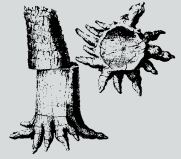


## Ein fossiler Wald aus der oberen Trias des mittleren Hohen Atlas, Marokko

Marian Timpe, Rostock und Ingolf Schameitat, Dessau-Rosslau



### Kurzfassung

Am Nordrand des zentralen Hohen Atlas in der Provinz Marrakesch - Tensift-El Haouz, etwa 10-12 Kilometer südlich von Sidi Rahal, befindet sich ein durch obertriassische bis unterjurassische tholeiitische Vulkanite und deren Pyroklastite geprägtes kontinentales Becken mit Funden fossiler Hölzer. Es handelt sich um einen echten versteinerten Wald, da auf einer Fläche von rund 5 km<sup>2</sup> zahlreiche 0,3 m bis 0,6 m hohe fossile Baumstübben in aufrechter Position vorgefunden wurden, deren Wurzeln im 1,5-1,7 m mächtigen Paläoboden verankert sind. Die strukturerhaltenen, als Gymnospermenhölzer identifizierten Florenreste und der hangende, besonders organikreiche Teil des Paläobodens sind überwiegend mit dem primären Kupfermineral Chalkosin und den Sekundärbildungen Malachit, Azurit und Chrysokoll sowie Vanadiummineralien vererzt und partiell silifiziert. Die Cu-/V-Vererzung erfolgte epigenetisch durch zirkulierende, saure wässrige Lösungen, wobei der tonmineralreiche Paläoboden als Barriere und der organisch gebundene Kohlenstoff der eingebetteten Pflanzenreste als Reduktionsmittel der metallreichen Lösungen wirkte. Als deren Quelle können die unter- und überlagernden Vulkanite angesehen werden.

### Abstract

A late Triassic to early Jurassic continental basin at the northern margin of the Central High Atlas in the Marrakech - Tensift-El Haouz province contains tholeiitic basalts and their pyroclastic equivalents with occurrences of fossil wood. An in-situ fossil forest is exposed on an area of about 5 km<sup>2</sup> approximately 10-12 km south of Sidi Rahal. Upright standing, 0.3 m to 0.6 m high stumps of fossil trees are rooted in a 1.5-1.7 m thick palaeosol. These plant remains are identified as gymnosperms. The plant fragments and the upper part of the dirt bed, that is rich in organic remains, are permineralized with the primary sulfide chalcocite that is replaced or coated by malachite and/or azurite and partly silicified. Mineralization with copper- and vanadium minerals occurred epigenetic by the circulation of Cu-/V-rich solutions in a favorable reducing environment provided by the carbonaceous material. The clay-mineral rich palaeosol operated as a barrier for the ascending fluids rich in metal-ions. The source of copper and vanadium are the alkaline volcanic rocks under- and overlying the sedimentary sequence.

### Geotektonisch-regionalgeologische Entwicklung

Das ENE orientierte Atlasgebirge erstreckt sich über nahezu 800 km Länge vom Atlantik im Westen über Nordalgerien bis nach Tunesien. Die Breite des Gebirges beträgt zwischen 40 und 100 km. Im westlichen Hohen Atlas befindet sich mit dem Jebel Toubkal (4.167 m) die höchste Erhebung. Der zentrale Hohe Atlas mit vergleichbaren Höhen (Jebel Ouanoukrim, 4.089 m) wird im Osten durch das Ziz-Tal (Gorges du Ziz) begrenzt. Der anschließende östliche Hohe Atlas reicht bis nahe an die algerische Grenze. Die Fortsetzung des Gebirges in östliche Richtung bis nach Tunesien bildet der Sahara Atlas.

#### Anschrift der Autoren

Diplomgeologe Marian Timpe, Maßmannstraße 11, 18057 Rostock; Kontakt: ullmannia@web.de

Diplomineraloge Ingolf Schameitat, Grauer Steinhau 83, 06847 Dessau-Rosslau; Kontakt: feinsilber-anhalt@datel-dessau.de

Der Hohe Atlas besteht überwiegend aus mesozoischen Gesteinen und wird im Süden vom präkambrisch-paläozoischen Anti-Atlas begrenzt. Zwei geotektonische Stockwerke sind im Hohen Atlas auszuhalten: 1. Das präkambrisch-paläozoische Basement, welches von 2. lediglich schwach deformierten mesozoischen bis unter-känozoischen Sedimenten und Vulkaniten überdeckt wird.

Durch beginnendes Rifting des Nordatlantik in der Trias bildete sich am Südrand der Tethys ein von Horsten, schmalen Riftgräben und Pull-Apart-Becken geprägtes Grabensystem. An den tiefgreifenden Störungszonen stiegen große Mengen basischer Vulkanite auf. An die Becken ist die Bildung triassischer Rotsedimente gebunden. Die triassische Sequenz besteht aus kontinentalen „red-beds“ mit einer Gesamtmächtigkeit von bis zu 5.000 m (BAUDON et al. 2009). Sand- und Siltsteine dominieren. Zwischengeschaltet sind Konglomerate, Pelite und im mittleren Zyklus Evaporite mit Dolomiten, Gips und Halit. Im oberen Teil erreichen tholeiitische Basalte und deren Vulkanoklastite bis zu 200 m Mächtigkeit. Deren radiometrisches Alter beträgt zwischen 212 und 180 Ma (MANSPEIZER et al. 1978). In Teilen des Hohen Atlas, z. B. im Ourika Valley oder in der Region Oukaimeden bilden tholeiitische Basalte und deren pyroklastische Derivate z. T. steil und schroff aufragende Bergmassive (im Arabischen „Jebel“).

Ab dem Unter-Jura bestimmen Einflüsse des „Atlas Golf“, eines südwestlichen Meeresarmes der Tethys, die marine Sedimentation. Im Bathon/Malm erfolgte der Wechsel von mariner zu kontinentaler Sedimentation mit gleichzeitiger tektonischer und magmatischer Aktivität, die bis zum Malm andauerte. Eine Phase moderater Subsidenz schloss sich bis zum Eozän an. Die Inversion im Oligozän wurde durch die west-mediterrane Kollision ausgelöst. Hebung und Deformation im zentralen Hohen Atlas erfolgten während des Oligozäns bis zum unteren Miozän.

## Ein fossiler Wald am Nordrand des Hohen Atlas

Am Nordrand des Hohen Atlas, südlich von Sidi Rahal, in Höhen zwischen 900 m und 1.050 m ü. NN, sind durch den Verfasser (MT) in den letzten 3 Jahren auf einem rund 5 km<sup>2</sup> umfassenden Areal mit Funden fossiler Hölzer mehrfach Feldstudien durchgeführt worden. Das Gebiet ist gekennzeichnet durch 120 m bis 150 m mächtige Vulkanite und Vulkanoklastite, die von zahlreichen kleineren, wenige Meter bis maximal 30 m tiefen, schroff eingeschnittenen Erosionsrinnen durchzogen werden (Abb. 1). Dieser vulkanisch-vulkanoklastischen Abfolge ist eine über das gesamte Gebiet auszuhaltende, 1,5-1,7 m umfassende, sedimentäre Sequenz aus pflanzenführenden Silt- und Tonsteinen (Paläoboden) zwischengeschaltet (Abb. 3, 4, 5). Insbesondere in der trockenen Jahreszeit bestehen durch die spärliche Vegetation aus kleinwüchsigen Pinien und flachen Büschen die besten Voraussetzungen, die hervorragenden Aufschlussverhältnisse zu studieren.



