



Als Chemnitz am Äquator lag: die Fossilagerstätte „Versteinerter Wald“ auf dem Weg zum digitalen Erlebnis

Ilja Kogan^{a,b}, Thorid Zierold^a, Volker Annacker^a, Chemnitz & Maik Jähne^c, Nossen

Kurzfassung

Um die Faszination des in der Fossilagerstätte Chemnitz durch einen katastrophalen Vulkanausbruch konservierten terrestrischen Ökosystems aus dem frühen Perm (Sakmarium/Artinskium, ca. 291 Ma) einem breiten Publikum zugänglich zu machen, hat das Museum für Naturkunde mit externen Partnern die Entwicklung einer virtuellen Rekonstruktion des Lebensraumes begonnen. Dafür werden wissenschaftlich fundierte 3D-Modelle von Pflanzen und Tieren aus der Fossilagerstätte entwickelt, die als statische oder (später) animierte Modelle in der Landschaft einen lebensechten Eindruck vom permischen Wald vermitteln sollen. Der Prototyp bildet die Basis für eine Reihe von Anwendungen zur Wissenschaftskommunikation im Museum und außerhalb.

Abstract

To make the fascination of the Early Permian (Sakmarian/Artinskian, ca. 291 Ma) terrestrial ecosystem of the Chemnitz fossil lagerstätte, conserved by a catastrophic volcanic eruption, accessible to a broader public, the Museum für Naturkunde Chemnitz has initiated developing a virtual reconstruction of the habitat together with external partners. For this sake, scientifically grounded 3D models of animals and plants from the fossil lagerstätte are developed, designed to create a realistic impression of the Permian forest as static or (later) animated models within a landscape. The prototype forms the base for several science communication applications inside and outside the museum.

Einleitung

Als Ende 2004 das Kultur- und Bildungszentrum Tietz eröffnet wurde, wartete das Museum für Naturkunde mit einer modernen Dauerausstellung auf. Ihr Herzstück – das Sterzeleanum – wurde allerdings schon 2001 im König-Albert-Museum installiert, wenngleich mit Blick auf das neue Haus konzipiert und entwickelt. Die auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Ausstellung präsentierte den Kenntnisstand zum Versteinigerten Wald am Ende des 20. Jahrhunderts mit den zu der Zeit verfügbaren Medien und Mitteln der Ausstellungs-gestaltung.

Einen enormen Wissenszuwachs ermöglichten seitdem die systematischen Grabungen in der Frankenberger Straße in Chemnitz-Hilbersdorf (2008–2011) und in der Glockenstraße auf dem Sonnenberg (seit 2012). Spektakuläre Funde wie der größte Schachtelhalmbaum der Welt (Rößler et al. 2012) mit Fraßspuren und Koprolithen von Invertebraten, eine kopfüber mit Krone in vulkanischer Asche eingebettete *Medullosa* (Luthardt et al. 2022), die ersten vollständigen Skorpione aus dem Perm (Dunlop et al. 2016) oder die ältesten baumkletternden Wirbeltiere (Spindler et al. 2018) unterstreichen die Bedeutung der Fossilagerstätte Chemnitz für die Erforschung der Evolution verschiedener Organismengruppen und erlauben nach und nach, zusammen mit weiteren paläontologischen, sedimentologischen und geochemischen Daten, die Rekonstruktion eines komplexen Ökosystems aus einer Zeit globaler Klimaveränderungen (Rößler 2021; Abb. 1).

Anschriften der Autoren

^a Museum für Naturkunde Chemnitz, Moritzstraße 20, 09111 Chemnitz,

E-Mails: kogan@naturkunde-chemnitz.de, zierold@naturkunde-chemnitz.de, annacker@naturkunde-chemnitz.de

^b TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Bernhard-von-Cotta-Straße 2, 09599 Freiberg

^c addcademy, Eulaer Hauptstraße 77, 01683 Nossen, E-Mail: maik@jaehneprojekt.de



Abb. 1 | Das Ökosystem der Fossilagerstätte Chemnitz als lebendiger Wald (verändert nach Stefan Schießl, 2012). Zu den dargestellten Pflanzen und Tieren gehören Medullosen (1), Cordaiten (2), Pasronien (3), Calamiten (4), die Schnecke *Dendropupa* (5), der Hundertfüßer *Arthropleura* (6), der Skorpion *Opsieobuthus* (7), das temnospondyle Amphib *Chemnitzion* (8) und der Varanopide *Ascendonanus* (9).

