Journal of Central European Geology

Untersuchungen über das Vorkommen von Wurzelhölzern und Wurzelverwachsungen in einem Koniferenmischwald aus dem Tertiär der sächsischen Braunkohle

Investigations on the occurrence of root wood and root intergrowths in a mixed forest of conifers from the Tertiary lignite in Saxony

Herbert Süss¹ und Lutz Müller²

¹ c/o Museum für Naturkunde Berlin, Invalidenstraße 43, 10115 Berlin, Deutschland; — ² Museum für Naturkunde und Vorgeschichte Dessau, Askanische Straße 32, 06842 Dessau-Roßlau, Deutschland

Revision accepted 20 November 2015.

Published online at www.senckenberg.de/geologica-saxonica on 14 December 2015.

Kurzfassung

Aus dem Unteroligozän der sächsischen Braunkohle werden drei Wurzelhölzer – *Taxodioxylon gypsaceum* (GOEPPERT) KRÄUSEL, *T. megalonissum* Süss & VELITZELOS, *Podocarpoxylon radiciforme* sp. nov. – beschrieben. Außerdem wird über das Vorkommen von Trabeculae und über die Verbreiterung der Holzstrahlen im Spätholzbereich berichtet. In einem eigenen Abschnitt wird über die Wurzelverwachsungen diskutiert.

Abstract

Three taxa of root wood – *Taxodioxylon gypsaceum* (GOEPPERT) KRÄUSEL, *Taxodioxylon megalonissum* SUSS & VELITZELOS and *Podocar-poxylon radiciforme* sp. nov. – are described from the Lower Oligocene of the lignite from Saxony. We also report on the presence of trabeculae and the distribution of rays in late wood. In a separate section the root intergrowth are discussed.

Einleitung

Aus dem Unteroligozän des Böhlener Oberflözes der sächsischen Braunkohle liegen die Schliffe von sechs verkieselten Holzresten zur Bearbeitung vor. Die Untersuchungen ergaben, dass diese Holzreste zu drei verschiedenen Koniferenarten gehören, die jeweils miteinander verwachsen sind. Bei diesen Fossilien kann es sich demnach nur um Wurzelholz handeln, denn das miteinander Verwachsen des Holzes verschiedener Baumarten bei oberirdischen Pflanzenteilen ist nicht vorstellbar. Die Holzreste können demnach nur von Wurzeln der Bäume eines Mischwaldes stammen.

In einem ersten Abschnitt werden die zu diesem Mischwald gehörenden Holzarten beschrieben und bestimmt und anschließend wird über die Wurzelverwachsungen berichtet.





Abb. 1. Wurzelhölzer aus dem sächsischen Unteroligozän, Grube Espenhain. Vier Fundstücke (MNVD-G 14.814, 26.708, 26.709, 26.710) von *Taxodioxylon megalonissum* und ein Fundstück (MNDV-G 26.707) von *Pododarpoxylon radiciforme*. Maßstab 1:20.

Fig. 1. Root wood from the Lower Oligocene of Saxony, Espenhain pit. Four finds of *Taxodioxylon megalonissum* (MNVD-G 14.814, 26.708, 26.709, 26.710) and a find of *Pododarpoxylon radiciforme* (MNDV-G 26.707). Scale bar 1–20.

Beschreibung der Arten

Taxodioxylon Hartig emend. Gothan 1905

Generotypus: Taxodioxylon goeppertii Hartig 1848.

Der Gattungsname *Taxodioxylon* wurde erstmalig von Hartig (1848) verwendet. Gothan (1905) gibt dann für *Taxodioxylon* in Form einer Bestimmungstabelle eine Diagnose. Von Kräusel (1949) wurde diese, ebenfalls nur durch eine Bestimmungstabelle, noch erweitert. Erst Süss & Velitzelos (1997) haben dann eine, den Regeln des Internationalen Codes der Botanischen Nomenklatur (ICBN) entsprechende Diagnose, in der die anatomischen Merkmale aus den Bestimmungstabellen von Gothan und Kräusel enthalten sind, aufgestellt. Gothan (1905) wurde als Ementador beibehalten.

Diagnose: Hoftüpfel auf den radialen Tracheidenwänden rund (abietoid), wenn mehrreihig, dann immer op-

poniert, häufig durch Crassulae getrennt, ohne spiralige Verdickungen, Harzkanäle und Interzellularräume nur im Wundholz vorkommend, Wände der Holzstrahlzellen vorwiegend glatt (keine Abietineen-Tüpfelung), Tüpfel im Kreuzungsfeld im Frühholz mit breiten Aperturen von mehr oder weniger verlängerter Achse (taxodioid), im Spätholz Aperturen meist schräg-schlitzförmig (cupressoid), Holzparenchym spärlich, aber normalerweise immer vorhanden.

Diagnosis: Circular bordered pits on the radial tracheid walls (abietoid pitting), if multiserial then always opposite, frequently separated by crassulae, tracheids without spiral thickenings; resin canals and intercellular cavities only in traumatic wood; walls of ray cells predominantly smooth (abietineous pitting absent); cross-field pits in early wood with broad apertures of more or less elongated axis (taxodioid pitting), apertures in late wood at the most oblique-slit like (cupressoid pitting), wood parenchyma sparse, but more or less regularly present.

Die Morphogattung *Taxodioxylon* umfasst Fossilien, die einem Holztypus entsprechen, der bei Arten der Konifer-

engattungen Sequoia Endl., Sequoiadendron Buchh., Metasequoia Miki, Taxodium Rich., Cryptomeria D. Don. und Athrotaxis D. Don. vorhanden ist. Holzfossilien, die als Arten dieser Gattungen beschrieben werden, sollten deshalb zu Taxodioxylon gestellt werden.

Taxodioxylon gypsaceum (Goeppert) Kräusel 1949

Zur Untersuchung liegen ein Quer- und zwei Tangentialschliffe mit der Bezeichnung MNVD-G 27.277 vor. Die Radialansicht des Holzes konnte als Einwuchs im Radialschliff von *Podocarpoxylon radiciforme* (MNVD-G 26.707) nachgewiesen werden.

Beschreibung des Holzes

Topographie: Sekundäres Wurzelholz mit Koniferenholzstruktur. Zuwachszonen schmal, gut ausgebildet, von unterschiedlicher Breite, 0,22–0,74 mm, im Mittel 0,43 mm breit, Frühholz abrupt in Spätholz übergehend, Spätholzanteil unterschiedlich breit, häufig nur durch 2–3 Tracheiden gebildet, falsche Zuwachsringe und intra-annuelle Dichteschwankungen vorhanden (Taf. II, Fig. 1). Tracheiden die Grundmasse des Holzes bildend, auf dem Querschnitt in strengen radialen Reihen angeordnet (Taf. I, Fig. 1). Holzparenchym spärlich über die Zuwachszone verteilt, 44 Zellen je mm², aus mehrgliedrigen Strängen zusammengesetzt. Holzstrahlen auf dem Querschnitt in radialen Reihen verlaufend, einreihig, 1–24, meist 2–8 Zellen hoch, nur aus parenchymatischen Zellen zusammengesetzt, 7 Strahlen je mm (Taf. I, Fig. 1–3).