**Abb. 1** Blick nach Norden über einen Teil des Fundgebietes. Die Pfeile markieren Erosionsrinnen, an deren Flanken die vulkano-sedimentäre Sequenz hervorragend aufgeschlossen ist.

Das in zahlreichen Erosionsrinnen aufgeschlossene Typprofil lässt sich wie folgt beschreiben:

- g) hangender, dunkelgrauer, blockiger Vulkanit,
- f) 20-40 cm dunkelgrauer bis rotbrauner Vulkanoklastit; feinkörnige, vulkanische Klasten bis faustgroße, scharfkantige Lithoklasten
- e) 15-30 cm grobkörniger, hellbrauner, z. T. Cu-vererzter Vulkanoklastit mit liegenden fossilen Hölzern, Durchmesser 5-30 cm, stark Cu-vererzt,

- d) 10-15 cm feinkörniger, hellgrünlicher (Cu-vererzt), Vulkanoklastit, intensiv mit größeren, hellbräunlichen Pflanzenresten durchsetzt,
- c) 10 cm hellgrauer, stellenweise intensiv grünlich-bläulicher, plattiger Tonstein (Paläoboden) mit kleinstückigem Pflanzendetritus, oberste Zentimeter sehr hart (gefrittet)
- b) 1,0-1,2 m dunkelgrauer, rotbrauner bis rötlichvioletter, kleinstückig brechender Tonstein (Paläoboden); fleckige bis schlauchförmige, hellgraue bis hellolivfarbene Bleichungszonen
- a) liegender, mittelkörniger, dunkelgrauer bis rötlichbrauner, blasenreicher (mit Achaten), tholeiitischer Basalt; die obersten 40-60 cm sind hellgrau gebleicht.

In diesem Profil sind an Böschungen mehrerer Erosionsrinnen aufrecht stehende fossile Baumstubben frei gelegt, deren Wurzeln im Paläoboden (b) verankert sind und die bis 0,6 m in den Vulkanoklastit (f) hinein reichen (Abb. 2, 3). Die Stammbasen und die einbettenden Vulkanoklastite sind überwiegend grünlich (Malachit) und selten bläulich (Azurit) mineralisiert. In der Peripherie stehender Stubben treten in den Vulkanoklastiten  $\pm$  horizontal eingebettete Fragmente größerer, fossiler Achsen vermehrt auf, die häufig Verzweigungen bis hin zu 1,5 cm dünnen Ästchen zeigen. Der Effekt der Ansammlung verkieselter Achsen vor stehenden Stammbasen ist auch aus dem versteinerten Wald von Chemnitz beschrieben (RÖSSLER et al. 2010). Durch die Druckwelle der vulkanischen Eruption abgerissene Äste sammelten sich vor stehenden Baumstubben, wurden nachfolgend überdeckt und blieben so erhalten (sogenannte Fangkorbbereiche).

Der größte aufrechte Stubben ist an der Böschung einer etwa 4 m tiefen Erosionsrinne aufgeschlossen (Abb. 3, 3a). Dieser besitzt eine Höhe von 0,6 m und einen Durchmesser von 0,45 m. Unmittelbar an der Basis des Stubbens finden sich zahlreiche liegende Achsen von 5-12 cm Durchmesser. Die Wurzeln erstrecken sich im Paläoboden 20-30 cm unterhalb des Stubbens in sehr spitzem Winkel (Flachwurzler), sind permineralisiert und strukturerhalten. Im weiteren Verlauf sind die Wurzeln in Abdruckerhaltung innerhalb der umgebenden Tonsteine zu verfolgen.



Abb. 2



Abb. 3

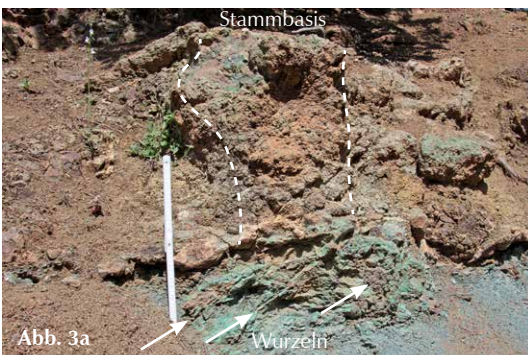


Abb. 3a

**Abb. 2, 3**

aufrechte Baumstubben (Pfeile), deren Wurzeln im Paläoboden verankert sind.

**Abb. 3a**

Detail des stehenden Stubbens mit Wurzeln und liegenden Achsen an der Stammbasis.



**Abb. 4**

Komplettes Profil des Paläobodens mit liegenden, gebleichten Vulkaniten, stark kupfervererztem Top und überlagernden Vulkaniten.