Trotz der Wahl von Chemnitz zur Europäischen Kulturhauptstadt 2025 ist die dringend notwendige Erneuerung der Dauerausstellung noch nicht greifbar. Somit müssen andere Wege gefunden werden, die Erkenntnisse der letzten Jahrzehnte einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Die zunehmend populär werdenden digitalen Technologien sind prädestiniert dafür, da sie vielfältig einsetzbar und weitgehend ortsungebunden sind und die Inhalte fast unbegrenzt weiterentwickelt werden können.

Mit der Bewilligung eines Antrags auf Förderung im Programm für digitale Interaktionen „dive in“ stellte die Kulturstiftung des Bundes dem Museum für Naturkunde Ende 2021 fast 140.000 € zur Verfügung. Damit konnte das Pilotprojekt „Als Chemnitz am Äquator lag. Auftakt zu einer digitalen Reise in die Urzeit“ unter der Leitung des Erstautors umgesetzt werden, in dem bis Ende 2022 erste 3D-Modelle von Pflanzen und Tieren aus dem permischen Wald entwickelt und Anwendungen zu deren Präsentation getestet werden. Ziel ist es, Besuchern einen möglichst lebensnahen Eindruck vom permischen Wald und seinen Bewohnern zu vermitteln, um so in einem ersten Schritt die Faszination für die Lebewelt der geologischen Vergangenheit zu wecken, die an Ort und Stelle, in der Fossilagerstätte Chemnitz, überliefert ist und erforscht wird. Dieser Beitrag soll einen Einblick in die Projektkonzeption und Modellentwicklung geben, zurückliegende Projektschritte dokumentieren und die Richtung für nachfolgende Entwicklungen aufzeigen.

Augmented (AR) und Virtual Reality (VR) im Museum. Unter Nutzung verschiedener Endgeräte erlaubt AR (a–c) die Darstellung digitaler Objekte im realen Raum. Die VR-Technologie ermöglicht dagegen weitgehende Immersion in die digitale Welt (d) und beinahe haptische Interaktion mittels Handcontroller (e, f).

Abb. 2

1 Konzeption: Vision und Praxistest

Zur Darstellung digitaler Objekte und 3D-Welten, die aus einer Vielzahl solcher Objekte aufgebaut sind, existieren unterschiedliche Ansätze (Abb. 2). Zunächst kann eine Darstellung am Computerbildschirm ausreichen, um sich, wie in einem Videospiel, mit Maus, Tastatur oder einem spezialisierten Controller durch eine derartige Welt zu bewegen, sie zu erkunden und in begrenztem Umfang mit ihr zu interagieren. Dagegen werden Augmented-Reality-(AR)-Technologien genutzt, um digitale Objekte vor dem Hintergrund der realen Welt zu betrachten. Die größtmögliche Immersion bietet Virtual Reality (VR), üblicherweise durch eine VR-Brille, die den Betrachter in eine rein digitale Welt eintauchen lässt. Durch verschiedene Möglichkeiten der Steuerung werden direkte Interaktionen mit digitalen Objekten möglich, die mitunter fast das Gefühl physischer Berührung vermitteln können. Die Einbeziehung von Spielgeräuschen bei gleichzeitiger Ausblendung der realen Außenwelt verstärkt den Eindruck des Mittendrinseins – das immersive Erlebnis.

Intensive Workshops mit dem Museumsteam sowie Gästen als Vertretern unterschiedlicher Zielgruppen (Abb. 2) haben die Annahme bestätigt, dass eine hochqualitative VR das Potential zur höchsten Faszination besitzt. Diesem steht in der Regel der hohe Betreuungsaufwand gegenüber, der zusätzliches Personal für den Einsatz von VR-Brillen erfordert. Die Anzahl verfügbarer Brillen ist ein weiterer begrenzender Faktor, der die VR zu einem weitgehend individuellen Erlebnis macht, während die meisten Museumsbesucher in Familien oder kleinen Gruppen kommen.

