15b).

4.3 Spektroskopische Charakteristik der SiO₂-Phasen

4.3.1 Kathodolumineszenz

Im Kontrast zu ihrer großen Farb- und Erhaltungsvielfalt (Abb. 10, 12, 13) weisen die Canitzer Kieselhölzer eine nur wenig differenzierte Kathodolumineszenz auf (Abb. 16, 17). Vorherrschend ist eine schwach rot-violette KL, die sowohl in der Kern- und Randzone der silifizierten Stämme als auch im Chalcedon-Zement des Nebengesteins auftritt (Abb. 16, 17a c). Emissionsspektren belegen, dass diese KL-Phase vorwiegend durch die Überlagerung zweier Emissionsbanden bei 450 nm (blau) und 650 nm (rot) hervorgerufen wird (Abb. 16b). Mehrgipflige Ausschläge zwischen 500 und 600 nm weisen zudem auf Uranyl-Silikat-Komplexe im Quarz hin (Götze et al. 2015a, Pan et al. 2021). Als weiteres charakteristisches Merkmal der schwach rot-violetten KL treten stellenweise gehäuft orangefarbene, bis 50 μ m große, kreisrunde Flecken auf, welche die Strahlungshöfe radioaktiver Zentren darstellen (Abb. 17d; Owen 1988, Meunier et al. 1990). Neben der schwach rot-violetten KL existieren in der Kernzone der versteinerten Stämme auch diffus umgrenzte Areale mit gelber KL der 580-nm-Emissionsbande, die durch Sauerstoff-Fehlstellen und lokale Gitterstörungen im Quarz ausgelöst wird. (Abb. 17d, e; Götze et al. 2015b). In letzteren ist die Zellerhaltung tendenziell besser als in jenen mit schwach rot-violetter KL, und der gelb lumineszierende Quarz ist entweder auf die Zellwände beschränkt oder umfasst die Zellinnenräume.

4.3.2 UV-Fluoreszenz

Unter UV-Einstrahlung zeigen die Kieselholzproben aus Canitz-Nord grüne, orangefarbene, rote und hellblaue Fotolumineszenzen (Abb. 18, 19). Während die ersten drei natürlichen Ursprungs sind, steht die hellblaue Lumineszenz mit der Präparation der Objekte im Zusammenhang. Entsprechend tritt die hellblaue Lumineszenz ausschließlich dort auf, wo Porenräume und Risse vorhanden sind, z. B. in der gebleichten Randzone kleinerer Kieselhölzer (Abb. 10a, 18a–c). Die intensiv rote Fotolumineszenz beschränkt sich auf das Nebengestein, und wird vor allem von magmatischen Klasten erzeugt (Abb. 18e). In den Kieselhölzern auftretende, punktuelle rote Lumineszenzen sind auf Risse begrenzt, die mit Chalcedon gefüllt sind und von Detritus zeugen, der über Frakturen in das Innere der Stämme gelangt ist. Verbreitet und geradezu charakteristisch für die verkieselten Gewebe der fossilen Stämme sind allerdings die lebhaft grünen und orangefarbenen Lumineszenzen (Abb. 18, 19). Das Auftreten der letzteren beiden steht in keinem Zusammenhang mit der Eigenfarbe der fossilen Stämme – ein im sichtbaren Licht graues Areal im Kieselholz kann unter UV-Licht entweder grün oder orange lumineszieren. Trotz des scheinbar willkürlichen Auftretens der Lumineszenzfarben zeichnen sich dennoch einige bei Tageslicht erkennbare Strukturen auch im UV-Bild ab. Zu diesen Strukturen zählen zum einen die Farbzonierungen der Kernzone, deren scharfe, konzentrisch im Stamm verlaufende Grenzen unter UV-Licht durch sprunghafte Änderungen der Lumineszenz-Intensität markiert werden (Abb. 19). Zum zweiten fallen Areale, die sehr reich an Fe³⁺ sind und daher eine intensiv rote Eigenfarbe besitzen, durch eine tendenziell schwächere Fotolumineszenz auf als die umgebenden Kieselholzpartien (Abb. 18). Zuletzt werden Risse unter UV-Licht durch einen intensiv grün lumineszierenden Saum deutlich nachgezeichnet (Abb. 18e, f). Bei Tageslicht erscheinen diese grün lumineszie-

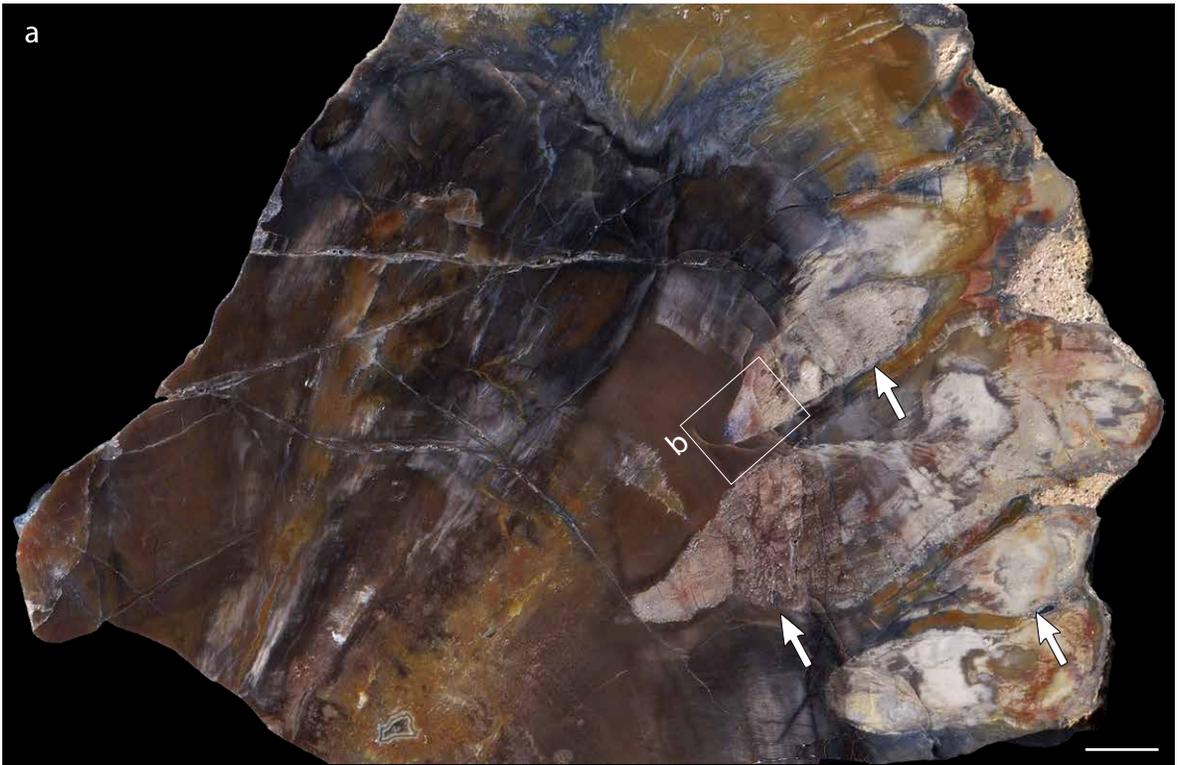


Abb. 15 | Selektive Gewebeerhaltung (Stamm 1, coll. Köhler). **a** – Querschnitt. Die im Umriss rautenförmigen Domänen (Pfeile) sind mit ihrer Längsachse in radialer Richtung im Holz angeordnet. Maßstab: 10 mm. **b** – Detail aus **a**. Unter einem spitzen Winkel treten die Tracheidenreihen (weiße Linien) in die Domänen über. Beachte die rekristallisierte Spitze der Domäne mit grobkristallinem Amethyst. Maßstab: 2 mm.

Fig. 15 | Selective tissue preservation (stem one, coll. Köhler). **a** – Transverse section of a stem piece. The pale red domains of poor anatomical preservation occur within the stem’s core facies and are aligned radially with respect to their largest diameter. Scale: 10 mm. **b** – Detail of figure a showing the tracheid rows (dashed white lines) gradually trespass into the domain. Note increasing spacing of tracheid rows during trespassing and coarse-crystalline amethyst at the domain’s tip. Scale: 2 mm.