**Abb. 5**

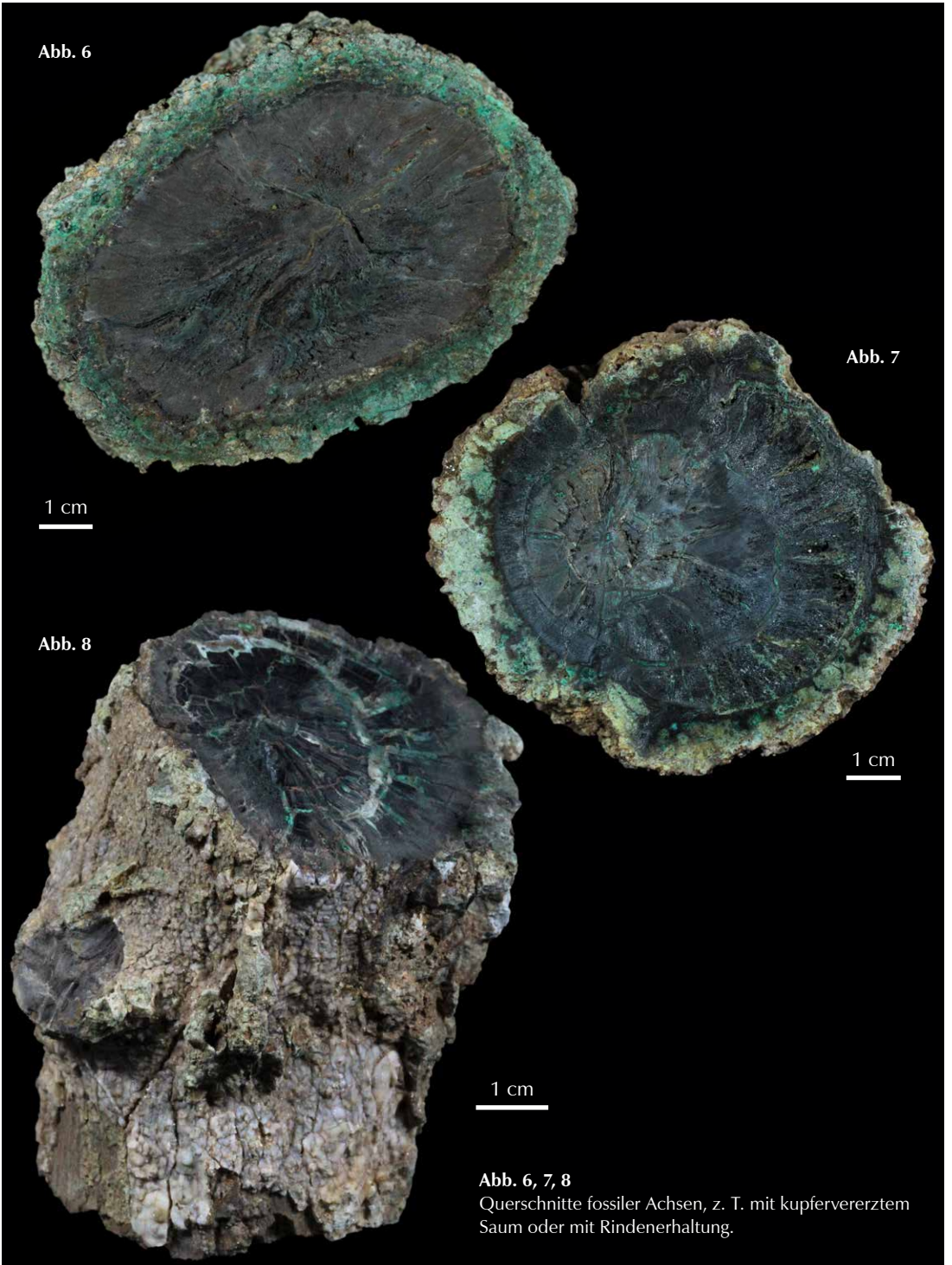
Detail aus Abbildung 4; kupfervererztes Top des Paläobodens und überlagernde Vulkanite.

Fossile Hölzer, die sich in  $\pm$  horizontaler Position in den grobkörnigen Vulkanoklastiten (e) befinden, besitzen stets einen 1-3 cm breiten, umlaufenden Saum aus Kupfererz-zementierten, grünlichen Tuffen (Abb. 6 und 7) und fest verkitteten Lithoklasten mit porphyrischem Gefüge (Abb. 14). In den Erosionsrinnen finden sich sehr zahlreiche frei gespülte Segmente fossiler Hölzer mit dem beschriebenen Saum aus vererzten Tuffen. An zahlreichen fossilen Achsen, die allseitig von den einbettenden Tuffen umgeben sind, ist die Rinde erhalten (Abb. 9, 14). Einige Hölzer, die in  $\pm$  horizontaler Lage an der Grenze des tonig-siltigen Paläobodens zu den überlagernden Vulkanoklastiten eingebettet waren, sind geborgen worden. Die Feinklastika sind in diesem Übergangsbereich sehr hart, zum Teil gefrittet und haften den fossilen Achsen fest an (Abb. 10, Pfeil). Die Frittung ist offenbar auf die Hitzeeinwirkung der überdeckenden Vulkanoklastite und Vulkanite zurückzuführen.

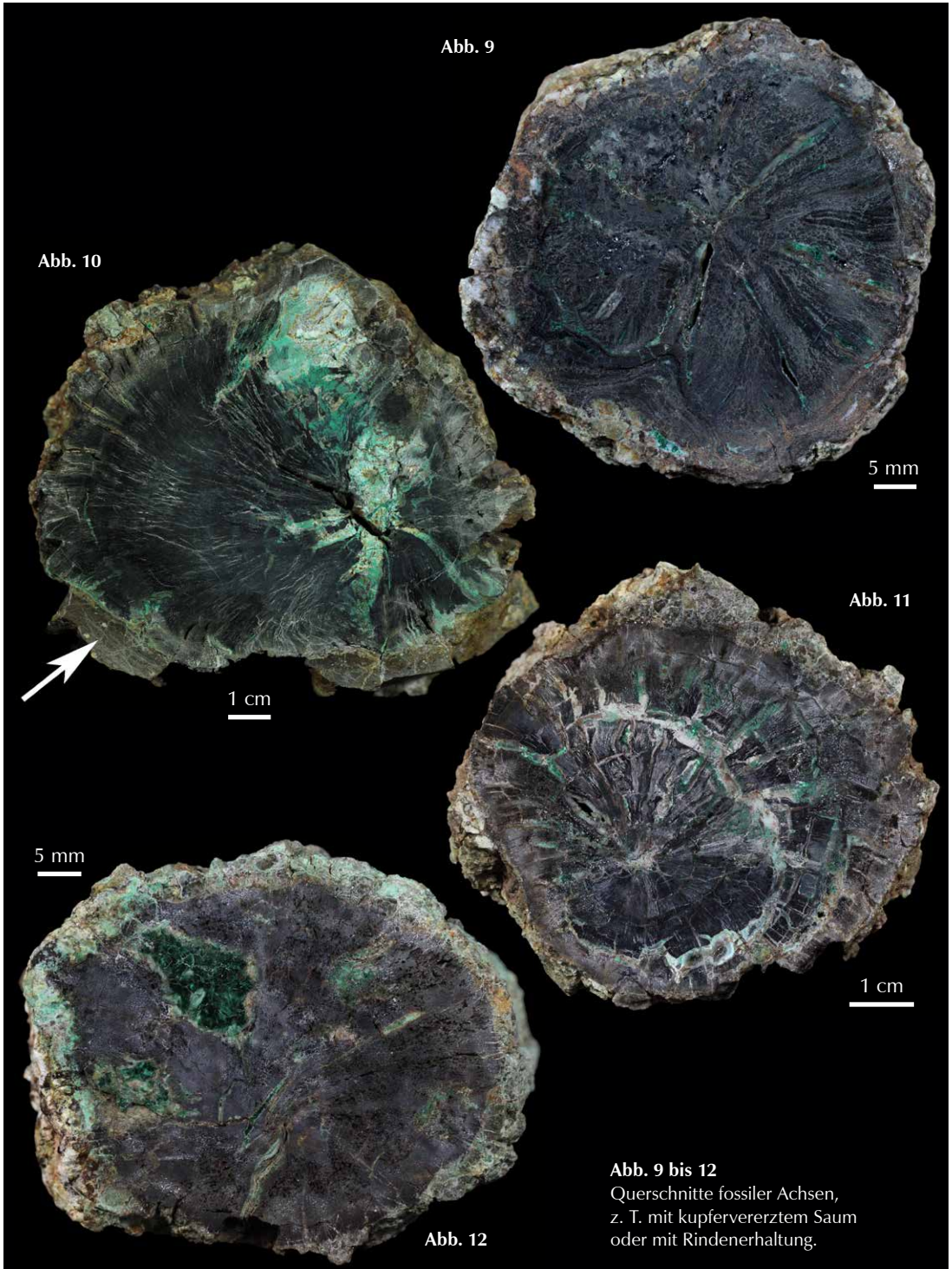
Die Oberfläche des weit auszuhaltenden Paläobodens fällt mit 6-8° nach NNW ein. Großflächig stimmen Geländeneiveau und Einfallen des Paläobodens überein, so dass aufrechte bzw. flach geneigte, fossile Baumstubben (in situ) auf größerer Fläche freigelegt sind. Deren Durchmesser betragen zwischen 0,3-0,6 m (gemessen jeweils 0,3-0,5 m über der Basis). Abstände zwischen einzelnen Stammbasen variieren von 12 m bis 20 m.