AR-Anwendungen können auf eigenen Endgeräten der Besucher laufen und versprechen daher geringere Technik- und Personalkosten. Aber auch hier steckt der Teufel im Detail, insbesondere bei der Kompatibilität der Geräte und Anwendungen, die nicht immer, und schon gar nicht nachhaltig, sichergestellt werden kann. Ein Satz von Leihgeräten würde dieses Problem zwar lösen, dafür aber den Posten für Technik- und Personalkosten wieder erhöhen. Nicht zu vernachlässigen sind auch die Mindestanforderungen an WLAN-Signal und Bandbreite.

Aufgrund dieser Überlegungen, kombiniert mit Erfahrungen aus anderen Einrichtungen, wurde eine VR-Anwendung favorisiert, die individuell per VR-Brille, aber auch in Gruppe an einem Bildschirmsystem erlebbar sein soll. Damit bleibt die VR-Brille für besondere Anlässe, Veranstaltungen im Haus und außerhalb als Premiumlösung verfügbar; im täglichen Betrieb muss auf die Bildschirmvariante mit begrenzter Immersion zurückgegriffen werden.





Abb. 3 | Rekonstruktionszeichnungen ausgewählter Pflanzen aus der Fossillagerstätte Chemnitz (nicht maßstäblich).
a, ein Calamit; **b**, ein Baumfarn; **c**, ein Farnsamer; **d**, ein Cordait; **e**, eine Konifere.
 Original Oksana Potievsky, Chemnitz.

AR-Anwendungen werden dagegen als anreichernde Elemente zur Unterstützung der Dauerausstellung zukünftig in Betracht gezogen.

Aus Projektmitteln konnte die technische Infrastruktur für eine mobile VR-Station finanziert werden. Nach Projektende werden die Geräte vollumfänglich dem Projekt „Erforschendes Lernen am Fenster in die Erdgeschichte“ zur Verfügung stehen.

2 Auswahl der Taxa

Der Projektantrag sah die Umsetzung von zehn bis zwölf Taxa von Pflanzen und Tieren aus der Fossillagerstätte Chemnitz in statische 3D-Modelle vor. Nach eingehender Literatur- und Materialrecherche wurden zunächst die folgenden Taxa für die Modellentwicklung ausgewählt (Abb. 1, 3, 4):

Schachtelhalmbaum *Arthropitys*, Baumfarn *Psaronius*, Farnsamer *Medullosa*, ein Cordait, eine Konifere,

Gastropoden: *Dendropupa*, Arthropoden: *Arthropleura*, *Opsieobuthus*, Tetrapoden: *Chemnitzion*, *Ascendonanus*.

Die exemplarischen Vertreter der Flora repräsentieren die häufigsten, somit auch ökologisch bedeutendsten Gruppen in der Fossillagerstätte. Zu drei von ihnen (*Arthropitys*, *Psaronius* und *Medullosa*) liegen moderne Publikationen vor, die als Grundlage für Rekonstruktionen der Chemnitzer Formen herangezogen werden können (Rößler 2000, Rößler et al. 2012, Luthardt et al. 2022). Neuere Erkenntnisse zu den Cordaiten und Koniferen sind größtenteils noch nicht für Publikationen aufgearbeitet, aber am Museum verfügbar.

Die Faunenvertreter spiegeln den Großteil der bisher aus der Fossillagerstätte bekannten Fauna wider. Die Auswahl orientiert sich an der Diversität höherer Taxa und der Bekanntheit der Chemnitzer oder vergleichbarer Formen. So gibt es für *Dendropupa walchiarum* und *Arthropleura armata* Beschreibungen von anderen Fundstellen (Solem & Yochelson 1979, Davies et al. 2021), während *?Opsieobuthus tungeri*, *Ascendonanus nestleri* und *Chemnitzion richteri* über die letzten Jahre aus Chemnitz beschrieben worden sind (Dunlop et al. 2016, Spindler et al. 2018, Werneburg et al. 2022).