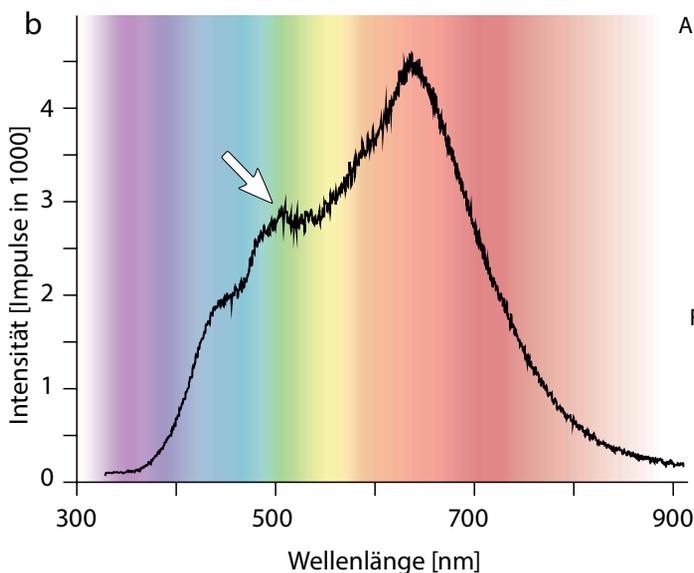
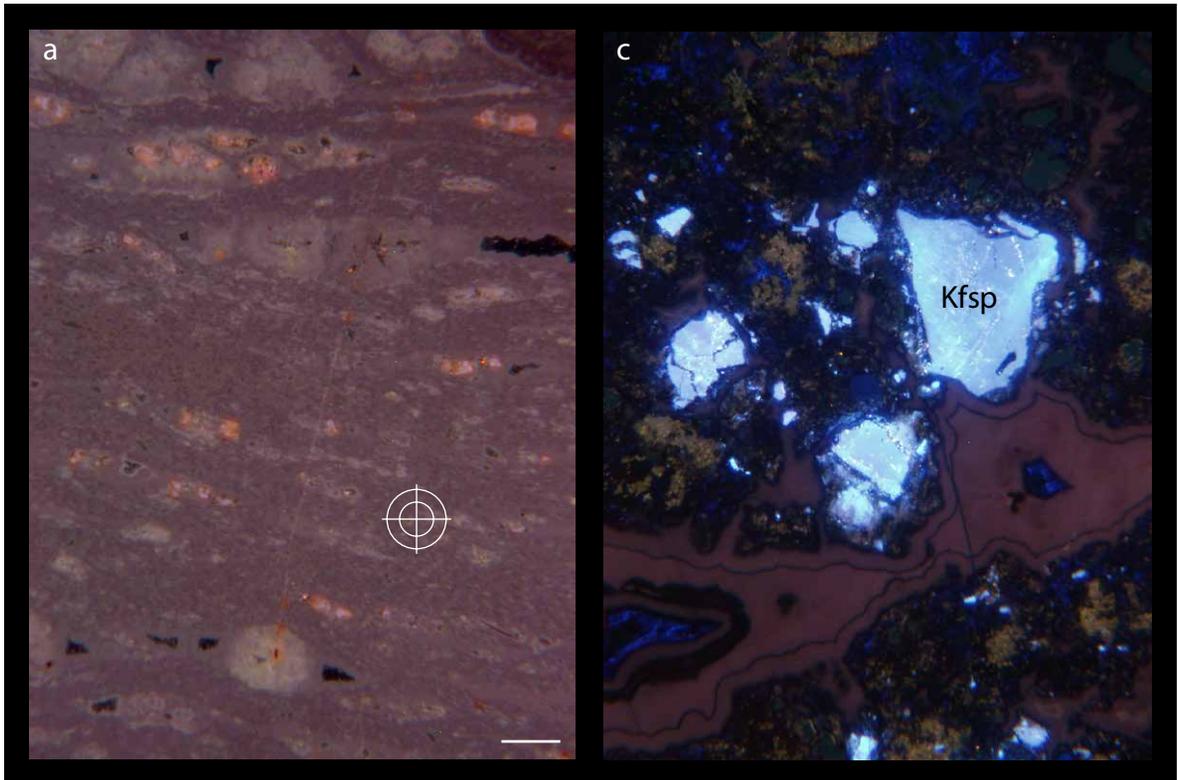


Abb. 16 | Vorherrschende rot-violette KL des verkieselten Holzes. Stamm sieben, coll. MfNC K 7564. **a** – KL-Aufnahme mit Messpunkt. Maßstab: 200 μ m. **b** – Mehrgipfliges KL-Spektrum mit Ausschlägen um 450 nm (blau), 500–600 nm (grün, Pfeil, Uranyl-Silikat-Komplexe) und 650 nm (rot). **c** – Nebengestein des Kieselholzes mit Kalifeldspat-Körnern (Kfsp, hellblaue KL) und Chalcedon-Zement (rot-violette KL). Stamm 1, coll. MfNC K7567.

Fig. 16 | Predominant pale purple CL of the silicified wood. Stem 7, coll. MfNC K7564. **a** – CL image showing the position of the measuring spot. Scale: 200 μ m. **b** – Multimodal CL spectrum revealing peaks at 450 nm, 500–600 nm (arrow, uranyl-silicate-complexes) and 650 nm. **c** – Host rock of a petrified wood comprising potassium feldspar grains (Kfsp, light blue CL) cemented by chalcedony (pale purple CL). Stem one, coll. MfNC K7567.

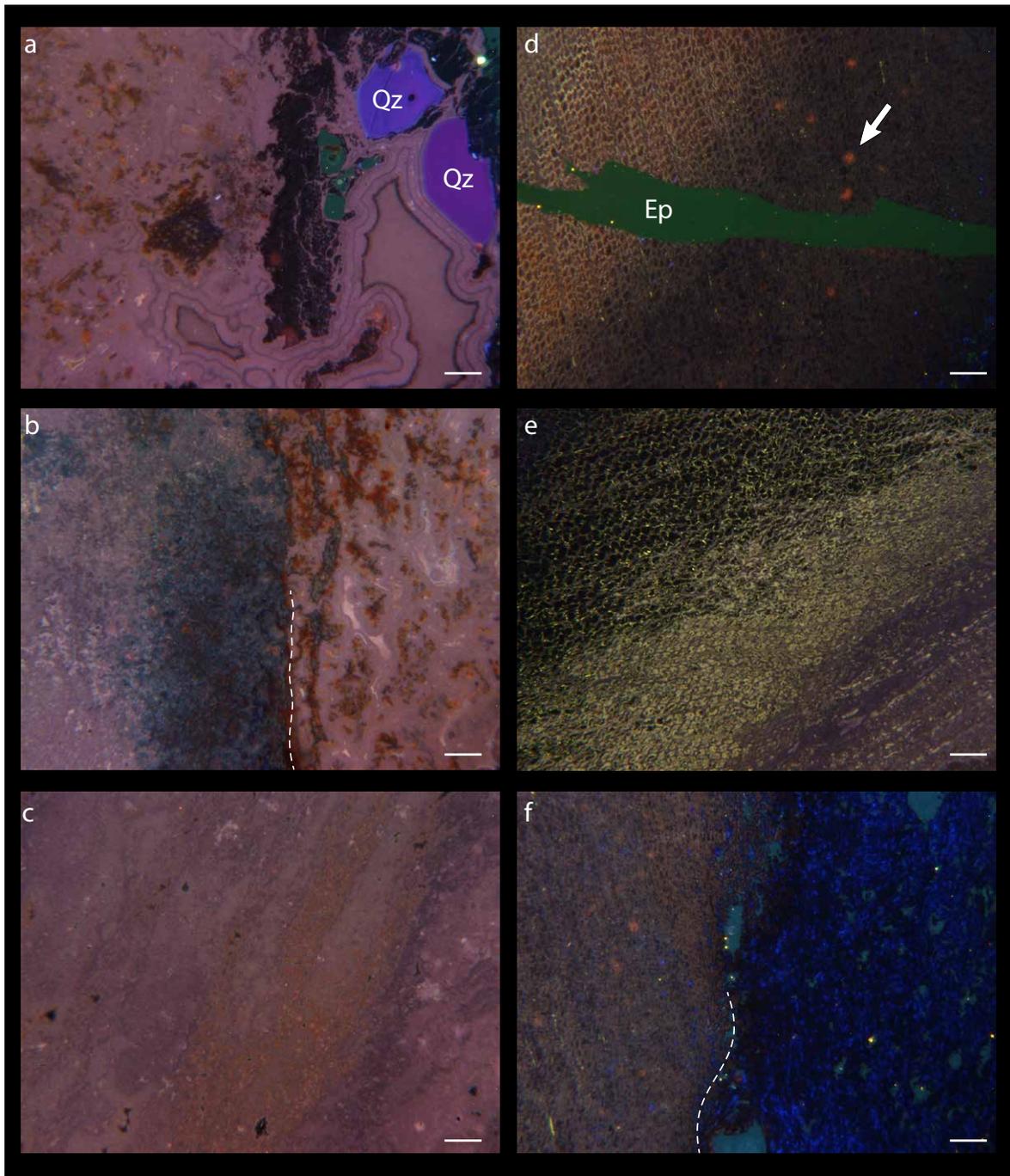


Abb. 17 KL-Charakteristik der Canitzer Kieselhölzer (alle coll. MfNC, a–c: Stamm 7, K7564, d, f: Stamm 1, K7565, e: K7567a). Maßstäbe: 200 µm. **a** – Nebengestein mit Quarz-Phänokristen (Qz) und Chalcedonzement mit rot-violetter KL. **b** – Übergang vom Nebengestein rechts zum Kieselholz links. **c** – Kieselholz mit rot-violetter KL. **d, e** – Gelbe KL der Zellwände und -innenräume in der Kernzone mit Strahlungshöfen (Pfeil) und durch Epoxidharz gefülltem Riss (Ep). **f** – Stark verkieseltes Gewebe links und mit Kaolinit durchsetztes, blau lumineszierendes Gewebe rechts.