Holzelemente: Tracheiden von quadratischen bis meist radial rechteckigen Querschnittsformen, im Frühholz radial 35–60 µm, im Mittel 53 µm, tangential 15–40 µm, im Mittel 30 µm ausgedehnt, im Spätholz radial 12-30 µm, im Mittel 20 µm, tangential 10-35 µm, im Mittel 26 µm ausgedehnt, Wände bis auf die Mittelschicht abgebaut, nur an wenigen Stellen die vermutlich ursprüngliche Dicke von 7-10 µm noch erhalten, radiale Längswände der Frühholztracheiden mit zwei bis drei opponiert übereinanderstehend angeordneten Hoftüpfeln besetzt, im Spätholz Hoftüpfel einreihig übereinanderstehend angeordnet, Höfe 15 µm, Pori 5 µm im Durchmesser (Taf. I, Fig. 1-4). Holzparenchymzellen auf dem Querschnitt von quadratischen bis radial verlängerten Querschnittsformen, radial 20-35 µm, tangential 20-30 µm ausgedehnt, 85-175 µm, im Mittel 125 µm hoch, horizontale Wände glatt, häufig mit schwarzen Inhaltsstoffen besetzt (Taf. I, Fig. 1, 3). Holzstrahlzellen in Tangentialansicht von vertikal verlängerten rechteckigen Querschnittsformen, Mittelzellen im Mittel 15 µm breit und 24 µm hoch, Endzellen 30-40 µm hoch, im Kreuzungsfeld 2-5 cupressoide bis taxodioide Tüpfel, horizontale und vertikale Wände glatt, keine Abietineen-Tüpfelung (Taf. I, Fig. 2, 3).

<u>Bemerkungen zum Fundstück</u>: Die Zellwände der Tracheiden sind nahezu vollständig bis auf die aus Mittellamelle und Primärwand bestehende Mittelschicht abgebaut. Nur an einigen Stellen des Querschnittes ist die in Mittelschicht, Sekundär- und Tertiärwand gegliederte Zellwand noch vorhanden. Durch ihre unterschiedliche Färbung sind diese Zellwandbestandteile dort noch gut von einander zu unterschieden (Taf. I, Fig. 4).

An einer Stelle des Querschnittes ist in einer Zuwachszone der Einwuchs eines fremden Holzgewebes vorhanden (Taf. IV, Fig. 3). Die kreisförmigen Tracheiden dieses Gewebes sind im Querschnitt $55-75 \,\mu\text{m}$ im Durchmesser und entsprechen in ihrer Größe den in *Podocarpoxylon radiciforme* vorhandenen Tracheiden (siehe S. 442).

Bestimmung: Das vorliegend beschriebene fossile Wurzelholz MNVD-G 27.277 zeigt Merkmale wie abietoide Hoftüpfel auf den radialen Tracheidenwänden, keine spiralverdickten Tracheiden, keine Harzkanäle, glatte Holzstrahlwände und taxodioide Tüpfel im Kreuzungsfeld, die zur Morphogattung *Taxodioxylon* führen.

Nach der Bestimmungstabelle von Kräusel (1949) kann das Fossil durch die Merkmale "auf dem Kreuzungsfeld oft mehr als 3 Tüpfel und Querwände des Holzparenchyms glatt" zu *Taxodioxylon gypsaceum* gestellt werden.

Taxodioxylon gypsaceum ist im Mesozoikum und Tertiär von Europa, Nordamerika, Ostasien und in der Arktis nachgewiesen. Im europäischen Tertiär ist sie die am häufigsten nachgewiesene Taxodiaceen-Art (Süss & Velitzelos 1997).

Die zu dieser Art gehörenden Quer- und Tangentialschliffe des Fossils aus der sächsischen Braunkohle werden in der Sammlung des Museums für Naturkunde und Vorgeschichte Dessau unter der Bezeichnung MNVD-G 27.277 aufbewahrt. Der Holzrest, von dem die Schliffe stammen, ist nicht mehr vorhanden.

Fundort: Espenhain, Böhlener Oberflöz, Sachsen, Deutschland

Alter: Tertiär, Unteroligozän

Taxodioxylon megalonissum Süss & Velitzelos 1997

Zu dieser Art gehören die Fundstücke der Wurzelhölzer MNVD-G 14.814 (Länge: 170 cm, Durchmesser: 120 cm), 26.708 (Länge: 115 cm, Durchmesser 50 cm), 26.709 (Länge: 110 cm, Durchmesser: 65 cm), 26.710 (Länge 65 cm, Durchmesser: 45 cm) mit jeweils 3 Schliffen (Abb. 1).



Beschreibung des Holzes

<u>Topographie</u>: Sekundäres Wurzelholz mit Koniferenholzstruktur. Zuwachszonen schmal, gut ausgebildet, von unterschiedlicher Breite, 0,19 mm–0,84 mm, im Mittel 0,4 mm breit, Frühholz abrupt in Spätholz übergehend, Spätholz von sehr unterschiedlicher Breite, von 2–10 Spätholzzellen alle Übergänge vorhanden, falsche Zuwachsringe und inter-annuelle Dichteschwankungen häufig vorkommend (Taf. II, Fig. 1, 2). Tracheiden die Grundmasse des Holzes bildend, auf dem Querschnitt in strengen radialen Reihen angeordnet, ihre Durchmesser vom Früh- zum Spätholz kontinuierlich kleiner werdend, in den Zwickeln sich berührender Tracheiden sind Interzellularen vorhanden (Taf. II, Fig. 1, 2). Holzparenchym spärlich über die Zuwachsgrenze verteilt, ca. 30 Zellen je mm², aus mehrgliedrigen Zellen zusammengesetzt (Taf. II, Fig. 1, 2, 4, 5). Holzstrahlen auf dem Querschnitt in radialen Reihen verlaufend, im Holz der Flachwurzeln im Spätholz schwach, im Holz des Seitenwurzelanlaufs stark verbreitert, einreihig, im Holz der Flachwurzeln 1–27, meist 2–10 Zellen hoch, im Holz des Seitenwurzelanlaufs nur 1–15, meist 1–6 Zellen hoch, nur aus parenchymatischen Zellen zusammengesetzt, im Holz der Flachwurzel im Rechten Winkel, im Holz des Seitenwurzelanlaufs, schräg zur Längsachse des Holzes verlaufend, 5 Strahlen je mm (Taf. II, Fig. 1– 5).