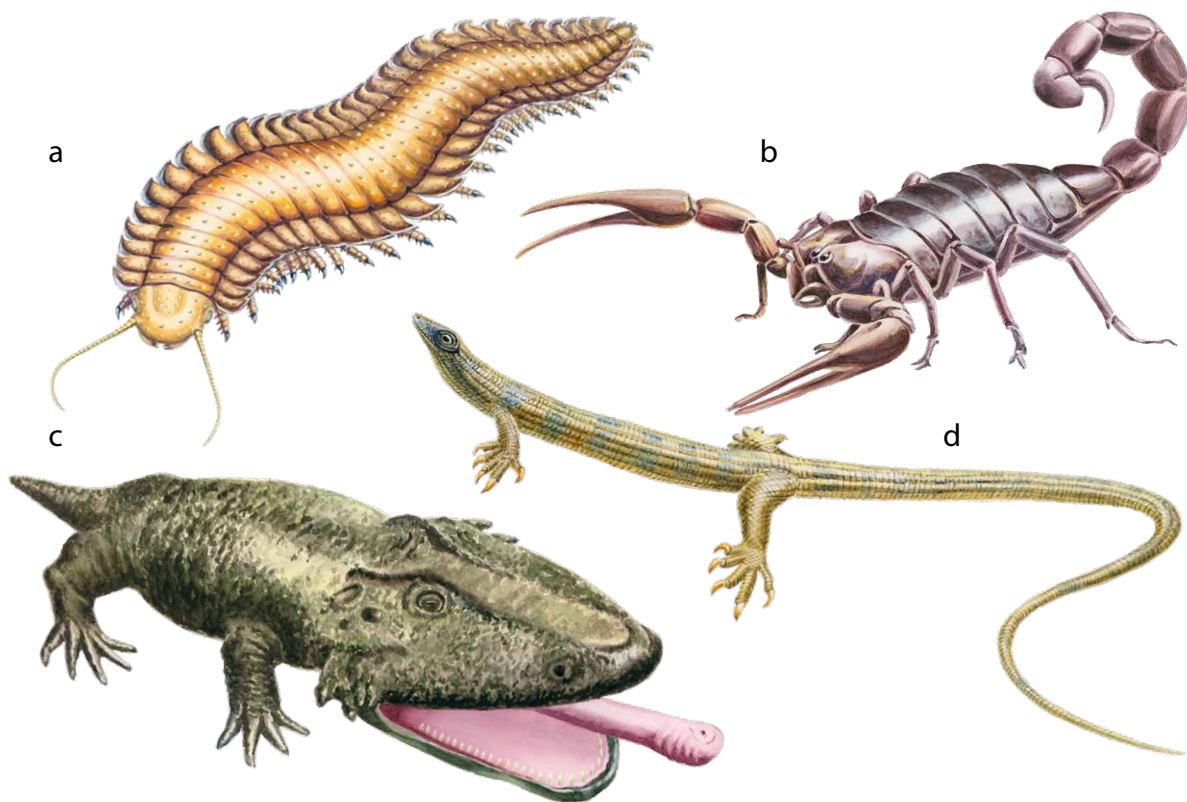


Abb. 4 | Rekonstruktionszeichnungen ausgewählter Tiere aus der Fossillagerstätte Chemnitz (nicht maßstäblich). a, Riesenhundertfüßer *Arthropleura armata*; b, Skorpion *?Opsieobuthus tungeri*; c, temnospondyles Amphib *Chemnitzion richteri*; d, Varanopide *Ascendonanus nestleri*. Original Oksana Potievsky, Chemnitz.

3 Entwicklung von 3D-Modellen

Der Entwicklungsprozess eines statischen 3D-Modells eines Tieres aus der Fossilagerstätte Chemnitz kann exemplarisch an *Chemnitzion richteri* nachvollzogen werden (Abb. 5). Da die Beschreibung dieses temnospondylen Amphibs im Frühjahr 2022 erscheinen sollte und für die damit verbundene Pressearbeit attraktive Abbildungen von Vorteil waren, wurde frühzeitig mit der Entwicklung einer digitalen Rekonstruktion dieses Tieres begonnen. Den Auftrag dafür erhielt die US-amerikanische Paläokünstlerin „Calliesauria“, die sich bisher auf lebensnahe digitale 3D-Modelle von Dinosauriern spezialisiert hat.