Fig. 17 CL features of Canitz silicified woods (all coll. MfNC, a–c: stem seven, K7564, d, f: stem one, K7565, e: K7567a). Scales: 200 µm. **a** – Host rock containing quartz phenocrysts (Qz) and chalcedony cement showing pale purple CL. **b** – Transition from host rock (right) to silicified wood (left). **c** – Silicified wood possessing pale purple CL. **d, e** – Yellow CL of cell walls and cell lumina in the core facies including radiation halos (arrow) and a resin-filled fracture (Ep). **f** – Almost entirely silicified tissue bordering tissue that is riddled with kaolinite (blue CL).

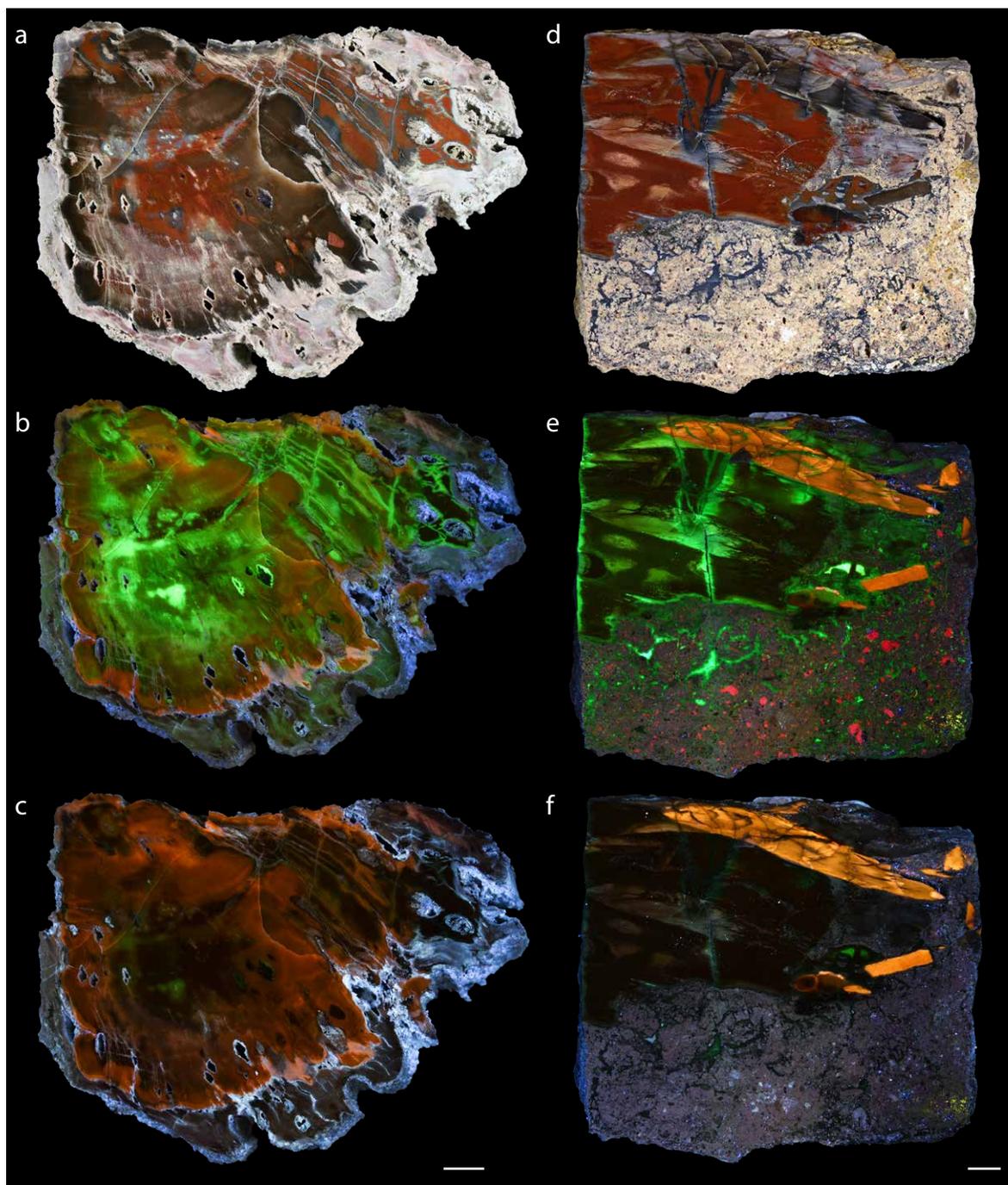


Abb. 18 UV-Lumineszenz der Kieselhölzer aus Canitz-Nord (a–c: Stamm 5, d–f: Stamm 3, alle coll. Köhler). Maßstäbe: 10 mm. **a–c** – Kieselholz mit Bleichungsraum aus Abb. 9a, Stammfragment im Querschnitt bei Tageslicht (a), unter UV von 254 nm (b) bzw. 365 nm (c). Beachte die schwache Lumineszenz der bei Tageslicht intensiv roten Areale. **d–f** – Längsschnitt eines Stammstückes mit Nebengestein bei Tageslicht (a), unter UV von 254 nm (b) bzw. 365 nm (c). Besonders unter UV von 254 nm zeigen Risse einen intensiv grün lumineszierenden Saum (Pfeile).

Fig. 18 UV luminescence of silicified woods from Canitz-Nord (a–c: stem 5, d–f: stem 3, all coll. Köhler). Scales: 10 mm. **a–c** – Transverse section of a stem piece by daylight (a), under UV at 254 nm (b) and 365 nm (c). Note weak UV luminescence of areas possessing a red colour. **d–f** – Longitudinal section through a stem piece with attached host rock by daylight (d), under UV at 254 nm (e) and 365 nm (f). Especially at lower UV wavelengths, fractures show intense green luminescence fringes (arrows).

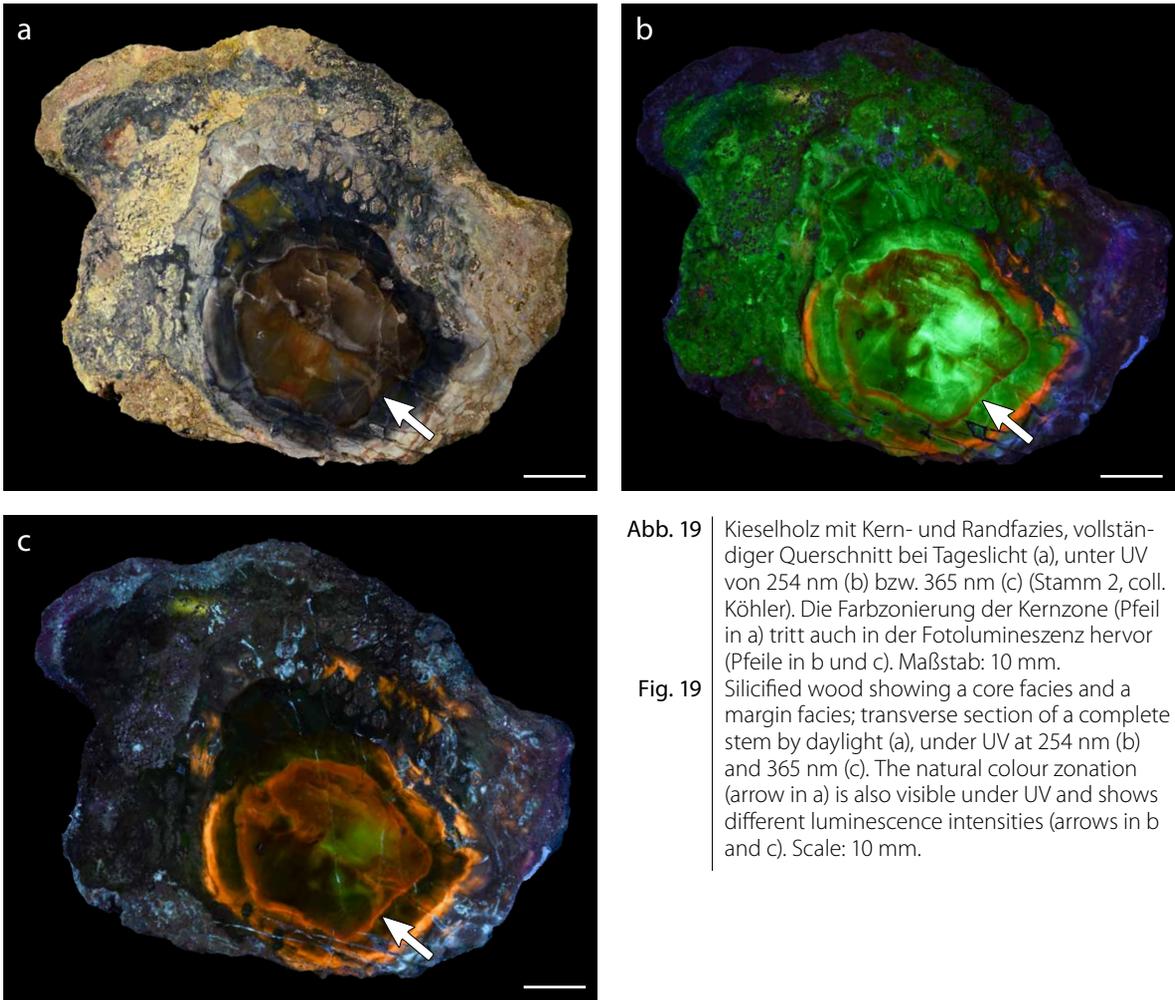


Abb. 19 Kieselholz mit Kern- und Randfazies, vollständiger Querschnitt bei Tageslicht (a), unter UV von 254 nm (b) bzw. 365 nm (c) (Stamm 2, coll. Köhler). Die Farbzonierung der Kernzone (Pfeil in a) tritt auch in der Fotolumineszenz hervor (Pfeile in b und c). Maßstab: 10 mm.