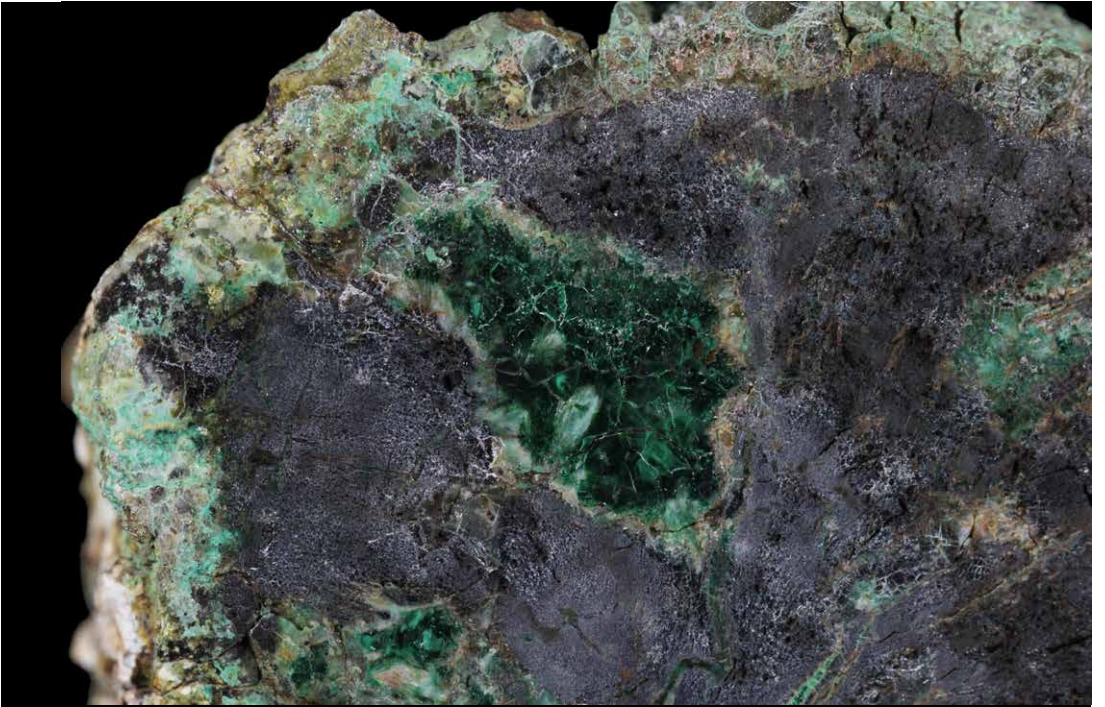
Querschnitte an fossilen Hölzern zeigen, dass sich die primäre Vererzung im Wesentlichen auf konzentrisch und radial angeordnete Risse (Schwund-/ Trockenrisse) der Achsen beschränkt. REM/EDX-Untersuchungen belegen als überwiegendes, primäres Erzmineral sehr reinen Chalkosin (Abb. 22).

In der Oxidationszone sind Malachit/Azurit als Sekundärbildungen aus der sulfidischen Primärvererzung gebildet worden. Silifizierung spielt bei den fossilen Hölzern eine untergeordnete Rolle. Lediglich kleinere Achsen mit Durchmessern zwischen 2-4 cm sind nahezu im gesamten Querschnitt silifiziert. Hölzer mit größeren Querschnitten (>15 cm) sind partiell, „fleckentartig“ silifiziert. Kleinste Hohlräume in den fossilen Hölzern sind mit Quarzkristallen ausgekleidet oder mit bläulich-grünlich gefärbtem Chalcodon gefüllt (Abb. 34). Diese Fakten bedingen die überwiegend schlechte Erhaltung holzanatomischer Details. Lediglich in silifizierten Bereichen und in solchen mit sulfidischer Primärvererzung ist die Gewebeerhaltung mäßig (Abb. 28). Die Vererzung der Pflanzenreste muss innerhalb eines kurzen Zeitraumes nach dem Überdecken mit Vulkanoklastiten erfolgt sein. Silifizierung erfolgte offensichtlich nach der Sulfidvererzung, über feinste Klüfte/Risse in den Achsen (Abb. 29). Nach mikroskopischer Einschätzung handelt es sich um fossile Hölzer mit araukaroider Struktur. Das Sekundärxylem ist 4-8 reihig, im Querschnitt zeigen sich überwiegend runde Tracheiden. In Bereichen mit Primärvererzung ist der Tracheidenquerschnitt überwiegend eckig. Zum Teil sind die Tracheiden geknickt/gequetscht und sehr dickwandig (Abb. 32, 33). Markstrahlen sind deutlich ausgeprägt. Sekundärbildungen von Malachit/Azurit zeichnen häufig die Markstrahlen nach (Abb. 32, 33). Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen fossilen Hölzer werden zu *Agathoxylon* HARTIG gestellt (vgl. RÖSSLER