438

- ← Tafel I. Taxodioxylon gypsaceum (Göppert) Kräusel, Wurzelholz (MNVD-G 27.277).
- Übersichtsbild vom Querschnitt mit acht Zuwachsgrenzen zeigt die deutlich ausgeprägte Gliederung in Früh- und Spätholz, die Anordnung der Tracheiden in strengen radialen Reihen, den Verlauf der Holzstrahlen und das spärlich zerstreut vorkommende Holzparenchym. × 50.
- 2. Verlauf der Tracheiden und Anordnung der Holzstrahlen in Tangentialansicht. × 100.
- (MNVD-G 26.707): Übersichtsbild vom Radialschnitt zeigt die Anordnung der Hoftüpfel auf den Radialwänden der Früh- und Spätholztracheiden, einen Parenchymstrang an der Zuwachsgrenze und Holzstrahlzellen mit taxodioiden Tüpfeln im Kreuzungsfeld. × 100.
- 4. Ausschnitt vom Querschnittsbild mit zwei Zuwachsgrenzen zeigt Tracheiden mit ursprünglichen und Tracheiden mit bis auf die Mittelschicht abgebauten Zellwänden. × 200.
- ← Tafel I. Taxodioxylon gypsaceum (Göppert) Kräusel, Wurzelholz (MNVD-G 27.277).
- 1. Cross section view with eight growth boundaries showing a clearly marked arrangement of early- and late wood, the arrangement of tracpeids in strictly radial rows, the course of rays and the scarce scattered presence of wood parenchyma. × 50
- 2. Course of tracheids and the arrangement of rays intangential view. $\times\,100$
- 3. (MNDV-G26.707): Radial section view showing the arrangement of the bordered pits of the radial walls in early- and late wood tracheids, one parenchyma strand at the growth boundary and ray cells with taxodioid pits in the cross-field. × 100
- 4. Segment of cross section view with two growth boundaries showing original tracheids and tracheids with decomposed up to the middle lamella cell walls. × 200

Holzelemente: Tracheiden im Frühholz mit quadratischen bis rundlichen Querschnittsformen, radial 45-90 µm, im Mittel 60 µm, tangential 30-75 µm, im Mittel 50 µm ausgedehnt; im Holz des Seitenwurzelanlaufs im Mittel $43 \times 58 \,\mu\text{m}$ im Durchmesser, im Spätholz radial 15-25 µm, tangential 25-40 µm ausgedehnt; Wände im Frühholz bis 5 µm, im Spätholz bis 7 µm dick, meist stark abgebaut; Hoftüpfel auf radialen Wänden der Früholztracheiden meist zweireihig, gelegentlich auch dreireihig opponiert übereinanderstehend angeordnet, auf Wänden der Spätholztracheiden Hoftüpfel locker übereinanderstehend, Höfe 20 µm, Pori 5 µm im Durchmesser, auf tangentialen Wänden kleine Hoftüpfel einreihig weit auseinanderstehend vorhanden (Taf. II, Fig. 1, 2, 4, 5). Holzparenchymzellen auf dem Querschnitt von quadratischen Querschnittsformen, 30 µm im Durchmesser, in Längsschnitten 80-200 µm, im Mittel 145 µm hoch, mit glatten horizontalen Wänden, dunkle Inhaltsstoffe führend (Taf. II, Fig. 1-4). Holzstrahlzellen in Tangentialansicht kreisförmig, Mittelzellen im Mittel 28 µm hoch, Endzellen 30-40 µm hoch, im Kreuzungsfeld 2-6 cupressoide bis taxodioide Tüpfel, horizontale und vertikale Wände glatt, keine Abietineen-Tüpfelung (Taf. II, Fig. 3-5).

Bemerkungen zu den Fundstücken: In allen Fundstücken ist fremdes Holzgewebe eingewachsen. In den Stücken MNVD-G 14.814, und 26.709 sind im Quer- und Tangentialschliff klein- und großflächige Einwüchse von *Taxodioxylon gypsaceum* vorhanden. Im Querschnitt von MNVD-G 26.708 ist sowohl das Holz von *Taxodioxylon gypsaceum* als auch von *Podocarpoxylon radiciforme* als Einwuchs vorhanden (Abb. 4, Fig. 1–3). Diese Stücke stammen alle aus mächtigen, vermutlich stammnahen Wurzeln (Abb. 1). Im Fundstück MNVD-G 26.710 verlaufen die Holzstrahlen schräg zur Längsachse des Holzes, dieses Stück stammt deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit aus einem Seitenwurzelanlauf (Liese 1924) (Taf. II, Fig. 5).

Es ist nicht zu belegen, ob diese vier Wurzelstücke nur zu einem Baum oder zu mehreren Bäumen gehören.

Bestimmung: Die vorliegend beschriebenen vier Wurzelhölzer mit Koniferenholzstruktur werden durch die auf den radialen Tracheidenwänden abietoiden, meist zweireihig opponiert angeordneten Hoftüpfeln, dem Fehlen spiralverdickter Tracheiden und Harzgängen, den spärlich vorkommenden Holzparenchym und den taxodioiden Tüpfeln im Kreuzungsfeld als Wurzelhölzer der Morphogattung *Taxodioxylon* Hartig emend. Gothan bestimmt.

Von den meisten der bisher in der Literatur bekannt gewordenen *Taxodioxylon*-Arten kann es durch die im Spätholz und an den Zuwachsgrenzen verbreiterten Holzstrahlen unterschieden werden. Bisher ist nur eine *Taxodioxylon*-Art, *T. megalonissum* (Süss & Velitzelos 1997), beschrieben worden, bei der sich die Holzstrahlen im Spätholz verbreitern.

Taxodioxylon megalonissum stammt aus dem Tertiär des Versteinerten Waldes von Lesbos (Griechenland) und ist ein Holzfossil mit Stammholzstruktur. In allen wichtigen Merkmalen zeigt es Übereinstimmung mit vorliegend beschriebenen Funden. Es unterscheidet sich, durch die Stammholzstruktur bedingt, lediglich durch die Höhe



der Holzstrahlzellen. In vorliegend beschriebenen Wurzelhölzern sind die Holzstrahlellen im Mittel 28 μ m, im Holz von *Taxodioxylon megalonissum* im Mittel nur 20 μ m hoch.

Die vorliegend beschriebenen Fossilien werden deshalb als das Wurzelholz von *Taxodioxylon megalonissum* bestimmt.

Die vier Wurzelholzstücke Dessau MNVD-G 14.814, 26.708, 26.709 und 26.710 aus der sächsischen Braun-

kohle werden mit ihren Schliffen in der Sammlung des Museums für Naturkunde und Vorgeschichte Dessau aufbewahrt.

Fundort: Espenhain, Böhlener Oberflöz, Sachsen, Deutschland.

Alter: Tertiär, Unteroligozän.