Fig. 19 Silicified wood showing a core facies and a margin facies; transverse section of a complete stem by daylight (a), under UV at 254 nm (b) and 365 nm (c). The natural colour zonation (arrow in a) is also visible under UV and shows different luminescence intensities (arrows in b and c). Scale: 10 mm.

renden Säume häufig ebenfalls als farblich veränderte Areale im Kieselholz (Abb. 18d). Entsprechend der spektroskopischen Charakteristik der grünen Lumineszenz und ihrer Bindung an Risse und Resthohlraumfüllungen besteht eine gewisse Analogie zur Fixierung von Uranyl-Ionen in Vulkanitachaten (Götze et al. 2015a), die auch in Kieselhölzern anderer Fundorte erkennbar wurde (Löcse et al. 2019).

5 Herkunft, Fossilisation und Alter der Kieselhölzer

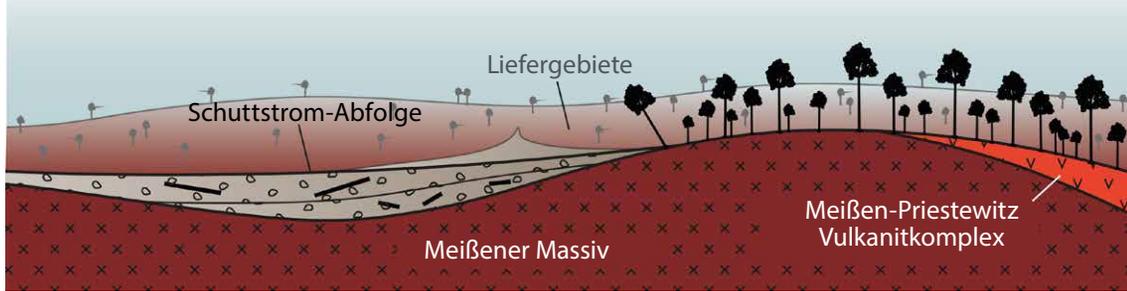
Versteinerungen zählen aufgrund ihrer dreidimensionalen Erhaltung von Geweben zu den bedeutendsten Quellen für die Erforschung der Vegetation vergangener Erdzeitalter. Räumliche Einblicke in Zellverbände und, sofern gegeben, Organzusammenhänge gestatten die Rekonstruktion der Anatomie und Wuchsform der fossilen Pflanze und offenbaren dadurch entscheidende Informationen zur ihrer Individualentwicklung und verwandtschaftlichen Stellung (z. B. Neish et al. 1993, Noll et al. 2005, Noll 2012). Unter besonderen Erhaltungsbedingungen sind zudem Aussagen zu Zellteilungsprozessen, Fortpflanzungsmechanismen, ökologischen Wechselwirkungen mit anderen Pflanzen, Tieren oder Pilzen oder gar zu extraterrestrischen Wachstumsfaktoren möglich (Stockey & Rothwell 2003, Bomfleur et al. 2014, Feng et al. 2015, Luthardt & Rößler 2017, Harper et al. 2017, 2018). Das Gewinnen taxonomischer und paläoökologischer Aussagen aus anatomisch erhaltenen Pflanzenfossilien ist jedoch mit der Herausforderung konfrontiert, dass die Fossilwerdung stets mit einem Informationsverlust einhergeht. Zum einen betrifft der Verlust die transportbedingte Loslösung der Pflanze von ihrem einstigen Wuchsort, der nur in

selteneren Fällen dem Fossilisationsort entspricht (Gastaldo & Demko 2011). Dazu gehören parautochthone, d. h. dem Wuchsort nahe Einbettungen beispielsweise in Überflutungsebenen oder Seen (Rich 1989, Barthel 2001) bis hin zu vulkanisch oder sedimentär in situ eingehüllten Pflanzen oder Ökosystemen (Rygel et al. 2004, Hámor-Vidó et al. 2010, Luthardt et al. 2016, 2017, Opluštil et al. 2009, 2014). Zum zweiten können Zersetzungs- und Transportprozesse sowie die Mineralisation der Gewebe zu einer teilweisen oder vollständigen Auslöschung anatomischer Details und von Organzusammenhängen führen (Trümper et al. 2020a, b). Entsprechend kommt dem Verständnis der Fossilwerdung von umgelagerten, anatomisch schlecht erhaltenen Verkieselungen, wie den fossilen Stämmen aus Canitz-Nord, eine besondere Bedeutung zu.

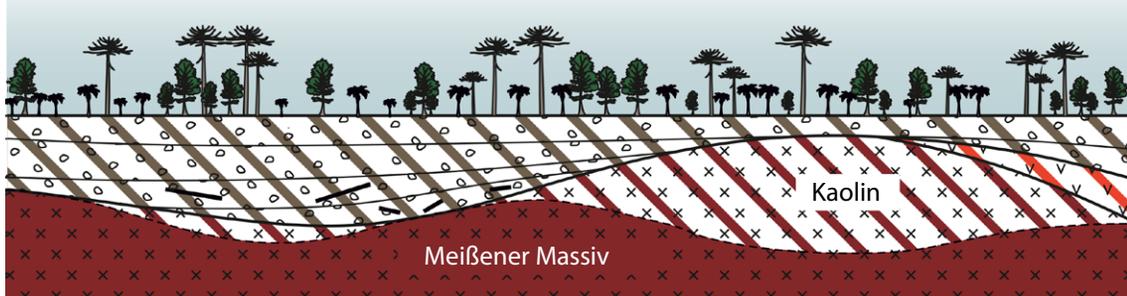
Dass es sich bei dem Canitzer Vorkommen um eine allochthone Fossilergemeinschaft handelt, belegt die Erhaltung der Kieselhölzer: Die Dominanz von unorientiert eingebetteten Stammbruchstücken (Abb. 3a, 5a, 9a) sowie die in den fossilen Geweben dokumentierten Abrasions- und Fragmentierungsstrukturen (Abb. 13) sind Ausdruck einer intensiven mechanischen Aufarbeitung der Bäume im Zuge des Eintrags und während des Transports. Entsprechend bilden die versteinerten Bäume keine Lebensgemeinschaft ab, sondern wurden aus einem Liefergebiet zusammengetragen (Abb. 20a). Die starke Fragmentierung der Kieselhölzer legt zudem eine transportbedingte Selektion zugunsten holzbildender Pflanzen nahe, weshalb die Canitzer Kieselhölzer wahrscheinlich nur einen Ausschnitt der Vegetation ihrer Liefergebiete repräsentieren. Die Größe letzterer ist unbekannt; allerdings lässt der an verschiedenen Plutonit-Typen reiche Modalbestand der einbettenden Debrite darauf schließen, dass die Stämme führenden Sedimente von einem größeren Areal des Meißener Massivs gespeist wurden. Die heutigen Ausstriche der Monzonite und des Knorre-Monzogranits bis -Granodiorits zugrunde legend (Abb. 1), sind Transportdistanzen von wenigen Kilometern denkbar. Auch die Gerölldurchmesser von 10 cm bis selten 20 cm (Abb. 4d, 5), die teils gute Rundung größerer Klasten (Abb. 5c) sowie die vorwiegend matrixgestützten Gefüge der Schuttstrom-Ablagerungen (Abb. 4b) widersprechen im Zusammenspiel mit ihrer Zusammensetzung einem Transport über extrem kurze Distanzen (vgl. dagegen Abb. 7). Es handelt sich bei den fossilführenden Canitzer Sedimenten folglich nicht um eluviale, d. h. durch In-situ-Verwitterung oder ortsnah und gravitativ abgelagerte Bildungen, wie z. B. Hangschutte. Eher ist ein alluviales System bzw. ein Schuttfächer als Sedimentationsraum wahrscheinlich (Abb. 20a). Um die Position des Canitzer Kieselholz-Vorkommens im alluvialen System und die einstige Geländebeschaffenheit näher charakterisieren zu können, ist allerdings ein tieferes, dreidimensionales Verständnis des Aufbaus der Kieselhölzer führenden Sedimente sowie ihrer Herkunft erforderlich.