Ausgehend von den wissenschaftlichen Schädel- und Skelettreakonstruktionen aus der Originalbeschreibung (Werneburg et al. 2022) und von Rekonstruktionen anderer Zatracheiden hatte die Künstlerin zunächst einen digital sculpt angefertigt, d. h. einen digitalen Körper, der die wahrscheinliche Körperform von *Chemnitzion richteri* abbildet (Abb. 6b, c). Darauf wurden mehrere Oberflächenebenen appliziert, die die Beschaffenheit der Haut, Schuppen, Augen, Zähne etc. definieren (Abb. 6e, f). Maßgebliche Informationsquelle war dabei stets die Beschreibung von *Chemnitzion*, bei dem dachziegelartige Bauchschuppen erhalten sind, Hinweise auf eine beschuppte Rückenseite aber fehlen. Nach Witzmann (2007) sind Hautschuppen auf Dorsum und Flanken paläozoischer Temnospondyliier stets schwächer verknöchert als die Gastralia, so dass ihre Abwesenheit primär oder taphonomisch bedingt sein kann. Uns sind aber auch bei den übrigen Zatracheiden *Zatrachys*, *Acanthostomatops* und *Dasyceps* keine Reste einer Dorsalbeschuppung bekannt. Somit wurde in Analogie zu terrestrischen Salamandern eine derbe, warzige Haut für Rückenseite und Schwanz des Tieres angenommen. Die bei dem einzigen Exemplar von *Chemnitzion* unzureichend erhaltene Bezahnung wurde in Anlehnung an Boys (1989) Beschreibung von *Acanthostomatops* rekonstruiert (Abb. 6d).

Das statische Modell liegt in zwei Versionen vor: mit offenem und mit geschlossenem Maul (Abb. 6g, h).



Abb. 5 | Der Holotyp von *Chemnitzion richteri* Werneburg et al., 2022 (MfNC TA 0949a).

Erstellung eines digitalen 3D-Modells am Beispiel von *Chemnitzion richteri*. **a**, wissenschaftliche Skelettreakonstruktion (verändert nach Werneburg et al. 2022); **b**, erstes Volumenmodell auf Grundlage des entzerrten Skeletts und der wissenschaftlichen Schädelreakonstruktion; **c**, Gelenkung der Kiefer und der Vorderextremität; **d**, Studie zu Bezahnung und projektile Zunge; **e, f**, hypothetische Körperform mit Integumentstrukturen; **g**, digitales Oberflächenmodell mit offenem Maul; **h**, digitales Oberflächenmodell mit geschlossenem Maul; **i**, gerendertes 3D-Modell in einer neutralen Landschaft, © Calliesauria.

Abb. 6





Abb. 7 | Erster VR-Prototyp, ein virtueller Raum mit digitalen Objekten. Die Perspektive zeigt das Rekonstruktionsmodell von *Chemnitzion richteri*, einen 3D-Oberflächenscan des Originals von *Ascendonanus nestleri*, ein photogrammetrisches Modell des Orth-Denkmals in Chemnitz-Hilbersdorf sowie den Baumfarn *Sphaeropteris lepidifera*. Die digitalen Modelle und andere Objekte im Raum lassen sich mit Hilfe von Controllern bewegen und in der Größe verändern.



Abb. 8 | Präsentation des ersten VR-Prototyps am Stand des Museums für Naturkunde auf der MakerFaire Sachsen, Juli 2022. Foto: Kathy Eichholz.

Bei der Variante mit offenem Maul fällt eine lange, herausstehende Zunge auf. Die Notwendigkeit einer solchen projektilen Zunge ergibt sich aus der von Werneburg et al. (2022) postulierten intramaxillaren Drüse, die vermutlich klebrigen Speichel abgesondert hat. Wahrscheinlich hat das nicht besonders agile, terrestrisch adaptierte Amphib Beutetiere mit seiner hervorschießenden Zunge gejagt, die mit diesem klebrigen Sekret benetzt war. Obwohl die Zunge von *Chemnitzion* nicht fossil überliefert ist, wird diese These durch das Vorhandensein eines teilweise verknöcherten Hyobranchialapparats bei dessen nächstem Verwandten *Acanthostomatops* unterstützt (Witzmann & Schoch 2006).

Das digitale Modell ist mit sogenannten rigs versehen: miteinander verbundene Stützelemente im Innern des Modells, die die Positionsveränderung bzw. Bewegung von Körperteilen in anatomisch korrektem Zusammenhang ermöglichen. Dadurch kann das Tier unterschiedliche Körperstellungen annehmen (Abb. 6i) und perspektivisch als bewegtes Modell animiert werden.