- ← Tafel II. Taxodioylon megalonissum Süss & Velitzelos, Wurzelholz (MNDV-G 14.814, 26.708, 26.710).
- Übersichtsbild vom Querschnitt des Fundstücks 26.708 mit sechs Zuwachsgrenzen und zwei falschen Zuwachsringen (oben im Bild) zeigt die Anordnung der Tracheiden in radialen Reihen, die an den Zuwachsgrenzen verbreiterten Holzstrahlen und das spärlich zerstreut vorkommende Holzparenchym. × 50.
- Übersichtsbild vom Querschnitt des Fundstücks 26.710 zeigt die gut in Früh- und Spätholz gegliederten Zuwachszonen, die im Spätholz stark verbreiterten Holzstrahlen und das spärlich zerstreut vorkommende Holzparenchym. × 50.
- 3. Tangentialansicht vom Fundstück 14.814 zeigt den Verlauf der Tracheiden, die Anordnung der Holzstrahlen und (Bildmitte unten) einen Einwuchs von *Taxodioxylon gypsaceum*. × 100.
- 4. Übersichtsbild vom Radialschnitt einer Flachwurzel (Fundstück 14.814) mit zwei Zuwachsgrenzen zeigt die Anordnung der Hoftüpfel auf den radialen Tracheidenwänden, zwei längsverlaufende Parenchymstränge und Holzstrahlzellen mit taxodioiden Tüpfeln im Kreuzungsfeld. × 100.
- Übersichtsbild vom Radialschliff eines Seitenwurzelanlaufs (Fundstück 26.710) zeigt die Anordnung der Hoftüpfel auf den radialen Tracheidenwänden, mehrere Parenchymstränge und schräg zur Längsachse des Holzes verlaufende Holzstrahlen. × 100.
- ← Tafel II. Taxodioylon megalonissum Süss & Velitzelos, root wood (MNDV-G 14.814, 26.708, 26.710).
- 1. Cross section of find 26.708 with six growth boundaries and two false rings (in the picture above) showing the arrangement of tracheids in radial rows, the broadened rays on the boundaries and the sparsely scattered wood parenchyma. × 50.
- 2. Cross section view of find 26 .710 showing the well structured growth zones in the early and late wood, the strongly broadened rays of late wood and sparse presence of wood parenchyma. × 50.
- **3.** Tangential view of find 14.814 showing the course of tracheids, the arrangement of rays and (in the middle of the picture below) an ingrowth of *Taxodioxylon gypsaceum*. × 100.
- **4.** Radial section overview of a flat root (find 14.814) with two growth boundaries showing the arrangement of bordered pits on radial walls, two longitudinal parenchyma strands and cells of one ray with taxodioide pits in the cross-field. × 100.
- **5.** Radial section of a runner of the lateral root wood (find 26.710) showing the arrangement of bordered pits on the radial tracheid walls, numerously parenchyma strands and oblique to the longitudinal axis coursed rays. × 100.

Podocarpoxylon Gothan 1908

Generotypus: Podocarpoxylon aparenchymatosum Gothan 1908

Diagnose: Tüpfel der radialen Tracheidenwände rund (abietoid), bei Mehrreihigkeit gegenständig (opponiert), Kreuzungsfeld-Tüpfel mit senkrechtem bis steil-schrägem Porus oder mehr oder weniger steilen Eiporen (podocarpoid), horizontale und tangentiale Wände der Holzstrahlzellen glatt (keine Abietineen-Tüpfelung), Holzparenchym spärlich oder fehlend, Harzgänge fehlend (nach Müller-Stoll & Schultze-Motel 1990).

Diagnosis: Circular bordered pits on the radial tracheid walls ((abietoid pitting), if multiserial than opposite, cross-field pitting with vertical to steep-oblique or more or less steep ovoid (podocarpoid) pori, horizontal and tangential walls of ray cells smooth (abietineous pitting absent) wood parenchyma rarely or absent, resin canals absent (cf. Müller-Stoll & Schultze-Motel 1990).

Podocarpoxylon radiciforme sp. nova

Zu dieser Art gehört das Fundstück MNVD-G 26.707 eines Wurzelholzes von ca.180 cm Länge und einem Durchmesser von 90 cm mit 4 Schliffen (Abb. 1).

Beschreibung des Holzes

<u>Topographie</u>: Sekundäres Wurzelholz mit Koniferenholzstruktur. Zuwachszonen schmal, von unterschiedlicher Breite, 0,2-0,76 mm, im Mittel 0,42 mm breit, Frühholz abrupt in Spätholz übergehend, Spätholz unterschiedlich breit, von nur 1-2, bis 8 Spätholzzellen alle Übergänge vorhanden (Taf. III, Fig. 1). Tracheiden die Grundmasse des Holzes bildend, auf dem Querschnitt große kreisförmige Tracheiden neben mehr oder weniger radialoval gestreckten Tracheiden, mit unterschiedlich tangentialen Breiten in strengen radialen Reihen nebeneinanderliegend angeordnet, ihre Durchmesser vom



Früh- zum Spätholz kontinuierlich kleiner werdend, in den Zwickeln aneinanderstoßender Tracheiden Interzellularen (Taf. III, Fig. 1). Holzparenchym spärlich über die Zuwachszone verteilt, 20 Zellen je mm² (Taf. III, Fig. 1), aus mehrgliedrigen Strängen zusammengesetzt. Holzstrahlen auf dem Querschnitt in radialen Reihen verlaufend, im Spätholz deutlich verbreitert, einreihig bis zuweilen partiell zweireihig, 1–40, meist 4–15 Zellen hoch, nur aus parenchymatischen Zellen zusammengesetzt, 5 Strahlen je mm, zwischen Längswänden der Tracheiden und Strahlzellen Interzellularen (Taf. III, Fig. 1-4). Trabeculae, Tracheiden und Holzstrahlzellen in radialer Richtung überquerend, gelegentlich vorhanden (Taf. III, Fig. 5).

<u>Holzelemente</u>: Tracheiden im Frühholz mit kreisförmigen und radial ovalen Querschnittsformen, radial $50-90 \mu m$, im Mittel 70 μm , tangential $35-90 \mu m$, im Mittel 60 μm ausgedehnt, im Spätholz und unmittelbar an der Zuwachsgrenze radial stark abgeflachte Querschnittsformen, radi-

- ← Tafel III. Podocarpoxylon radiciforme sp. nov., Wurzelholz (MNDV-G 26.707).
- 1. Übersichtsbild vom Querschnitt mit sechs Zuwachsgrenzen zeigt die in Früh- und Spätholz gut gegliederten Zuwachszonen, die in radialen Reihen angeordneten Tracheiden und die im Spätholz stark verbreiterten Holzstrahlen. × 50.
- 2. Übersichtsbild vom Tangentialschnitt zeigt den Verlauf der Tracheiden und die Anordnung der Holzstrahlen. × 100.
- Tangentialschnitt mit einem zweireihigen Holzstrahl und einreihig übereinanderstehenden Hoftüpfeln auf den Längswänden der Tracheiden. × 200.
- 4. Radialansicht zeigt Tracheiden mit Hoftüpfeln und Holzstrahlen mit podocarpoiden Tüpfeln im Kreuzungsfeld. × 200.
- Radialansicht zeigt Verlauf der Tracheiden mit ein- bis zweireihig übereinander angeordneten Hoftüpfeln und eine Trabeculae-Reihe, die zwei Zuwachsgrenzen, mehrere Tracheiden und eine Holzparenchymzelle überquert. × 200.
- ← Tafel III. Podocarpoxylon radiciforme sp. nov., root wood (MNDV-G 26.707).
- 1. Cross section view with six growth boundaries showing the good articulated growth zones in early- and late wood, the arrangement of tracheids in radial rows and the strongly broadened rays in the late wood. \times 50.
- 2. Overview image of the tangential section showing the course of tracheids and the arrangement of rays. \times 100.
- Tangential section with a two-row ray and bordered pits positioned in single-row, one on top of each other, in the iongitudinal walls of tracheids. × 200.
- 4. Radial view showing tracheids with bordered pits and rays with podocarpoid pits in the cross-field. × 200.
- Radial view showing the course of tracheids with bordered pits arranged in one to two rows and one row of trabecula, going across two growth boundaries, several tracheids and one cell of wood parenchyma. × 200.