Wann die alluvialen, Kieselhölzer führenden Sedimente gebildet wurden, kann nur grob angegeben werden. Die im Liegenden der Debrite anstehenden unterkarbonischen Monzonite des Meißener Massivs sowie die sekundäre Kaolinisierung der Magmatite und Debrite gestatten nur eine Eingrenzung auf den Zeitraum Karbon–Prä-Kreide/Paläogen. Auffällig ist allerdings das Fehlen vulkanischer Gerölle aus dem Vulkanit-Komplex von Meißen-Priestewitz in den Schuttstrom-Ablagerungen (Abb. 5). Angesichts der heutigen Ausstriche der in den Sedimenten nachgewiesenen Plutonite im Meißener Massiv und der Verbreitung der Vulkanite ist unwahrscheinlich, dass der Meißen-Priestewitz-Vulkanitkomplex nicht Teil der einstigen Liefergebiete der Schuttstrom-Ablagerungen war. Daher könnte die Zusammensetzung der Kieselhölzer führenden Sedimente darauf hindeuten, dass ihre Ablagerung zeitlich vor der Bildung der Vulkanite und damit im Karbon erfolgte. Ein Minimalalter der Sedimente wäre entsprechend durch den auf $302 \pm 2,5$ Millionen Jahre datierten Leutewitz-Ignimbrit gegeben. Das Maximalalter hingegen entspräche dem Zeitpunkt, zu dem das Meißener Massiv erstmals der Abtragung ausgesetzt war. Hofmann et al. (2009) grenzten die Exhumierung der Meißener Plutonite auf den Zeitraum 327–305 Millionen Jahren ein. Angesichts der zunächst erforderlichen Abtragung der Deckgesteine im Hangenden der Meißener Intrusiva dürfte das Meißener Massiv daher erst im Pennsylvanum das Erosionsniveau erreicht haben. Gestützt wird diese Ableitung von der Überlagerung der Plutonite durch den oberkarbonischen Leutewitz-Ignimbrit einerseits (Benek et al. 1977) und die etwa zeitgleich abgelagerte Unkersdorf-Formation im benachbarten Döhlen-Becken andererseits (Reichel & Schneider 2012, Schneider et al. 2015, 2020). Ein paläozoisches Alter der Canitzer Schuttstrom-Ablagerungen stünde im Einklang mit der monotonen Zusammensetzung der Kieselholz-Vergesellschaftung aus Gymnospermenstämmen vom Typ *Agathoxylon*, während in kretazisch-känozoischen Sedimenten auch ebenso erhaltungsfähige Angiospermen-Hölzer und/oder Palmenstämmen zu erwarten wären. Eine zukünftige Klärung der Altersstellung der Canitzer Hölzer darf sich daher nicht nur auf die Klärung der Lagebeziehungen von fossilführenden Schuttstrom-Ablagerungen und Vulkaniten beschränken. Auch die Auswertung von zukünftigen Stamm-Neufunden birgt das Potenzial, die Frage nach der stratigraphischen Position der fossilen Bäume mit paläobotanischen Argumenten zu klären.

a Präkretazisch-känozoische Schuttstromablagerung auf Grundgebirge



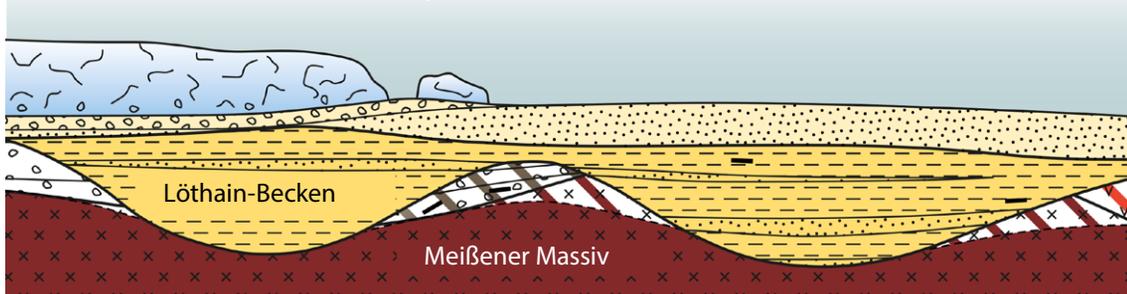
b Kretazisch-känozoische Kaolinisierung



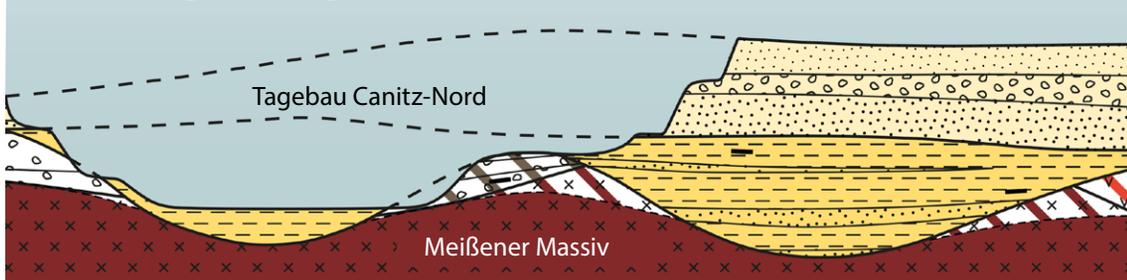
c Frühmiozäne Erosion und fluviatile Sedimentation



d Post-frühmiozäne Erosion und pleistozäne Glazialsedimentation



e Rezente Tagebau-Anlage



- Abb. 20** | Modellvorstellung zur Entstehung des Profils im Tagebau Canitz-Nord. (Legende: Abb. 1). Die Kieselhölzer führenden Schuttstrom-Ablagerungen wurden einschließlich des unterlagernden Meißener Massivs von der tiefgründigen, kretazisch-känozoischen Kaolinisierung erfasst. Die Erosion vor Beginn der Sedimentation des Löthain-Beckens hinterließ inselförmige Reliktorkommen des Kaolins, die durch den Tagebau heute angeschnitten sind.
- Fig. 20** | Proposed genetic model for petrified-log containing debris-flow deposits from the Canitz-Nord Pit. Alluvial sediments derived from the local basement and incorporated woody debris on exhumed magmatites of the Meißener Massif (a). Deposition was followed by intense kaolinisation during Cretaceous to Paleogene times, affecting both the magmatites and the overlying debrites (b). In the early Miocene, erosion and subsequent fluvial deposition in the Löthain Basin reworked kaolinised rock sequences and produced kaolinitic sands and clays (c). Following erosion during the Miocene to middle Pleistocene, glacial sediments were formed in the Meißener area (d). Present-day mining aiming at the Löthain Basin clays caused the Canitz-Nord Pit and, thus, enabled discoveries of the petrified logs (e).

Das Vorkommen der Kieselhölzer in plastischen alluvialen Sedimenten lässt auf eine rasche Einbettung der Stämme schließen, durch die die Fossilisation der Hölzer infolge Luftabschluss begünstigt wurde. Wann aber die Verkieselung einsetzte und wie lange sie andauerte, kann nicht präzisiert werden. Die nahezu homogene KL-Charakteristik der SiO_2 -Phasen (Abb. 16, 17) weist lediglich auf eine einphasige Silifizierung der Stämme hin, die auch das angrenzende Nebengestein zementierte (Abb. 17a). Die Verkieselung ging mit dem Einbau von Uranyl-Ionen einher (Abb. 16b, 18b), die wohl aus den im einbettenden Sediment häufigen Magmatiten des Meißener Massivs stammen. Zudem ist die gelbe KL (Abb. 17d, e) Ausdruck eines Sauerstoffdefizits während der Versteinerung, das wahrscheinlich durch die Zersetzung des luftdicht eingedeckten Holzes bedingt wurde (Trümper et al. 2018). Die KL deutet zudem darauf hin, dass die Kieselsäure aus den an intermediären und sauren Plutoniten reichen Schuttstrom-Ablagerungen stammt: die prominente, rote KL-Emissionsbande um 650 nm, wie bei den fossilen Stämmen aus Canitz (Abb. 16b), tritt andernorts bevorzugt in vulkanoklastischen und vulkanisch eingebetteten Kieselhölzern sowie in vulkanischen Quarzen auf und scheint daher magmatogene SiO_2 -Quellen anzuzeigen (Götze et al. 2001, Matysová et al. 2010, Trümper et al. 2018). Im Canitzer Fall ist von einer Freisetzung der Kieselsäure durch Alteration bzw. Verwitterung des magmatischen Detritus auszugehen. Ob die Kieselsäure aber mit der kretazisch-känozoischen Kaolinisierung oder bereits eher aus dem Sediment mobilisiert wurde, kann mit den derzeit vorliegenden Resultaten nicht entschieden werden.

Die Abfolge aus karbonischen Magmatiten und Kieselhölzer führenden Sedimenten unterlag im Zeitraum Kreide–Miozän einer tiefgründigen Kaolinisierung (Abb. 20b). Mit Anlage des Löthain-Beckens im frühen Miozän wurden die kaolinisierten Gesteine partiell abgetragen und parautochthon als fluviatile bis limnische Feinklastite und Sande abgelagert (Abb. 20c; Kleeberg & Lange 2014). Die in den miozänen Sedimenten vorkommenden Kieselhölzer (Abb. 8) können dabei auf zwei Wegen in den Ablagerungsraum gelangt sein: 1. per Eintrag aus miozänen Pflanzen-Vergesellschaftungen mit nachfolgender Verkieselung oder 2. durch Abtragung der älteren kaolinisierten, Kieselhölzer führenden Gesteine. Letzterer Fall ist wahrscheinlicher, angesichts der geringen Abrollung der Kieselhölzer, ihrer UV-Lumineszenz, die mit derjenigen der fossilen Stämme aus den Schuttstrom-Ablagerungen übereinstimmt sowie ihrer deutlich stärkeren Bleichung (Abb. 8). Im Pleistozän schloss sich die Ablagerung glazialer Sedimente an (Abb. 20d), ehe das Profil und die Kieselhölzer führenden Gesteine durch Anlage der Tongrube Canitz-Nord freigelegt wurden (Abb. 20e).