Für den zur Bekanntmachung dieses einzigartigen Fundes anberaumten Pressetermin und die anschließende Präsentation in einer Vitrine und bei Veranstaltungen wurden bei der Leipziger Firma Rapidobject GmbH zwei 3D-Drucke des digitalen Modells in Auftrag gegeben: ein verkleinerter Prototyp als einfarbige Machbarkeitsstudie für das Verfahren der additiven Fertigung und eine lebensgroße (26 cm Länge), handkolorierte Version für die Ausstellung. Die in MJF-(MultiJetFusion)-Technologie hergestellten plastischen Modelle geben eine Vorstellung vom vermuteten Aussehen des Tieres und treffen als Anschauungs- und Fotoobjekte auf großes Interesse von Besuchern und Medien.

4 Erster VR-Prototyp

Als erste Gelegenheit, eine VR-Anwendung zur Fossilagerstätte Chemnitz Interessenten zu präsentieren und in Aktion zu erproben, wurde die MakerFaire am 9./10. Juli 2022 anvisiert, an der sich das Museum für Naturkunde erstmals mit einem eigenen Stand beteiligte. Da sich die finale permische 3D-Welt zu diesem Zeitpunkt noch in der Konzeptionsphase befand, entwickelte Volker Annacker im System NEOS VR einen ersten Prototypen (Abb. 7). In einem virtuellen Raum wurden folgende digitale Objekte gezeigt: das Rekonstruktionsmodell von *Chemnitzion richteri*, der 3D-Scan eines Originalfossils von *Ascendonanus nestleri*, ein photogrammetrisches Oberflächenmodell des Orth-Denkmal in Chemnitz-Hilbersdorf, ein photogrammetrisches Modell des Versteinerten Waldes im Atrium des Tietz sowie ein käuflich erworbenes Modell des als lebendes Fossil geltenden Baumfarns *Sphaeropteris lepifera*. Die Demonstration der Anwendung erfolgte mittels einer VR-Brille mit Hand-Controllern, was das maximal immersive Erleben des virtuellen Raumes sichergestellt und Interaktionen mit einigen der Objekte erlaubt hat (Abb. 8).

Neben der überraschend hohen Faszination, die die Testnutzer für die VR-Technologie selbst gezeigt haben, gab es auch positive Nutzererfahrungen im Hinblick auf das Erlebnis der fossilen Objekte. Nach ihren Wünschen befragt, äußerten vor allem jüngere Nutzer das Interesse an der Einbindung von Spielelementen, formulierte Rätsel- oder Suchaufgaben und insgesamt mehr Interaktion. Diese Ideen sollen bei der weiteren VR-Entwicklung berücksichtigt werden.

5 Ausblick

Bis Ende 2022 entsteht der funktionsfähige Prototyp einer permischen 3D-Welt mit mehreren Tieren und Pflanzen aus der Fossilagerstätte Chemnitz. Als erstes bewegtes Modell soll der Riesenhundertfüßer *Arthropleura armata* animiert werden. Dazu wurde ein digitales 3D-Modell des Tieres von der Plattform Sketchfab erworben, das in einem nächsten Schritt mit rigs versehen und über eine geeignete Bewegungsfunktion in ein animiertes Modell überführt werden soll. Derzeit werden Informationen zur Anatomie und Lokomotion rezenter Vergleichsorganismen und zu *Arthropleura*-Fährtenzügen zusammengetragen, um Hypothesen zur Beinstellung, der Bewegungsspur, dem möglichen Kurvenradius etc. zu formulieren. Auf einem definierten Pfad soll sich das animierte Tier durch die 3D-Welt bewegen.

Perspektivisch sollen neue Modelle, Animationen und Interaktionsszenarien zur 3D-Welt hinzukommen. Digital storytelling kann dabei helfen, neben wissenschaftlichen Fakten auch die Methoden des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns in der Paläontologie zu vermitteln. So wird die digitale Reise in die geologische Vergangenheit von Chemnitz zu einem zugänglichen, beeindruckenden und lehrreichen Erlebnis.