al 20-50 µm, tangential 35-90 µm ausgedehnt, Wände stark abgebaut, Mittelschicht bis 3 µm dick, Sekundärund Tertiärwände zeigen Auflösungserscheinungen, radiale Wände der Frühholztracheiden mit meist 1-2, gelegentlich 3 opponiert übereinanderstehend angeordneten Hoftüpfeln besetzt, häufig durch Crassulae getrennt, im Spätholz einreihig übereinanderstehend angeordnet, Höfe 20 µm, Pori 5 µm im Durchmesser, auf Wänden der Spätholztracheiden Hoftüpfel einreihig locker übereinanderstehend, Höfe 15 µm im Durchmesser, mit schlitzförmigem Porus (Taf. III, Fig. 1, 3-5). Holzparenchymzellen auf dem Querschnitt von quadratischen Querschnittsformen, 35-55 µm im Durchmesser, in Längsschnitten Zellen 105–150, im Mittel 125 µm hoch, mit glatten horizontalen Wänden, häufig dunkle Inhaltsstoffe führend. Holzstrahlzellen in Tangentialansicht kreisförmig, Mittelzellen 25–50 μm, im Mittel 35 μm, Endzellen 35–50 μm im Durchmesser, im Kreuzungsfeld 2-5 podocarpoide Tüpfel, horizontale und vertikale Wände glatt, keine Abietineen-Tüpfelung (Taf. III, Fig. 2-4).

Bemerkungen zum Fundstück: An mehreren Stellen des Querschnittes ist das Holz von *Taxodioxylon gypsaceum*, häufig großflächig oder auch wie miteinander verwoben, eingewachsen (Taf. IV, Fig. 1, 2, 4). Von den Zellwänden der Tracheiden ist die Mittelschicht gut erhalten. Die Sekundär- und Tertiärwände sind, wahrscheinlich durch Autolyse, jedoch stark zerfasert abgebaut. Spuren von Pilzbefall konnte nur an einer Stelle des Querschnittes gefunden werden (Taf. IV, Fig. 4). Auf dem Radialschliff sind Trabeculae vorhanden, die in einem Fall eine Zuwachsgrenze, 14 Tracheiden und eine Zelle des Holzparenchyms überqueren (Taf.III, Fig. 5). Trabeculae oder Saniosche Balken sind Stab- oder Balkenbildungen, die die Holzelemente in radialer Richtung durchqueren und ihre Tangentialwände miteinander verbinden. Über das Vorkommen und den möglichen Ursachen der Entstehung dieser intrazellulären Gebilde in einem Pflanzengewebe wurde bisher in der Literatur viel berichtet, so unter anderem von Müller-Stoll (1965), Yumoto (1984), Grosser (1986) und Süss (1989). Die Frage nach Entstehung und Aufgabe der Trabeculae in einem Pflanzengewebe konnte jedoch bisher noch nicht befriedigend beantwortet werden.

In der paläobotanischen Literatur wurde bisher wenig über das Vorkommen von Trabeculae in fossilen Hölzern berichtet. Müller-Stoll & Schultze-Motel (1989, 1990) fanden Trabeculae in drei fossilen Holzarten der Morphogattungen *Protocupressinoxylon* Eckhold, *Podocarpoxylon* und *Circoporoxylon* Kräusel aus dem deutschen Jura (Lias). Süss & Velitzelos (1994) berichten über ein außergewöhnlich zahlreiches Vorkommen von Trabeculae-Reihen im Holz von *Taxaceoxylon biseriatum*, einem Fossil aus dem Versteinerten Wald der griechischen Insel Lesbos. Süss & Müller (2014) fanden in einem Wurzelholz der Morphogattung *Ginkgoxylpropinquus* Savidge aus dem Tertiär der sächsischen Braunkohle eine Trabeculae-Reihe, die über 15 Zuwachszonen hinweg ca. 90 Tracheiden überquerte.



Bestimmung: Die auf den radialen Tracheidenwänden vorwiegend ein- bis zweireihig opponiert übereinander angeordneten runden Hoftüpfel, die glatten Wände der Holzstrahlzellen, die podocarpoiden Tüpfel auf den Kreuzungsfeldern, das spärliche Holzparenchym und das Fehlen von Harzgängen führen zur Morphogattung *Po-docarpoxylon* Gothan.

Unter den bisher aus der Literatur bekannt gewordenen ca. 50 Podocarpoxyla (Süss & Velitzelos 2000) befindet sich keine Art, die dem Holz einer Wurzel zugeordnet werden kann. Allein schon durch die im Mittel 38 µm hohen Holzstrahlzellen grenzt sich unser Fossil von allen anderen Podocarpoxyla-Arten ab. Wegen dem Vorkommen von auffällig verbreiterten Holzstrahlen im Spätholzbereich und an den Zuwachsgrenzen kommen lediglich *Podocarpoxylon articulatum* und *P. craciliradiatum* (Süss & Velitzelos 2000) für einen Vergleich in Betracht. In beiden Arten sind, für das Stammholz typisch,

- ← Tafel IV. Wurzelverwachsungen zwischen Podocarpoxylon radiciforme und Taxodioxylon gypsaceum.
- 1. Querschnitt der Wurzel von *Podocarpoxylon radiciforme* mit ca. 130 Zuwachszonen und zahlreichen Verwachsungen mit *Taxodioxylon gypsaceum*. × 3.
- 2. Ausschnitt aus Fig. 1 zeigt einen großflächigen Einwuchs von Taxodioxylon-Holz in das Holz von Podocarpoxylon. × 20.
- 3. Einwuchs von Podocarpoxylon-Holz in das Holz von Taxodioxylon. × 50.
- Ausschnitt von Fig. 1 mit vier Zuwachszonen zeigt kleinflächige Einwüchse von Taxodioxylon gypsaceum in das Holz von Podocarpoxylon. Links im Bild eine Pilzhyphe mit zwei Zellkernen, drei Zuwachsgrenzen überquerend. × 50.

← Tafel IV. Intergrowths of root wood between *Podocarpoxylon radiciforme* and *Taxodioxylon gypsaceum*.

- 1. Cross section of root wood of *Podocarpoxylon radiciforme* with approx. 130 growth zones and numerous intergrowths with *Taxodioxylon gypsaceum*. × 3.
- 2. Section of figure 1 showing a large area of ingrowths Taxodioxylon wood into the wood of Podocarpoxylon. \times 20.
- **3.** Ingrowths of *Podocarpoxylon* wood into the woad of *Taxodioxylon*. \times 50.
- **4.** Section of figure 1 with faur growth zones showing a small-area of ingrowths *Taxodioxylon* gypsaceum into the wood of *Podocarpo-xylon*. On the left-hand side of the pictures a fungus hyphe with two nuclei, overcrossing three growth boundaries. × 50.

die Holzstrahlzellen im Mittel jedoch nur 22 μ m hoch. Außerdem unterscheiden sie sich vom hier beschriebenen Fossil durch den Bau ihrer Holzstrahlen. Im Holz von *Podocarpoxylon articulatum* sind die Holzstrahlen 1–3 Zellen breit und bis über 100 Zellen hoch und in *P. craciliradiatum* bis 70 Zellen hoch.