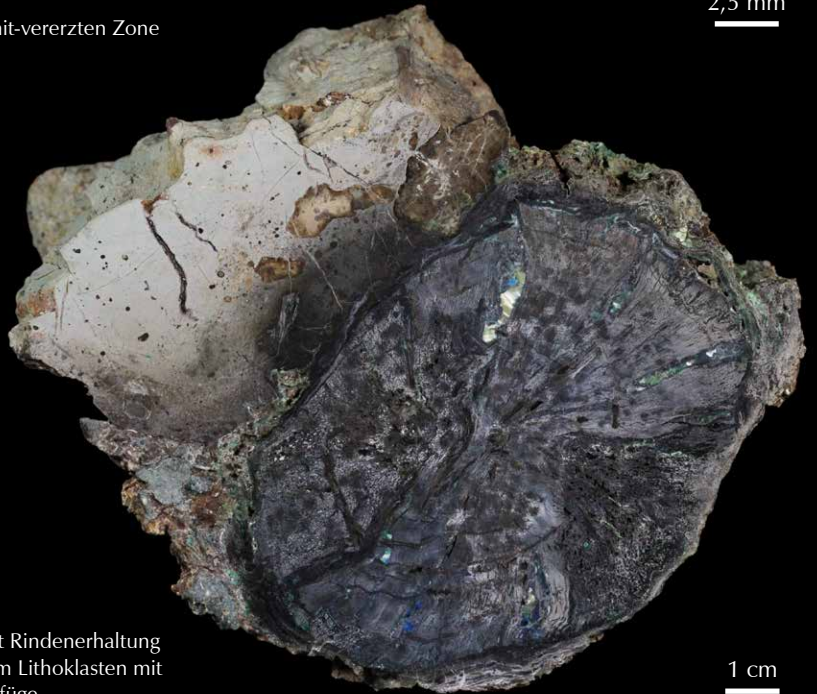






**Abb. 13**  
Detail der Malachit-vererzten Zone  
aus Abbildung 12.

2,5 mm



**Abb. 14**  
Koniferenachse mit Rindenerhaltung  
und fest verkittetem Lithoklasten mit  
porphyrischem Gefüge.

1 cm





Abb. 15



Abb. 16

**Abb. 15, 16**  
Aus der Oberfläche des Paläoboden herausragende aufrechte fossile Baumstübben.



Abb. 17



Abb. 18

**Abb. 17, 18, 19**  
Liegende Achsen im hangenden Vulkanoklastit (e).



Abb. 19



Abb. 20

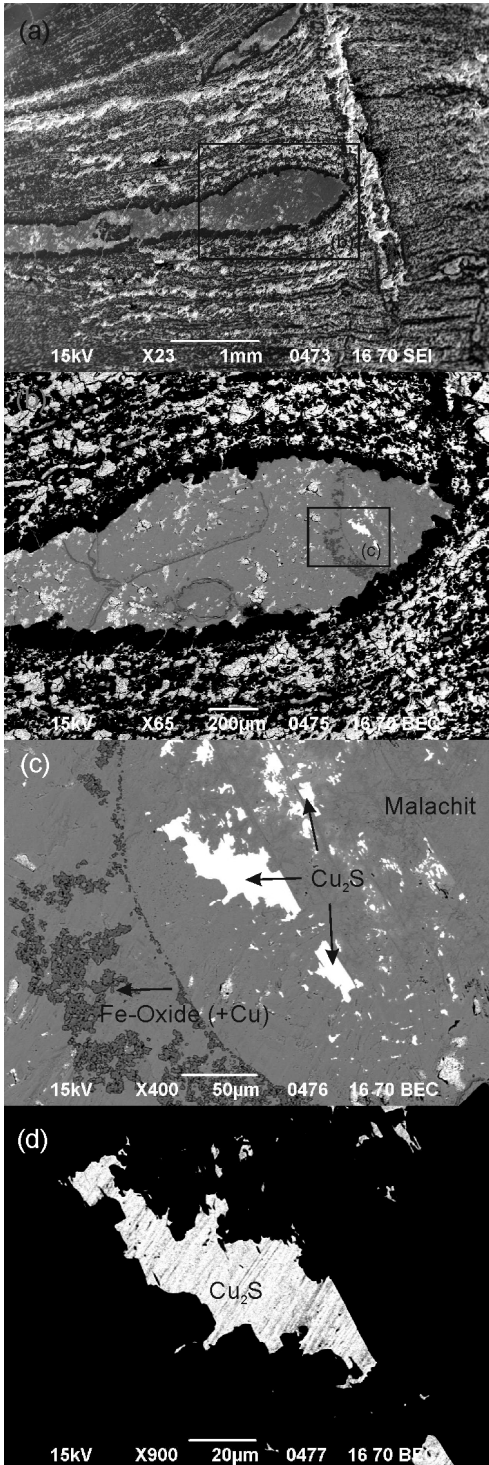
**Abb. 20**  
Isolierte kupfervererzte Achse in Fundsituation.



Abb. 21

**Abb. 21**  
Gebogene Platte des feinkörnigen Vulkanoklastites (d) mit zahlreichen Pflanzenresten.





et al. 2014); holzanatomische Detailuntersuchungen, sofern sie in Anbetracht der Erhaltung möglich sind, stehen noch aus. DESPLATS et al. (1983) hatten frühere Funde zur Sammelgattung *Dadoxylon* gestellt und dafür die Art *D. ourikense* errichtet.

### Zusammenfassende Mineralogie der fossilen Hölzer

Die fossilen Hölzer sind unterschiedlich stark und sehr ungleichmäßig vererzt. Exakte Aussagen zur zeitlichen Abfolge der Vererzung der in Versteinerung begriffenen Hölzer bzw. einer eventuellen Nachvererzung der versteinerten Hölzer sind derzeit noch nicht möglich. Bisher finden sich keine Anzeichen einer Pb- und Zn-Mineralisation, dafür aber des Vanadiums, welches vorrangig in oxidischer Form vorliegt. Mineralogische Untersuchungen durch REM/EDX-Analysen und Erzmikroskopie an ersten, ausgewählten Proben ergaben folgende Resultate:

#### Elemente

**Gediegen Kupfer** tritt in plättchenförmigen Aggregaten <0,1 mm in mulmiger, holzkohleähnlicher, schwarzer bis dunkelblaugrauer Substanz auf, welche in porösen nicht durchkieselten Bereichen der Achsen vorkommt.

#### Sulfide

Neben Quarz und seinen Varietäten stellt **Chalkosin** das häufigste Versteinerungsmittel dar. Untergeordnet erzmikroskopisch nachweisbar ist **Bornit** als myrmekitische (wurmformige) Verwachsung im Chalkosin. Butzenförmige (<5 mm) Verwachsungen von Chalkosin mit **Chalkopyrit** konnten bisher nur an einer Probe beobachtet werden.

#### Oxide/Hydroxide

**Quarz** ist das Hauptversteinerungsmittel der fossilen Hölzer. Dieser tritt derb bis feinkristallin auf und ist von hellgrauer bis rauchgrauer Farbe. Auf Klufflächen und in Hohlräumen sind kleine Kristalle von 0,1-2,0 mm Länge vorhanden. **Chalcedon** ist selten nachweisbar.

**Hämatit**, Varietät **Specularit**, ist in kleinen schwarzen Kristallen von 0,2-1,0 mm häufig. **Limonit** oder Eisenrahm liegt erdig, z. T. auch als festere Aggregate von gelbbrauner bis dunkelschwarzbrauner Farbe vor.

**Manganomelan** („Wad“) tritt in erdigen Anflügen, teilweise in massiven, schwarzen bis blauschwarzen Aggregaten auf.

#### Abb. 22

REM/EDX-Aufnahmen eines stark vererzten Bereiches in einem angeschliffenen Querschnitt.