6 Schlussfolgerungen

Aufgrund ihrer vielfältigen Geologie mit Aufschlüssen, die vom Präkambrium bis in das Quartär reichen, gilt die Region Meißener seit Jahrhunderten als klassisches Forschungsgebiet der Erdgeschichte in Europa. Begehrte Bau- und Dekorsteine, wie der Meißener Riesenstein-Granit, das umfangreichste Pechsteinvorkommen Zentraleuropas in Garsebach einschließlich der ihnen angehörenden „Wilden Eier“, die nicht nur durch ihre spektakuläre Klippenfazies bekannt gewordene fossilführende Kreide des Elbtals sowie die für die europäische Hartporzellan-Herstellung historisch bedeutsame Kaolinlagerstätte in Seilitz befeuerten seit jeher das geologische Interesse. Der erstmals erbrachte Nachweis von Sedimenten mit meterlangen, verkieselten Stämmen auf dem Meißener Massiv gilt nicht nur als Beleg für die fruchtbare Zusammenarbeit von Freizeitforschern und Berufspaläontologen/-geologen. Das Canitzer Vorkommen zeigt, wie neue Erkenntnisse auch in vermeintlich gut untersuchten Fundregionen gewonnen werden können. Zu den Ergebnissen zählen, dass:

- im Raum Seilitz-Löthain neben den karbonischen Magmatiten auch vulkaniklastische Sedimente die Ausgangssubstrate der Kaoline bildeten;
- Kieselhölzer führende Ablagerungen auf dem Meißener Massiv existieren, deren Bildung vor der kretazisch-frühkänozoischen Kaolinisierung erfolgte;
- farblich und taphonomisch vielgestaltige Kieselholz-Fundkomplexe einen fundortspezifischen, spektroskopisch nachweisbaren Fingerabdruck besitzen können.

Vorerst offen bleiben die Fragen nach dem Alter und der paläobotanischen Natur der Kieselhölzer. Die Antworten darauf besitzen jedoch nach den hier gewonnen Erkenntnissen eine potenzielle Schlüsselfunktion für das Verständnis der geologischen Entwicklung der Region Meißen. Zukünftige Arbeiten sollten daher vor allem die folgenden Aspekte einschließen:

1. die Aufsammlung weiterer Kieselhölzer und Dokumentation ihrer verkieselten Gewebe, um die Bestimmung zu detaillieren;
2. die Klärung der Lagerungsverhältnisse zwischen Kieselhölzer führenden Sedimenten und den im Osten der Tongrube folgenden, auf das ausgehende Karbon datierten Vulkaniten des Meißener-Priestewitz-Komplexes;
3. die Erfassung des Modalbestands und der Architektur der Schuttstrom-Ablagerungen zur vollständigeren Rekonstruktion der Liefergebiete und Schüttungsrichtungen sowie zur Suche eventuell aufgearbeiteter Vulkanite.

Dank

Besonderer Dank gebührt Gunar Arnold, Meißen, dem die ersten Funde versteinerner Hölzer in Canitz-Nord gelangen und der ihre Bearbeitung durch Weiterleitung erst ermöglichte. Bei den ersten Recherchen unterstützte uns Hans Theisinger, Hartmannsdorf. Tino Reinhold, Meißen, half unserem Team bei der Bergung der Funde über einen mehrjährigen Zeitraum. Heiko Sarodnik, Geschäftsführer bei der den Tagebau betreibenden Sibelco Deutschland GmbH, zeigte für unsere geologischen Arbeiten stets Aufgeschlossenheit und Entgegenkommen. Unsere Forschungen wurden sehr wohlwollend begleitet, obwohl der Tagebau von betriebsfremden Personen nicht betreten werden darf. Jens Czošek, Kamenz, stellte freundlicherweise Literatur zur Verfügung. Anja Obst, Freiberg, ermöglichte die Analyse der Kieselhölzer mittels Rasterelektronenmikroskopie. Wolfgang Krahl, Weinböhla, und Tristan Roscher, Deutschneudorf, sicherten in bewährter Weise das Schleifen und Polieren der Funde. Dr. Michael Magnus, TU Bergakademie Freiberg, danken wir für die Anfertigung der Dünnschliffpräparate; Mike Flemming, Chemnitz, für die Fotografie der Kieselhölzer unter UV. Prof. Dr. Jörg W. Schneider, Freiberg, stellte freundlicherweise das Foto einer rezenten Schuttstrom-Ablagerung aus dem Pamir zur Verfügung.

Literatur

- Akahane, H., Furuno, T., Miyama, H., Yoshikawa, T. & Yamamoto, S. (2004): Rapid wood silicification in hot spring water: An explanation of silicification of wood during the Earth's history. – *Sediment. Geol.*, **169**: 219–228.
- Baker, M. L., Baas, J. H., Malarkey, J., Jacinto, R. S., Craig, M. J., Kane, I. A. & Barker, S. (2017): The effect of clay type on the properties of cohesive sediment gravity flows and their deposits. – *J. Sed. Res.*, **87**: 1176–1195.
- Barthel, M. (2001): Pflanzengruppen und Vegetationseinheiten der Manebach-Formation. – *Beitr. Geol. Thür.*, N. F., **8**: 93–123.
- Beck, R. (1914): Über einen Graniteinschluß im Pechstein von Garsebach bei Meißen und über Entwässerungsvorgänge in diesem Gestein. – *Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges.*, **66**: 244–250.
- Beeger, D. & Quellmalz, W. (1994): Dresden und Umgebung. – In: Sammlung geologischer Führer, **87**: 1–205; Stuttgart (Gebrüder Borntraeger).
- Benek, R., Jentsch, F., Pälchen, W. & Röllig, G. (1977): Die permosilesischen Vulkanite von Meißen, des Tharandter Waldes und des Osterzgebirges. – In: Röllig, G. & Schwab, M. (Hrsg.): Varistischer subsequenter Vulkanismus. Exkursionsführer der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften. S. 52–69; Berlin (Gesellschaft für Geologische Wissenschaften).
- Blair, T. C. & McPherson, J. G. (1994): Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. – *J. Sed. Res.*, **64**: 450–489.
- Blankenburg, H.-J. (1988): Achat. Eigenschaften, Genese, Verwendung. – 203 S.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).

- Bomfleur, B., McLoughlin, S. & Vajda, V. (2014): Fossilized nuclei and chromosomes reveal 180 million years of genomic stasis in royal ferns. – *Science*, **343**: 1376–1377.
- Costa, J. E. (1984): Physical geomorphology of debris flows. – In: Costa, J. E. & Fleisher, P. J. (Hrsg.): *Developments and applications of geomorphology*. S. 268–313; Berlin (Springer).
- Czożek, J. (2002): Vulkanologisch-petrographische Untersuchungen des Vulkanitkomplexes von Dobritz/Garsebach im Triebischtal/Meißen. – Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg.
- Czożek, J. (2008): Am Fuße des Götterfelsens – Das Triebischtal bei Meißen. – In: Czożek, J. (Hrsg.): *Die Erde knallt! Vulkane in Sachsen*. S. 31–42; Kamenz (Museum der Westlausitz).
- Daniels, F. J. & Dayvault, R. D. (2006): *Ancient Forests. A Closer Look at Fossil Wood*. 450 S.; Grand Junction, CO, USA (Western Colorado Publishing Company).
- Dernbach, U. (Hrsg.) (1996): *Versteinerte Wälder*. – 188 S.; Heppenheim (D'ORO Verlag).
- Elsner, H. (2017): *Kaolin in Deutschland*. 73 S.; Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).
- Felsche, M. (2012): Die Vulkanite von Garsebach-Dobritz im Meißenner Vulkanitkomplex. – Unveröff. feldgeologischer Bericht. 11 S.; Nossen.
- Feng, Z., Schneider, J. W., Labandeira, C. C., Kretzschmar, R. & Rößler, R. (2015): A specialized feeding habit of Early Permian oribatid mites. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **417**: 121–125.
- Förster, H.-J., Tischendorf, G., Pälchen, W., Benek, R., Seltmann, R. & Kramer, W. (2011): Spätvariszischer Magmatismus. – In: Pälchen, W. & Walter, H. (Hrsg.): *Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte*. S. 257–296; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Nägele u. Obermiller).
- Gastaldo, R. A. & Demko, T. M. (2011): The relationship between continental landscape evolution and the plant-fossil record: Long term hydrologic controls on preservation. – In: Allison, P. A. & Bottjer, D. J. (Hrsg.): *Taphonomy: Process and bias through time*. – *Top. Geobiol.*, **32**: 249–285.
- Götze, J. & Hanchar, J. H. (2018): Atlas of cathodoluminescence textures. – *Geol. Ass. Canada Publ.*, **10**: 1–248.
- Götze, J. & Rößler, R. (2000): Kathodolumineszenz-Untersuchungen an Kieselhölzern aus dem Perm von Chemnitz. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **23**: 35–50.
- Götze, J., Gaft, M. & Möckel, R. (2015a): Uranium and uranyl luminescence in agate/chalcedony. – *Min. Mag.*, **79**: 983–993.
- Götze, J., Pan, Y., Stevens-Kalceff, M., Kempen, U. & Müller, A. (2015b): Origin and significance of the yellow cathodoluminescence (CL) of quartz. – *Am. Mineral.*, **100** (7): 1469–1482.
- Hámor-Vidó, M., Hofmann, T. & Levente, A. (2010): In situ preservation and paleoenvironmental assessment of Taxodiaceae fossil trees in the Bükkalja Lignite Formation, Bükkábrány open cast mine, Hungary. – *Int. J. Coal Geol.*, **81** (4): 203–210.
- Harper, C. J., Decombeix, A.-L., Taylor, E. L., Taylor, T. N. & Krings, M. (2017): Fungal decay in Permian Glossopteridean stem and root wood from Antarctica. – *IAWA Journal*, **38** (1): 29–48.
- 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. Soc. Edinb.*, **108** (4): 387–398.
- Hartig, T. (1848): Beiträge zur Geschichte der Pflanzen und zur Kenntnis der norddeutschen Braunkohlen-Flora. – *Bot. Ztg.*, **6**: 122–128, 137–141, 166–172, 185–190.
- Hellawell, J., Ballhaus, C., Gee, C. T., Mustoe, G. E., Nagel, T. J., Wirth, R., Rethemeyer, J., Tomaschek, F., Geisler, T., Greef, K. & Mansfeldt, T. (2015): Incipient silicification of recent conifer wood at a Yellowstone hot spring. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **149**: 79–87.
- Hoffmann, U., Breitzkreuz, C., Breiter, K., Sergeev, S., Stanek, K. & Tichomirowa, M. (2013): Carboniferous-Permian volcanic evolution in Central Europe: U/Pb ages of volcanic rocks in Saxony (Germany) and northern Bohemia (Czech Republic). – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundschau)*, **102**: 73–99.
- Hofmann, M., Linnemann, U., Gerdes, A., Ullrich, B. & Schauer, M. (2009): Timing of dextral strike-slip processes and basement exhumation in the Elbe Zone (Saxo-Thuringian Zone): the final pulse of the Variscan Orogeny in the Bohemian Massif constrained by LA-SF-ICP-MS U-Pb zircon data. – In: Murphy, J. B., Keppie, J. D. & Hynes, A. J. (Hrsg.): *Ancient orogens and modern analogues*. – *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **327**: 197–214.
- Jentsch, F. (1981): Zur Minerogenie glasiger Subsequenzvulkanite im sächsischen Raum. – *Freiberger Forsch.-H.*, **C 361**: 1–67.
- Kleeberg, R. & Lange, J.-M. (2014): Kaolin and clay deposits and mining in the Meißen area. – Fieldtrip guide, 7th Mid-European Clay Conference, 16–19. September 2014; Dresden.