Wegen dem bisher einmaligen Vorkommen von Wurzelholzstruktur in einem Holzfossil der Morphogattung *Podocarpoxylon* wird das Fossil *Podocarpoxylon radiciforme* sp. nova genannt.

<u>Diagnose</u>: Sekundärholz der Morphogattung *Podocarpoxylon* Gothan mit Wurzelholzstruktur, Zuwachszonen schmal und deutlich, im Frühholz große kreisförmige Tracheiden, Hoftüpfel auf radialen Tracheidenwänden abietoid, in ein bis drei Reihen angeordnet, auf tangentialen Wänden einreihig, locker übereinanderstehend, Holzparenchym spärlich, Holzstrahlen im Spätholz verbreitert, einreihig, gelegentlich zweireihig, bis 40, meist 4-15 Zellen hoch, mit großen kreisförmigen, im Mittel 38 µm hohen Zellen, im Kreuzungsfeld 2-5 podocarpoide Tüpfel.

Diagnosis: Secondary xylem of *Podocarpoxylon* Gothan with a wood structure of root, growth layers narrow and distinct, tracheids in the early wood great and circular, bordered pits on the radial tracheid walls abietoid, arranged in one to three rows, on the tangential walls in one row loosely one upon another, wood parenchyma rarely, rays in late wood widened, uniseriate, occasional having two rows, to 40-15 cells high, with big circular, on average 38 µm high cells, in the cross-field 2-5 podocarpoid pits.

<u>Holotypus</u>: Verkieseltes Wurzelholz aus dem Tertiär der sächsischen Braunkohle mit 4 Schliffen (Taf. III, Fig. 1– 5). Das Holzfossil mit den Schliffen wird in der Sammlung des Museums für Naturkunde und Vorgeschichte Dessau unter der Bezeichnung MNVD-G 26.707 aufbewahrt.

<u>Fundort</u>: Espenhain, Böhlener Oberflöz, Sachsen, Deutschland.

Alter: Tertiär, Unteroligozän.

Bemerkungen zum Merkmal "Verbreiterung der Holzstrahlen im Spätholzbereich": Die auffällige Verbreiterung der Holzstrahlen im Spätholzbereich bei Taxodioxylon megalonissum und Podocarpoxylon radiciforme ist für das Holz der Gymnospermen ein ungewöhnliches Merkmal. Im Holz rezenter Koniferen ist diese Erscheinung unbekannt. Innerhalb der Gymnospermen kommt dieses Merkmal bei Ginkgo biloba L. und den fossilen ginkgoalen Holzarten vor. Im Holz der Laubholzarten und den ginkgoalen Arten wird die Verbreiterung der Holzstrahlen im Spätholz durch ein jahresperiodisch unterschiedlich starkes Längenwachstum der Holzfasern verursacht (Süss 1967, 1973; Süss & Lier 1985, Süss & Kelber 2011). Im Holz der Koniferen wachsen die Tracheiden nach ihrer Abgliederung vom Kambium im Verlauf einer Zuwachsperiode nachträglich nicht oder nur wenig in die Länge. Eine Holzstrahlverbreiterung ist deshalb im Spätholz nicht möglich. Auch in den vorliegend beschriebenen Koniferen Taxodioxylon megalonissum und Podocarpoxylon radiciforme werden die Tracheiden nachträglich nicht verlängert. Die Verbreiterung der Holzstrahlen wird hier durch eine im Verlauf der Vegetationsperiode unterschiedlich starke tangentiale Verbreiterung der Tracheiden verursacht.

Wie Abbildung 2 zeigt, nehmen die tangentialen Tracheidendurchmesser von *Taxodioxylon megalonissum*



- Abb. 2. Änderungen der tangentialen Tracheidendurchmesser im Verlauf einer Zuwachsperiode bei (P) Podocarpoxylon radiciforme, (Tm) Taxodioxylon megalonissum und (Tg) T. gypsaceum.
- Fig. 2. Alterations of the tracheid's tangential diameter in the course of a growth period in case of (P) *Podocarpoxylon radiciforme*, (Tm) *Taxodioxylon megalonissum* and (Tg) *T. gypsaceum.*

und Podocarpoxylon radiciforme vom ersten Frühholz bis etwa zum ersten Drittel der Zuwachsperiode stetig an Größe zu und werden dann, bis zur Zuwachsgrenze hin, wieder kontinuierlich kleiner. Mit dieser sich rhythmisch wiederholenden Vergrößerung der Tracheidendurchmesser wird gleichzeitig das Gewebe zwischen den Holzstrahlen auf Kosten des Volumens der Holzstrahlen auseinander gedrängt. Im Spätholzbereich, wenn die kleinsten tangentialen Tracheidendurchmesser erreicht sind und das Gewebe zwischen den Holzstrahlen dadurch wieder schmaler ausgebildet ist, wird der frei gewordene Raum von den Holzstrahlen ausgefüllt. Die Volumenzunahme der Holzstrahlen erfolgt nicht durch Zellvermehrung, sondern durch Verbreiterung der einzelnen Zellen. Im Holz von Taxodioxylon gypsaceum bleiben diese Elemente im Verlauf einer Zuwachsperiode nahezu unverändert. Die Holzstrahlen sind im Spätholz deshalb nicht verbreitert.

Bisher ist das Merkmal "Verbreiterte Holzstrahlen im Spätholzbereich", außer in den hier beschriebenen Arten, nur in den Arten *Podocarpoxylon articulatum*, *P. graciliradiatum*, *Taxodioxylon megalonissum*, *Pinoxylon paradoxum* und *P. pseudoparadoxum* aus dem Tertiär der griechischen Insel Lesbos nachgewiesen worden (Süss & Velitzelos 1994, 1997, 2000).

Die Wurzelverwachsungen

Eine ungewöhnliche Erscheinung in den in dieser Arbeit untersuchten sechs Wurzelhölzern ist das Einwachsen von Holz in das Holz einer anderen Baumart. So ist das Holz von *Taxodioxylon gypsaceum* in allen vier zu *T. megalonissum* gestellten Fundstücken und in dem zu



- Abb. 3. Mammutbaumstubben [Taxodioxylon gypsaceum (Göpp.) Kräusel] aus dem Tagebau Klettwitz, Niederlausitz, ausgestellt im ehemaligen BUGA-Gelände von Cottbus, Deutschland. Stammdurchmesser 3,60 m, Breite des Wurzelstockes 5 m, geschätztes Alter 1200 Jahre (Striegler et al. 1984).
- Abb. 3. Stump of a Mammut tree [Taxodioxylon gypsaceum (Göpp.) Kräusel] from the open-cast coal pit in Klettwitz, Lower Lusatia, exhibited on the former BUGA-site of Cottbus, Germany. Diameter of stem 3,60 m, breadth of the root stock 5 m, estimated age 1.200 years (Striegler et al. 1984).