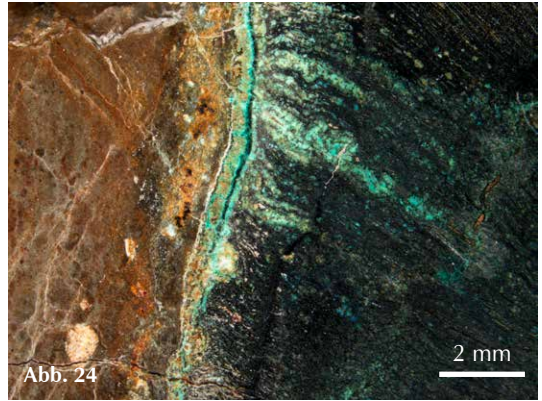
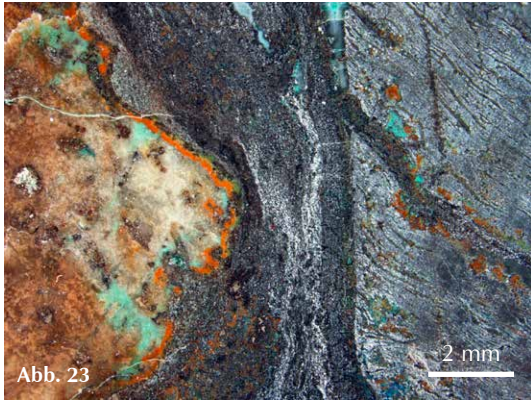


Abb. 23, 24, 25

Querschnitte fossiler Hölzer mit den Details der Übergänge Holz-Rinde-einbettende Tuffe.



Abb. 26

Querschnitt mit konzentrischen Chalkosin-vererzten Rissen im Bereich der Zuwachszonen.

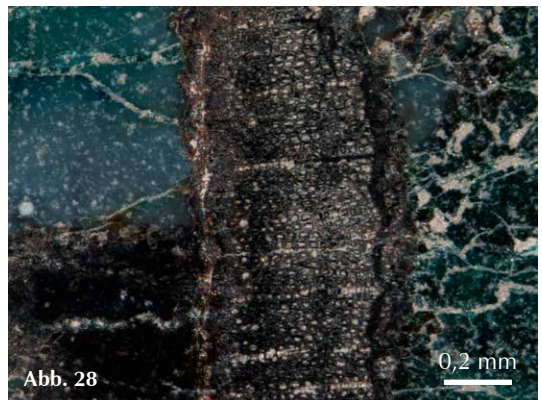
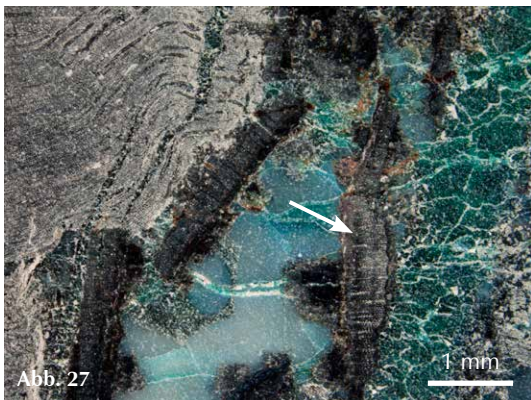


Abb. 27, 28

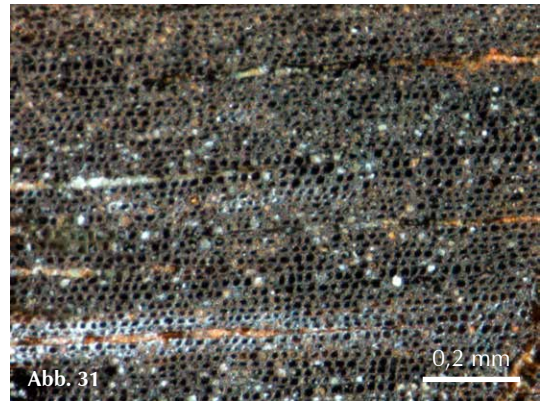
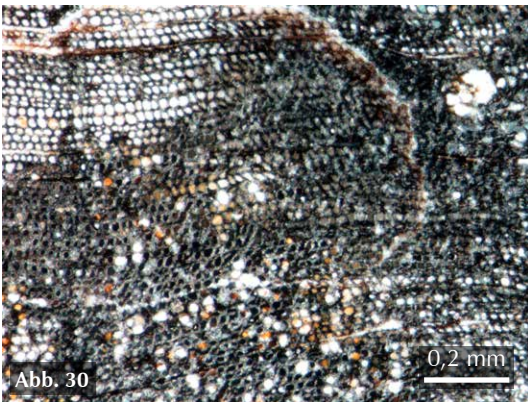
Querschnitt mit Details eines sulfidvererzten Risses; mäßige Gewebeerhaltung des vererzten Bereiches (Pfeil).





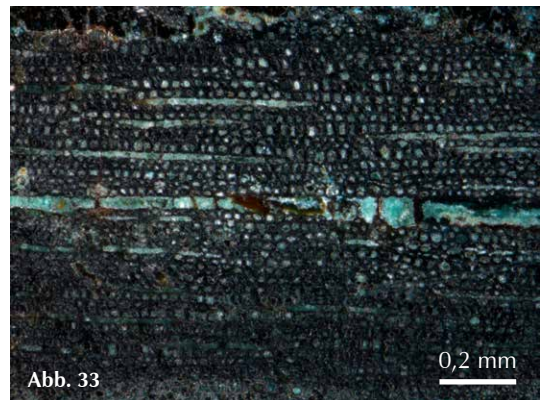
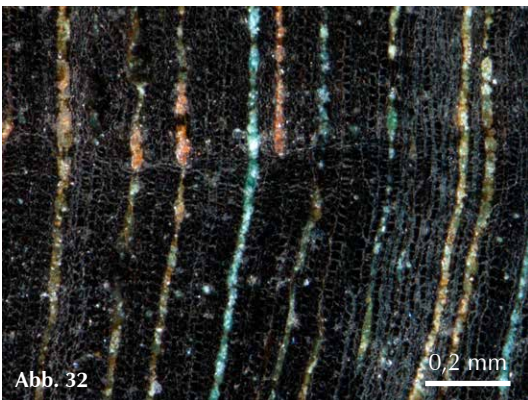
**Abb. 29**

Feiner Riss als Zufuhrkanal der Kieselsäure, weitere Ausbreitung im Gewebe über die Markstrahlen.



**Abb. 30, 31**

Die Querschnitte zeigen araukaroide Gewebestruktur.



**Abb. 32, 33**

Die Querschnitte in sulfidvererzten Bereichen; vorrangig eckiger Querschnitt der Tracheiden; Sekundärbildungen (Malachit) in Bereichen der Markstrahlen.

**Cuprit** kommt in hochglänzenden, roten Kristallen <0,1 mm in Hohlräumen und als Varietät Chalkotrichit in unmittelbarer Nachbarschaft zusammen mit Limonit als sogenanntes „Ziegelerz“ vor.

Bisher nicht näher zu bestimmende **Vanadiumoxide** sind wie das gediegen Kupfer ausschließlich an die mulmige, holzkohleähnliche Substanz gebunden.

### Carbonate

**Malachit** und **Azurit** kommen häufig in derben Aggregaten, seltener in kleinen Kristallen <2 mm in Hohlräumen in und auf den fossilen Hölzern vor.

### Sulfate

**Gips**, derb und in kleinen Kristallen <3 mm in Hohlräumen in und auf den fossilen Hölzern. Unscheinbar, wird leicht übersehen.

**Antlerit** ist in kleinen Kristallen von 1-2 mm Größe vereinzelt in der Verwitterungsrinde der fossilen Hölzer nachgewiesen worden. Gleiches gilt für die Sekundärminerale **Spangolit**, **Posnjakit** und **Langit**, welche zu nächst unter Vorbehalt genannt werden sollen, da die zur Untersuchung stehenden Probenmengen keine sicheren, reproduzierbaren Daten geliefert haben.