- Kroner, U. & Romer, R. L. (2013): Two plates – many subduction zones: The Variscan orogeny reconsidered. – *Gondwana Res.*, **24**: 298–239.
- Krüger, A., Heß, V., Schilke, H., Heidenfelder, W. & Anger, H. (2013): Weißes Gold aus Sachsen – Kaolinvorkommen und deren Inwertsetzung im Geopark Porphyryland. – *Schriftenr. Deutsch. Ges. Geowiss.*, **81**: 46–55.
- Lange, J.-M., Heide, K. (1996): Pitchstone, rhyolite and kaolin near Meißen. – *Chem. Erde*, **56**: 511–521.
- Liesegang, M. & Gee, C. T. (2020): Silica entry and accumulation in standing trees in a hot-spring environment: cellular pathways, rapid pace and fossilization potential. – *Palaeontology*, **64** (4): 651–660.
- Löcse, F., Meyer, J., Klein, R., Linnemann, U., Weber, J. & Rößler, R. (2013): Neue Florenzfunde in einem Vulkanit des Oberkarbons von Flöha – Querschnitt durch eine ignimbrische Abkühlungseinheit. – *Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz*, **36**: 85–142.
- Löcse, F., Tunger, B. & Rößler, R. (2017): Das Unterrotliegend des Chemnitz-Beckens am SW-Rand des Sächsischen Granulitgebirges. Teil I: Forschungsgeschichte und Kenntnisstandsanalyse. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **40**: 93–118.
- Löcse, F., Zorn, I., Kunzmann, L. & Rößler, R. (2019): Paläobotanische Kostbarkeiten aus den Versteinerten Wäldern von Nová Paka (Tschechien) und Chemnitz (Deutschland) – Originale zu Stenzel (1889, 1906) und Rudolph (1906) in der paläobotanischen Sammlung der Geologischen Bundesanstalt in Wien. – *Jb. Geol. B.-A.*, **159** (1–4): 289–313.
- Luthardt, L. & Rößler, R. (2017): Fossil forest reveals sunspot activity in the early Permian. – *Geology*, **45** (3): 279–282.
- Luthardt, L., Rößler, R. & Schneider, J. W. (2016): Palaeoclimatic and site-specific conditions in the early Permian fossil forest of Chemnitz—Sedimentological, geochemical and palaeobotanical evidence. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **441**: 627–652.
- Luthardt, L., Rößler, R. & Schneider, J. W. (2017): Tree-ring analysis elucidating palaeo-environmental effects captured in an in situ fossil forest – The last 80 years within an early Permian ecosystem. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **487**: 278–295.
- Mattern, F. (1996): The Elbe zone at Dresden – a Late Paleozoic pull-apart intruded shear zone. – *Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges.*, **147** (1–3): 151–170.
- Matysová, P., Leichmann, J., Grygar, T. & Rössler, R. (2008): Cathodoluminescence of silicified trunks from the Permian-Carboniferous basins in eastern Bohemia, Czech Republic. – *Eur. J. Mineral.*, **20**: 217–231.
- Matysová, P., Rössler, R., Götze, J., Leichmann, J., Forbes, G., Taylor, E. L., Sakala, J & Grygar, T. (2010): Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous–Triassic) and their taphonomic and palaeo-environmental meaning. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **292**: 127–143.
- Mencl, V. (2010): *Zkameněliny Novopacka*. – 120 S.; Nová Paka (Městské Muzeum).
- Meunier, J. D., Sellier, E. & Pagel, M. (1990): Radiation-damage rims in quartz from uranium-bearing sandstones. – *J. Sediment. Petrol.*, **60**: 53–58.
- Mustoe, G. E. (2017): Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. – *Geosciences* **2017**, 7, 119.
- Mustoe, G. E. & Acosta, M. (2016): Origin of petrified wood color. – *Geosciences* **2016**, 6, 25.
- Nasdala, L., Wenzel, T., Pidgeon, R. T. & Kronz, A. (1999): Internal structures and dating of complex zircons from Meissen Massif monzonites, Saxony. – *Chem. Geol.*, **156**: 331–341.
- Neish, P. G., Drinnan, A. N. & Cantrill, D. J. (1993): Structure and ontogeny of *Vertebraria* from silicified Permian sediments in East Antarctica. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **79** (3–4): 221–243.
- Noll, R. (2012): Anatomische Beobachtungen am Sekundärxylem permischer Koniferen- und Cordaitenhölzer der Donnersberg-Formation. – *Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz*, **35**: 29–38.
- Noll, R., Wilde, V. & Rößler, R. (2005): 150 Jahre *Dadoxylon*: Zur Anatomie fossiler Koniferen- und Cordaitenhölzer aus dem Rotliegend des euramerischen Florengbietes. – *Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz*, **28**: 29–48.
- Niemirowska, A. (2013): *Skamieniałe drewno drzew gatunków liściastych, iglastych oraz paproci*; wydawnictwo. – 384 S.; Brzezia Łąka.
- Opluštil, S., Pšenicka, J., Bek, J., Wang, J., Feng, Z., Libertín, M., Šimůnek, Z., Bureš, J. & Drábková, J. (2014): T⁰ peat-forming plant assemblage preserved in growth position by volcanic ash-fall: A case study from the Middle Pennsylvanian of the Czech Republic. – *Bull. Geosci.*, **89** (4): 773–818.
- Opluštil, S., Pšenicka, J., Libertín, M., Bek, J., Daková, J., Šimůnek, Z. & Drábková, J. (2009): Composition and structure of an in situ Middle Pennsylvanian peat-forming plant assemblage buried in volcanic ash, Radnice Basin (Czech