Podocarpoxylon radiciforme gestellten Holzfund eingewachsen. Die zu *Taxodioxylon megalonissum* gehörenden Funde MNVD-G 14.814 und 26.708 sind stellenweise sowohl mit dem Holz von *T. gypsaceum* als auch mit dem Holz von *Podocarpoxylon radiciforme* verwachsen, und im Holz von *Taxodioxylon gypsaceum* ist ein Einwuchs von *Podocarpoxylon radiciforme* vorhanden (Taf. IV, Fig. 1–4; Abb.4, Fig. 1–3).

Über das Verwachsen der Wurzeln verschiedener Baumarten ist bisher wenig bekannt. Lediglich Göppert (1842) berichtete ausführlich über die Wurzelvereinigung von Stämmen verschiedener Baumarten in einem Nadelholzwald. Aus seinen Untersuchungen schlussfolgerte er, "dass in sehr gedrängt stehenden älteren Beständen, sehr viele, ich will nicht sagen die meisten Bäume, wohl untereinander verwachsen sein können", und diese Verwachsungen "bald durch blosse Conclutination der Rinde, bald durch Vereinigung der Holzschichten selbst stattfand". Außer zwischen gleichartigen Bäumen und zwischen *Picea* und *Abies* fand Göppert Wurzelverwachsungen zwischen den Bäumen "… einer Rothtanne oder Fichte, Weisstanne, und einer Kiefer …"

Die Bäume eines Koniferenmischwaldes im Tertiär der sächsischen Braunkohle hatten gewaltige Ausmaße. So hat ein Mammutbaumstubben aus dem Tagebau von Klettwitz mit einem Stammdurchmesser von 3,20 und einem 5 m breiten Wurzelstock (Abb. 3) ein geschätztes Alter von 1200 Jahren (Striegler et al. 1984). Im Niederlausitzer Oberflöz hat man an Stubben bei Sequoien bis 2390 und bei Taxodien bis 3659 Jahresringe gezählt (Teumer 1922). Die Wurzelhorizonte der damaligen Wäl-



Abb. 4. Verwachsungen anderer Holzarten mit dem Holz von Taxodioxylon megalonissum.

- 1. Taxodioxylon gypsaceum mit T. megalonissum, Fundstück 14.814. × 10.
- 2. Taxodioxylon gypsaceum mit T. megalonissum, Fundstück 26.709. × 10.
- 3. Verwachsungen von *Taxodioxylon gypsaceum* und *Podocarpoxylon radiciforme* mit dem Holz von *T. megalonissum*, Fundstück 26.708. × 50.

Abb. 4. Intergrowth other wood species with the wood of von Taxodioxylon megalonissum.

- **1.** Taxodioxylon gypsaceum with T. megalonissum, find $14.814. \times 10$.
- **2.** Taxodioxylon gypsaceum with T. megalonissum, find 26.709×10 .

3. Intergrowth of Taxodioxylon gypsaceum and Podocarpoxylon radiciforme with T. megalonissum, find 26.708. × 50.

der hatten demnach ganz andere Dimensionen als die Wurzelhorizonte heutiger Baumbestände.

Götze et al. (1989) wiesen nach, dass sich individuenmäßig unterschiedliche Kambien mit unterschiedlichem physiologischen Alter vereinen können. Vorliegende Untersuchungen zeigen, dass sich auch die Kambien unterschiedlicher Baumarten miteinander vereinen, eine Erkenntnis, die bereits aus Göpperts (1842) "Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke" gefolgert werde kann.

Die zur Untersuchung vorliegenden Fossilien stammen aus dem Wurzelboden eines Mischwaldes mit den Baumarten *Taxodioxylon gypsaceum*, *T. megalonissum* und *Podocarpoxylon radiciforme*. Um das Eindringen des Holzes einer dieser Art in das Holz einer anderen Art zu ermöglichen, müssen ihre Wurzeln sehr bedrängt aneinander oder sich auch überkreuzend gelegen haben. Nur so können sich die Rindengewebe gegenseitig verletzen und ihre Kambien miteinander verwachsen.

Der Nachweis dieser Vorgänge wird in dieser Arbeit dadurch begünstigt, dass die drei daran beteiligten Baumarten besonders auffällige holzanatomische Unterschiede zeigen. So können alle drei Arten auf den Querschnitten durch die Größe und Form ihrer Tracheiden und auf den Längsschnitten durch die Höhe und Form ihrer Holzstrahlzellen gut voneinander unterschieden werden.

Über welchen Zeitraum sich das fremde Gewebe am Dickenwachstum der Wurzel beteiligt hat, kann an vorliegendem Material nur bedingt beurteilt werden, denn die jeweiligen Holzquerschnitte geben immer nur einen begrenzten Einblick über den gesamten Wurzeldurchmesser.

Anhand der vorliegenden Funde wird versucht, den Mechanismus des Einwachsens von Holz in das Holz einer anderen Baumart und die damit verbundenen Vorgänge in etwa zu verstehen. Göppert (1842), den die heutigen wissenschaftlich-technischen Möglichkeiten nicht zur Verfügung standen, sagte damals aus seiner Sicht mit Recht, dass das miteinander Verwachsen von fremden Gewebe "… zu den bis jetzt noch völlig unerklärlichen Erscheinungen gehört …" und es "… das normale Vorstellungsvermögen übersteigt ...", wie diese Vorgänge vor sich gegangen sind.

Besonders eindrucksvoll kann dieses Phänomen am Querschnitt der Wurzel von Podocarpoxylon radiciforme gezeigt werden, wo über einen Zeitraum von ca. 130 Zuwachszonen das Holz mit Taxodioxylon gypsaceum verwachsen ist (Taf. IV, Fig. 1). Dieser Querschliff stammt aus dem Inneren des Wurzelholzes. Nach dem bogenförmigen Verlauf der Zuwachszonen zu urteilen, waren beide Arten bereits miteinander verwachsen als die Podocarpoxylon-Wurzel mit etwa 20 Zuwachsringen einen Durchmesser von etwa 10 cm erreicht hatte. Von da an erfolgt der Dickenzuwachs unter Beteiligung beider Arten. In mehreren Fällen hat der "Eindringling", so vor allem an der rechten Seite und im oberen Teil des Querschnittes, über mehrere Zuwachszonen hinweg, großflächig den gesamten Dickenzuwachs übernommen. Im allgemeinen sind aber innerhalb einer Zuwachszone stets beide Gewebearten am Dickenwachstum beteiligt (Taf. IV, Fig. 1, 2, 4).