### Silikate

Hellblauer bis meergrüner **Chrysokoll** tritt häufig in erdigen Überzügen sowie in festen Aggregaten mit muscheligen Bruch auf.

Sehr selten wurde **Shattuckit** als erdiger himmelblauer Anflug und in kleinsten Kristallen <0,05 mm nachgewiesen.

## Vergleich mit anderen Vorkommen Cu-vererzter Makrofloren

Funde fossiler Pflanzenreste sind aus Marokko durch zahlreiche Autoren beschrieben und überwiegend aus mesozoischen Ablagerungen bekannt. Als Standardwerk gilt dabei ATIMIS & CREMIER (1969). Die Autoren geben sehr umfangreiche Beschreibungen überwiegend jurassischer und kretazischer Vorkommen fossiler Hölzer Marokkos sowie zu deren Anatomie und Taxonomie. HUVELIN (1971) bearbeitete erstmals kupfervererzte fossile Hölzer aus permo-triassischen, vulkano-sedimentären Serien aus der Region des Jebel Anrhommer, Hoher Atlas, südlich von Demnate. Aus weiteren, kleinen, vulkano-sedimentären Becken des Hohen Atlas sind Einzelfunde vergleichbar mineralisierter/vererzter Pflanzenreste bekannt. DESPLATS et al. (1983) beschreiben Florenreste aus Sedimenten, die obertriassischen Basalten im Ourika Valley in der Provinz Marrakesch - Tensift-El Haouz und am Jebel Anrhommer in der Provinz Quarzazate, Souss-Massa-Draâ zwischengeschaltet sind. Diese Autoren haben anhand holzanatomischer Untersuchungen an einem kupfervererzten Holz aus dem Ourika Valley die Art *Dadoxylon ourikense* aufgestellt.

In einer neueren Arbeit haben HADDOUMI et al. (2008) ihre Studien an mitteljurassischen bis unterkretazischen, kontinentalen „Red Beds“ mit meterlangen fossilen Hölzern aus der Anoual-Synklinale im östlichen Hohen Atlas publiziert. In-situ-Bedingungen, wie sie im vorliegenden Artikel beschrieben werden, sind jedoch bis dato durch keinen der Autoren erwähnt worden.

Weltweit sind kupfervererzte Pflanzenreste aus zahlreichen stratigrafischen Einheiten, vorrangig im Zusammenhang mit der Exploration von Cu-Lagerstätten, bekannt und beschrieben worden. Bei diesen Lagerstätten handelt es sich überwiegend um stratiforme (schichtgebundene) Lagerstätten in Sedimenten.

Kupfervererzte Sandsteine mit großdimensionalen, ebenfalls kupfervererzten fossilen Stämmen sind aus dem Agua Zarca Member an der Basis der triassischen Chinle Formation bekannt. Diese wurden in der Nacimiento Mine nahe Cuba im Sandoval County, New Mexico, USA abgebaut. Primäre Sulfide sind Chalkosin, Covellin, Bornit, Chalkopyrit und Pyrit. Das Agua Zarca Member befindet sich in derselben stratigrafischen Position an der Basis der Chinle Formation, wie die uranreichen Konglomerate des Shinarup Member im benachbarten Utah (WOODWARD 1974). Nach FISCHER (1937) enthalten Kupferlagerstätten des Red-Bed-Typs im Südwesten der USA, die an permische, triassische und jurassische Sandsteine und Schiefer gebunden sind, „Pseudomorphosen von Chalkosin nach fossilem Holz“ mit „nicht deformierten Zellstrukturen“. TOURTELOT & VINE (1976)



und FISCHER (1956) erwähnen Kupfer-, Uran- und Vanadium-mineralisierte, fossile Hölzer in Uran-Vanadium-Kupfer-Lagerstätten des Colorado Plateaus. PAPPENFUS (1931) beschreibt permokarbone Sandsteine und Ton-schiefer aus dem Cumberland County, Nova Scotia, Kanada, die von triassischen, max. 600 m mächtigen, basaltischen Laven (North Mountain Basalt) überlagert werden und kupfervererzte fossile Hölzer enthalten. Aus Südwest-Oklahoma (USA) ist kupfervererztes, fossiles Holz aus unterpermischen Klastiten bekannt (SUNESON 2010). Vorherrschendes, primäres Erzmineral ist auch hier Chalkosin. Untergeordnet treten Chalkopyrit, Chalkantit, gediegen Kupfer und einige Uranminerale auf. BERTOLANI & BERTOLANI-MARCHETTI (1967) beschreiben fossile Hölzer des „*Dadoxylon*-Typs“ aus der Red-Bed-Typ-Lagerstätte Ca' di Vanni (Frassinoro, Modena), die sulfidisch vererzt und z.T. in gediegen Kupfer umgewandelt sind. Aus der Literatur bekannt sind weiterhin kupfervererzte fossile Hölzer aus Russland, aus dem West-Ural-Vorland (Kupfergürtel in der Region Perm und in der Orenburg-Region). Die genannten Florenreste finden sich in oberpermischen, nicht marinen Sandsteinen/Arkosen, in Bereichen, in denen diese transgressiv von marinen Klastika überlagert werden. Neben den Gymnospermen erlangten hier vor allem die grünlichen, kupfervererzten Calamitenreste aus dem Kungurian Berühmtheit, bis hin zu Brongniart's Typusexemplar von 1828 (BARTHEL & RÖSSLER 1996, NAUGOLNYKH 2005). Allen beschriebenen Vorkommen ist gemeinsam, dass die Pflanzenreste allochthon in  $\pm$  horizontaler Position innerhalb klastischer Serien auftreten, also von ihrem ehemaligen Wuchsort fluviatil verfrachtet, transportiert und umgelagert sind. Überwiegend handelt es sich um großdimensionierte Achsen wie Stämme, Stammfragmente ohne ansitzende Äste, Verzweigungen oder Wurzeln. Die Pflanzenreste selbst sind am stärksten mit den primären Sulfiden mineralisiert. Meist bildet Chalkosin das vorherrschende, primäre Kupfermineral. Die einbettenden Klastika besitzen stets geringere Erzgehalte. Eine weitere Gemeinsamkeit nahezu aller Vorkommen ist die räumliche Nähe der fossilführenden Klastika zu basischen Vulkaniten bzw. Vulkanoklastiten. Nach POHL (1992) besitzen basische Magmatite mit durchschnittlich 40-100 ppm die höchsten Cu-Gehalte in der kontinentalen Kruste. Zum Vergleich: Saure Vulkanite besitzen durchschnittliche Cu-Gehalte von 1-40 ppm. Kupfer ist in sauren Wässern mit  $E_h > 0$  gut löslich. Neben der großen Affinität des Kupfers zum Schwefel („chalkophil“), bildet Kupfer mit organischen Substanzen sehr stabile Komplexe („carbophil“) und wird außerdem häufig an Tonmineralen adsorbiert.