- Republic). – *Palaios*, **24**: 726–746.
- Owen, M. R. (1988): Radiation-damage halos in quartz. – *Geology*, **16**: 529–532.
- Pan, Y., Li, D., Feng, R., Wiens, E., Chen, N., Chernikov, R., Götz, J. & Lin, J. (2021): Uranyl binding mechanism in microcrystalline silicas: A potential missing link for uranium mineralization by direct uranyl co-precipitation and environmental implications. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **292**: 518–531.
- Philippe, M., Boonchai, N., Ferguson, D. K., Hui, J. & Songtham, W. (2013): Giant trees from the Middle Pleistocene of Northern Thailand. – *Quat. Sci. Rev.*, **65**: 1–4.
- Reichel, W. & Schneider, J. W. (2012): Rotliegend im Döhlen-Becken. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.; Koordination und Redaktion: H. Lützner & G. Kowalczyk für die Subkommission Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland X. Rotliegend. Teil I: Innervariscische Becken. – *Schriftenr. Deutsch. Ges. Geowiss.*, **61**: 589–625.
- Reinisch, R. (1920): Erläuterungen zur geologischen Karte von Sachsen, Blatt Meißen, Nr. 48. 2. Auflage. – 133 S.; Leipzig (Sächsisches Geologisches Landesamt).
- Rich, F. J. (1989): A review of the taphonomy of plant remains in lacustrine sediments. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **58** (1): 33–46.
- Richnow, J. (1994): Petrologische Untersuchungen vulkanischer Gesteine des Permokarbons in der Elbezone. – Unveröff. Diplomarbeit, Freiberg (TU Bergakademie Freiberg).
- Röllig, G. (1985): Volcanic complex of Meissen. – In: Benek, R. et. al. (Hrsg.): Late Paleozoic and Caenozoic continental sedimentation and magmatism in the southern part of G.D.R. Guidebook to excursions. S. 158–161; Potsdam (Multilateral Cooperation of Academies of Sciences of Socialist Countries, commission IX, working group 3.3/3.4).
- Rößler, R. (Hrsg.) (2001): Der versteinerte Wald von Chemnitz. – 252 S.; Chemnitz (Museum für Naturkunde).
- Rößler, R. & Zierold, T. (2017): Die paläontologische Sammlung des Museums für Naturkunde Chemnitz – eine Zeitreise zu den Wurzeln der Paläobotanik. – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **40**: 5–30.
- Rößler, R., Philippe, M., van Konijnenburg-van Cittert, J. H. A., McLoughlin, S., Sakala, J., Zijlstra, G. & al. (2014): Which name(s) should be used for *Araucaria*-like fossil wood? – Results of a poll. – *Taxon*, **63** (1): 177–184.
- Rößler, R., Luthardt, L. & Schneider, J. W. (2015): Der Versteinerte Wald Chemnitz – Momentaufnahme eines vulkanisch konservierten Ökosystems aus dem Perm (Exkursion L am 9. April 2015). – *Jahresber. Mitt. Oberrhein. Geol. Verein, N. F.*, **97**: 231–266.
- Rygel, M. C., Gibling, M. R. & Calder, J. H. (2014): Vegetation-induced sedimentary structures from fossil forests in the Pennsylvanian Joggins Formation, Nova Scotia. – *Sedimentology*, **51**: 531–552.
- Sauer, A. (1889): Erläuterungen zur geologischen Karte von Sachsen, Blatt 48 Meißen, Nr. 48. 137 S.; Leipzig (Sächsisches Geologisches Landesamt).
- Savidge, R. A. (2007): Wood anatomy of Late Triassic trees in Petrified Forest National Park, Arizona, USA, in relation to *Araucarioxylon arizonicum* Knowlton, 1889. – *Bull. Geosci.*, **82** (4): 301–328.
- Schellenberg, F. & Kleeberg, K. (1997): Kaolinlagerstätten der Lausitz – ihre Entstehung, Nutzung und industrielle Bedeutung. – *Aufschluss*, **48**: 267–279.
- Schneider, J. W., Rößler, R. & Gaitzsch, B. (1995): Timelines of the Late Variscan volcanism – a holostratigraphic synthesis. – *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, **5/6**: 477–490.
- Schneider, J. W., Lucas, S. G., Scholze, F., Voigt, S., Marchetti, L., Klein, H., Opluštil, S., Werneburg, R., Golubev, V. K., Barrick, J. E., Nemyrovska, T., Ronchi, A., Day, M. O., Silantiev, V. V., Rößler, R., Saber, H., Linnemann, U., Zharinova, V. & Shen, S.-Z. (2020): Late Paleozoic–early Mesozoic continental biostratigraphy — Links to the Standard Global Chronostratigraphic Scale. – *Palaeoworld*, **29** (2): 186–238.
- Schneider, J. W., Werneburg, R., Rößler, R., Voigt, S. & Scholze, F. (2015): Example for the description of basins in the CPT Nonmarine-Marine Correlation Chart Thuringian Forest Basin, East Germany. – *Permophiles*, **61**: 29–35.
- Schüssler, H. & Simon, T. (2007): Aus Holz Wird Stein. Kieselhölzer aus dem Keuper Frankens. – 192 S.; Aulendorf (Verlag und Offsetdruck Eppe GmbH).
- Schwerdtner, G., Anger, H. & Störr, M. (2007): Die Kaolinlagerstätten des Kemmlitzer Reviers. *Bergbaumonographie Band 13*. – 116 S.; Freiberg (Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen).
- Stein, W. E., Berry, C. M., Morris, J. L., VanAller Hernick, L., Mannolini, F., Ver Straeten, C., Landing, E., Marshall, J. E. A., Wellman, C. H., Beerling, D. J. & Leake, J. R. (2019): Mid Devonian *Archaeopteris* roots signal revolutionary change in earliest fossil forests. – *Curr. Biol.*, **30**: 421–431.

- Stockey, R. & Rothwell, G. W. (2003): Anatomically preserved *Williamsonia* (Williamsoniaceae): Evidence for Bennettitalean reproduction in the Late Cretaceous of Western North America. – *Int. J. Plant Sci.*, **164** (2): 251–262.
- Störr, M. (1978): Zur Flussmittelwirkung des Illit–Montmorillonit–Mixed–Layer–Minerals (4:1) der keramischen Kaoline der DDR. – *Silikattechnik*, **29**: 327–328.
- Störr, M. (1983): Die Kaolinlagerstätten der Deutschen Demokratischen Republik. – *Schriftenr. Ges. Geol. Wiss.*, **18**: 1–226.
- Störr, M. (Hrsg.) (1999): *Keramikregion Meißen*. – 134 S.; Berlin (Verlag der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften).
- Stremme, H. (1909): Ueber die Beziehungen einiger Kaolinlager zur Braunkohle. – *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont.*, **2**: 91–120.
- Stutzer, O. (1910): Pechsteine von Meißen. – *Monatsber. Deut. Geol. Ges.*, **62** (2): 102–113.
- Trümper, S., Rößler, R. & Götze, J. (2018): Deciphering silicification pathways of fossil forests: Case studies from the late Paleozoic of Central Europe. – *Minerals*, 2018, **8**: 432.
- Trümper, S., Gaitzsch, B., Schneider, J. W., Ehling, B.-C. & Rößler, R. (2020a): Late Palaeozoic red beds elucidate fluvial architectures preserving large woody debris in the seasonal tropics of central Pangaea. – *Sedimentology*, **67** (4): 1973–2012.
- Trümper, S., Götze, J. & Rößler, R. (2020b): Siliceous petrifications in the Permian of the Parnaíba Basin, central-north Brazil: Sedimentary environment and fossilisation pathways. – In: Iannuzzi, R., Rößler, R. & Kunzmann, L. (Hrsg.) *Brazilian Paleofloras. From Paleozoic to Holocene*. – 45 S. (Springer Nature).
- Velitzelos, E. & Zouros, N. (1998): The petrified forest of Lesvos. – *Sigri* (Natural History Museum).
- Walter, H. (2011): Kretazisch-tertiäre Verwitterung. – In: Pälchen, W. & Walter, H. (Hrsg.): *Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte*. – S. 494–496; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Nägeli u. Obermiller).
- Walter, H. & Rößler, R. (2006): Ein großer Kieselholz-Stamm aus dem Rotliegend Sachsen (Kohren-Formation, Nordwestsächsische Senke). – *Veröff. Mus. Naturkunde Chemnitz*, **29**: 177–188.
- Wenzel, T. (2012): The plutonic rocks of the Meissen Massif (Germany): evidence for subduction-modified mantle components in a strike-slip related Variscan intrusion. – In: Romer, R. L., Förster, H.-J., Kroner, U.; Müller, A., Rößler, R., Rötzler, J., Seltmann, R. & Wenzel, T. (Hrsg.): *Granites of the Erzgebirge – relation of magmatism to the metamorphic and tectonic evolution of the Variscan Orogen*. Scientific Technical Report 12/15, GFZ German Research centre for Geosciences, S. 37–52; Potsdam.
- Wenzel, T. & von Quadt, A. (1993): The intrusion of the Meissen Pluton (Elbe valley-Zone): evidence from geochemical and isotopic data. – *Isotopenpraxis*, **28**: 251–262.
- Wenzel, T., Mercolli, I. & Oberhänsli, R. (1991): The plutonic rocks of the Meißen massif (Germany): evidence for open and closed system fractionation processes. – *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **71**: 371–390.
- Wenzel, T., Mertz, D. F., Oberhänsli, R., Becker, T. & Renne, P. R. (1997): Age, geodynamic setting, and mantle enrichment processes of a K-rich intrusion from the Meissen massif (northern Bohemian massif) and implications for related occurrences from the mid-European Hercynian. – *Geol. Rundsch.*, **86**: 556–570.

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): Trümper Steffen, Köhler Steffen, Greif Horst, Modaleck Wolfram, Götze Jens, Rößler Ronny

Artikel/Article: [Versteinerte Bäume aus einer Schuttstrom-Ablagerung des Meißener Massivs: Fossilwerdung und Stratigraphie Petrified trees from a debris-flow deposit of the Meißener Massif: Fossilisation and stratigraphic implications 7-42](#)