Einwüchse von fremdem Gewebe bzw. Wurzelverwachsungen konnten stets auch in allen anderen Fundstücken nachgewiesen werden. So sind im Querschnitt von *Taxodioxylon gypsaceum* kleinflächige Einwüchse von *Podocarpoxylon radiciforme* vorhanden (Taf. IV, Fig. 3). In allen vier Fundstücken von *T. megalonissum* sind auf den Querschnitten, über mehrere Zuwachszonen hinweg, eingewachsenes Holzgewebe von *Taxodioxylon gypsaceum* vorhanden, welches vollkommen gleichberechtigt am Dickenwachstum der Wurzel beteiligt ist (Abb.4, Fig. 1, 2).

In dem zu *Taxodioxylon megalonissum* gehörendem Fundstück 26.708 ist an einer Stelle des Querschnittes sowohl das Holz von *T. gypsaceum* als auch von *Podocarpoxylon radiciforme* miteinander verwachsen. Hier erscheinen die beiden Fremdgewebe und das Holz der Hauptwurzel wie miteinander verflochten (Abb. 4, Fig. 3). Dies ist ein Beleg, dass die Bäume drei verschiedener Koniferenarten durch ihre Wurzeln miteinander verbunden waren.

In allen hier beschriebenen Fällen schaltet sich das Kambium der "Eindringlinge" reibungslos in den Teilungsrhythmus der Hauptwurzel ein. Das fremde Gewebe hat sich vollkommen dem Stoffwechsel des Gastgebers untergeordnet und nimmt gleichberechtigt am Dickenwachstum der Wurzel teil.

Danksagung

Für die mikrofotografischen Übersichtsaufnahmen von drei- bis zwanzigfacher Vergrößerung bedanken wir uns bei Herrn Prof. Manfred Barthel, Berlin, und für die Unterstützung bei fototechnischen Arbeiten und der elektronischen Bearbeitung der Abbildungen und Tafelbilder sind wir Frau Sarah Löwe, Berlin, zu Dank verpflichtet.

Literatur

- Göppert, H.R. (1842): Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke. 26 S., Bonn.
- Gothan, W. (1905): Zur Anatomie lebender und fossiler Gymnospermenhölzer. – Abh. kgl. preuß. geol. Landesanstalt, N. F., 44: 1–108, Berlin.
- Gothan, W. (1908): Die fossilen Hölzer von der Seymour- und Snow Hill Insel. – Wiss. Ergebn. schwed. Südpolarexped. 1901–1903, III (8): 1–32, Stockholm.
- Götze, H.; Schultze-Dewitz, G.; Wenk, M. (1989): Abnorme Holzstrukturen, II: Stocküberwallungen an Nadelholz. – Drevársky Výskum, 121: 33–48, Bratislava.
- Grosser, D. (1986): On the occurrence of trabeculae with special consideration of diseased trees. – IAWA Bull. n. s., 7: 319– 341, Leiden.
- Hartig, T. (1848): Beiträge zur Geschichte der Pflanzen und zur Kenntnis der norddeutschen Braunkohlenflora. Bot. Z. 6: 166–172, Berlin.
- Kräusel, R. (1949): Die fossilen Koniferen-Hölzer (unter Ausschluß von Araucarioxylon Kraus). – Palaeontographica B, 89: 83–203, Stuttgart.
- Liese, J. (1924): Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Kiefer (*Pinus silvestris*). – Forstl. Bl.: Z. Forst-. Jagdwesen, LVII: 129–181, Berlin.
- Müller-Stoll, W.R. (1965): Über intrazelluläre Stabbildungen (Trabeculae) im Holz als anatomische Eigenart bei Gehölzen exponierter Gebirgslagen. – Kulturpflanze, 13: 763–799, Berlin.
- Müller-Stoll, W.R.; Schultze-Motel, J. (1989): Gymnospermen-Hölzer des Deutschen Jura. Teil 2: Die protopinoiden Hölzer. Z. dt. geol. Gesellsch., 140: 53–71, Stuttgart.
- Müller-Stoll, W.R.; Schultze-Motel, J. (1990): Gymnospermen-Hölzer des Deutschen Jura. Teil 3: Abietoid (modern) getüpfelte Hölzer. – Z. dt. geol. Ges., 141: 61–77, Stuttgart.
- Striegler, U.; Striegler, R.; Süss, H. (1984): Ein Mammutbaumstubben aus dem Großtagebau Klettwitz. – Z. f. angewandte Geologie, **30**: 151–153, Berlin.
- Süss, H. (1967): Über die Längenänderungen der Parenchymstränge, Holzfasern und Gefäßglieder im Verlauf einer Zuwachsperiode. – Holz a. Roh- u. Werkstoff, 25: 369–377, Berlin.
- Süss, H. (1973): Zur Evolution des Holzstammes der Laubhölzer unter besonderer Berücksichtigung seiner Festigkeit. – Feddes Repert., 84: 517–531, Berlin.
- Süss, H. (1989): Beitrag zur Holzanatomie der Pinaceae am Beispiel des Astholzes der Borstenkiefer *Pinus aristata* Engelm. – Feddes Repert., **100**: 617–624, Berlin.
- Süss, H.; Kelber, K.-P. (2011): Eine neue Art der Morphogattung Baieroxylon Greguss aus dem Keuper von Franken, Deutschland. – Feddes Repert., 122: 257–267, Weinheim.
- Süss, H.; Lier, W. (1985): Das Längenwachstum der Holzfasern und seine Auswirkungen auf den Gewebeverband. – Gleditschia, **12** (1): 47–52, Berlin.
- Süss, H.; Müller, L. (2014): Ein Stamm- und Wurzelholzfossil der Morphogattung Ginkgoxylpropinquus Savidge aus dem Tertiär der sächsischen Braunkohle, mit Bemerkungen über die Stellung der Ginkgoales innerhalb der Gymnospermen aus

- holzanatomischer Sicht. Geologica Saxonica 60(3): 452–460, Dresden.
- Süss, H.; Velitzelos, E. (1994): Ein neues fossiles Koniferenholz, *Taxaceoxylon biseriatum* sp. nov., aus tertiären Schichten der Insel Lesbos, Griechenland. – Feddes Repert., 105: 257–269, Berlin.
- Süss, H.; Velitzelos, E. (1997): Fossile Hölzer der Familie Taxodiaceae aus tertiären Schichten des Versteinerten Waldes von Lesbos, Griechenland. – Feddes Repert., 108: 1–30, Berlin.
- Süss, H. & Velitzelos, E. (2000): Zwei neue fossile Hölzer der Formgattung *Podocarpoxylon* Gothan aus tertiären Schichten der Insel Lesbos, Griechenland. – Feddes Repert., **111:** 135– 145, Berlin.
- Teumer, T. (1922): Was beweisen die Stubbenhorizonte in den Braunkohlenflözen? – Jb. d. Halleschen Verbandes, **3**: 1–39, Halle.
- Yumoto, M. (1984): The trabeculae and its related structures. Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido, 41: 205–260, Sapporo.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Geologica Saxonica - Journal of Central European Geology

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: 60

Autor(en)/Author(s): Süss Herbert, Müller Lutz

Artikel/Article: <u>Untersuchungen über das Vorkommen von Wurzelhölzern und</u> <u>Wurzelverwachsungen in einem Koniferenmischwald aus dem Tertiär der</u> <u>sächsischen Braunkohle 435-449</u>