## Zusammenfassung

Das beschriebene Fundareal war offensichtlich Teil eines räumlich begrenzten kontinentalen Sedimentationsbeckens in einem vulkanisch geprägten Umfeld, wie sie in der oberen Trias zahlreich im Bereich des heutigen Hohen Atlas entstanden. Phasen mit starker vulkanischer Aktivität wechselten mit solchen geringerer oder fehlender vulkanischer Aktivität und fortschreitender Verwitterung der vulkanogenen Gesteine. In das Becken wurden feinkörnige Substrate geschwemmt, die die Grundlage für die Besiedlung mit Pflanzen bildeten. Mit fortschreitender Vegetation kam es zur Bodenbildung auf dem vulkanisch geprägten Areal. Erneute vulkanische Phasen kündigten sich durch explosive Eruptionen an, wodurch die Vegetation umgeknickt und die Pflanzenreste durch Vulkanoklastite und nachfolgend Vulkanite überdeckt und so konserviert wurden. Der ton- und organikreiche Paläoboden stellte offensichtlich eine Barriere für die aufsteigenden sauren, Metallionen-reichen Lösungen dar. Der Kohlenstoff der eingebetteten Pflanzenreste wirkte als Reduktionsmittel der metallhaltigen Lösungen, so dass aus diesen sulfidische Kupferminerale in und um die Pflanzenreste ausgefällt wurden. Höhere Temperaturen begünstigen dabei die Bildung von Chalkosin (PAPPENFUS 1931). Somit ist plausibel, dass die Sulfidvererzung im hangenden, organikreichen, von der Hitze der überdeckenden basaltischen Laven beeinflussten Teil des Profils verstärkt auftritt.

## Dank

Der Dank der Autoren gilt Herrn PD Dr. Ronny Rössler für die Anfertigung der Mikroaufnahmen und für hilfreiche, fachliche Diskussionen. Dr. Armin Zeh/Geozentrum der Goethe-Universität Frankfurt danken wir für die REM/EDX-Untersuchungen an ausgewählten Proben.

## Literatur

- ASH, S. R. (1974): Upper Triassic plants of Canon del Cobre in New Mexico. New Mexico Geol. Soc. Guidebook, 25th Field Conf., Ghost Ranch (Central-Northern N.M.), pp. 179-184.
- ATTIMIS, Y. & CREMIER, F. (1969): Étude de quelques bois fossiles de Mésozoïque du Maroc. in: Bois fossiles du Mésozoïque du Maroc. – Notes et Memoires de Service Geologique, **210**: 19-92.
- BARTHEL, M. & RÖSSLER, R. (1996): Paläontologische Fundschichten im Rotliegend von Manebach (Thür. Wald) mit *Calamites gigas* (Sphenophyta). – Veröff. Naturhist. Mus. Schleusingen, **11**: 3-21.
- BAUDON, C.; Fabuel-Perez, I. & Redfern, J. (2009): Structural style and evolution of a Late Triassic rift basin in the Central High-Atlas, Morocco: controls on sediment deposition. – Geological Journal, **44**: 677-691.
- BERTOLANI, M. & BERTOLANI-MARCHETTI, D. (1967): Dadoxylon fossilizzato con rame nativo nel "red-bed" di Ca' di Vanni (Frassinoro, Modena). – Atti della Società dei Naturalisti e Matematicisti di Modena, **98**: 1-14.
- DESPLATS, D.; ROY-DIAS, C. & BIRON, P.-E. (1983): Étude d'un bois fossile: *Dadoxylon* (Araucarioxylon) ourikense nov. sp. Provenant des Basaltes du Trias supérieur du Haut-Atlas (Ourika-Maroc). – Geobios, **16** (6): 717-725.
- FISCHER, R. P. (1937): Sedimentary deposits of copper, vanadium and silver in southwestern United States. – Economic Geology, **32**: 906-951.
- FISCHER, R. P. (1956): Uranium-Vanadium-Copper Deposits on the Colorado Plateau. In: Contributions to the Geology of Uranium and Thorium by the United States Geological Survey and Atomic Energy Commission for the United Nations International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Switzerland 1955. Geological Survey Professional Paper 300.
- HUVELIN, P. (1971): Indices cuprifères liés au bois fossiles dans les basaltes du Permo-Trias, région du Jbel Anr-homer (Haut-Atlas Demnate, Maroc). – Notes et Memoires de Service Geologique, **237**: 233-237.
- MANSPEIZER, W.; PUFFER, J. H. & COUSMINER, H. L. (1978): Separation of Morocco and Eastern North America: A Triassic-Liassic Stratigraphic Record. – Geol. Soc. Amer. Bull., **89**: 901-920.
- MATTIS, A. F. (1977): Nonmarine triassic sedimentation central High Atlas Mountains, Morocco. – Jour. Sed. Res., **47** (1): 107-119.
- NAUGOLNYKH, S. V. (2005): Permian *Calamites gigas* Brongniart, 1828: The Morphological Concept, Paleoecology, and Implications for Paleophytogeography and Paleoclimatology. Paleontological Journal, **39** (3): 321-332.
- PAPENFUS, E. B. (1931): "Red Bed" Copper Deposits in Nova Scotia and New Brunswick. – Economic Geology, **26**: 314-330.
- POHL, W. (1992): W. & W.E. Petrascheck's Lagerstättenlehre. Eine Einführung in die Wissenschaft von den mineralischen Bodenschätzen. Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- RÖSSLER, R.; KRETZSCHMAR, R.; ANNACKER, V.; MEHLHORN, S.; MERBITZ, M.; SCHNEIDER, J.W. & LUTHARDT, L. (2010): Auf Schatzsuche in Chemnitz – Wissenschaftliche Grabungen ,10. – Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz, **33**: 27-50.
- RÖSSLER, R.; PHILIPPE, M.; van Konijnenburg-van Cittert, J.H.A.; McLoughlin, S.; Sakala, J. & Zijlstra, G., et al. (2014): Which name(s) should be used for Araucaria-like fossil wood? – results of a poll. Taxon, **63**: 177-184.
- TOURTELOT, E. B. & VINE, J. D. (1976): Copper Deposits in Sedimentary and Volcanogenic Rocks. Geological Survey Professional Paper 907-c.
- WOODWARD, L. A. (1974): Strata-Bound Copper Deposits in Triassic Sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico. – Economic Geology, **69**: 108-120.
- YOUBI, N.; MARTINS, L. T. ; MUNHÁ, J. M. ; IBOUH, H. ; MADEIRA, J.; AIT CHAYYEB, E. H. & EL BOUKHARI, A. (2003): The Late Triassic-Early Jurassic Volcanism of Morocco and Portugal in the Framework of the Central Atlantic Magmatic Province: an Overview. In: The Central Atlantic Magmatic Province: Insights from Fragments of Pangea. – Geophysical Monograph, **136**: 179-207.



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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 2016

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Timpe Marian, Schameitat Ingolf

Artikel/Article: [Ein fossiler Wald aus der oberen Trias des mittleren Hohen Atlas, Marokko 41-54](#)