Dank

Für die Unterstützung des Pilotprojektes danken die Verfasser herzlich dem Direktor des Museums für Naturkunde Chemnitz, Prof. Dr. Ronny Röbner, der Sekretärin Katrin Wolf und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die sich als „Versuchskaninchen“ in die AR und VR trauten. Für Anregungen, Diskussionen und praktische Hilfestellungen unterschiedlicher Art bedanken wir uns bei Prof. Dr. Bernhard Jung, Prof. Dr. Thomas Wotte, Prof. Dr. Henning Zeidler und Dr. Thomas Geipel sowie Prof. Dr. Jörg W. Schneider, Freiberg; Lutz Westermann, Köln; Dr. Ralf Werneburg, Schleusingen; Prof. Dr. Rainer R. Schoch, Stuttgart; Dr. Frederik Spindler, Denkendorf; Dr. Ludwig Luthardt und Dr. Jason Dunlop, Berlin; Dr. Ullrich Scheunert, André Donath, Eckhart Wittstock und Sven Winkler, Chemnitz; Dr. Russell Garwood, Manchester. Den Paläokünstlern „Callisauria“ und „Anthodon“ und den 3D-Entwicklern sei für die hervorragende Zusammenarbeit gedankt. Besonderer Dank gilt dem Designer Evgeniy Potievsky, Chemnitz, der keine Mühen gescheut hat, um die Materialien zu diesem Projekt ansprechend, klar und wiedererkennbar aufzubereiten.

„Als Chemnitz am Äquator lag. Auftakt zu einer digitalen Reise in die Urzeit“ wurde entwickelt im Rahmen von „dive in. Programm für digitale Interaktionen“ der Kulturstiftung des Bundes, gefördert durch die Beauftragte der Bundesregierung für Kultur und Medien (BKM) im Programm NEUSTART KULTUR.

Literatur

- Boy, J. A. (1989): Über einige Vertreter der Eryopoidea (Amphibia: Temnospondyli) aus dem europäischen Rotliegend (höchstes Oberkarbon – Perm). 2. *Acanthostomatops*. – Paläontologische Zeitschrift, **63**: 133–151.
- Davies, N. S.; Garwood, R. J.; McMahon, W. J.; Schneider, J. W. & Shillito, A. P. (2021): The largest arthropod in Earth history: insights from newly discovered *Arthropleura* remains (Serpukhovian Stainmore Formation, Northumberland, England). – Journal of the Geological Society, jgs2021-115.
- Dunlop, J. A.; Legg, D. A.; Selden, P. A.; Fet, V.; Schneider, J. W. & Röbner, R. (2016): Permian scorpions from the Petrified Forest of Chemnitz, Germany. – BMC Evolutionary Biology, **16**: 72.
- Luthardt, L.; Merbitz, M.; Fridland, E. & Röbner, R. (2022): Upside-down in volcanic ash: crown reconstruction of the early Permian seed fern *Medullosa stellata* with attached foliated fronds. – PeerJ, 10:e13051.
- Röbner, R. (2000): The late Palaeozoic tree fern *Psaronius* — an ecosystem unto itself. – Review of Palaeobotany and Palynology, **108** (1): 55–74.
- Röbner, R. (2021): The most entirely known Permian terrestrial ecosystem on Earth – kept by explosive volcanism. – Palaeontographica Abteilung B, **303** (1–3): 1–75.
- Röbner, R., Feng, Z. & Noll, R. (2012): The largest calamite and its growth architecture — *Arthropitys bistriata* from the Early Permian Petrified Forest of Chemnitz. – Review of Palaeobotany and Palynology, **185**: 64–78.
- Solem, A. & Yochelson, E. L. (1979): North American Paleozoic land snails, with a summary of other Paleozoic non-marine snails. – United States Geological Survey Professional Paper, **1072**: 1–42.
- Spindler, F.; Werneburg, R.; Schneider, J. W.; Luthardt, L.; Annacker, V. & Röbner, R. (2018): First arboreal ‘pelycosaurs’ (Synapsida: Varanopidae) from the early Permian Chemnitz Fossil Lagerstätte, SE Germany, with a review of varanopid phylogeny. – PalZ, **92** (2): 315–364.
- Werneburg, R.; Witzmann, F.; Schneider, J. W. & Röbner, R. (2022): A new basal zatracheid temnospondyl from the early Permian Chemnitz Fossil Lagerstätte, central-east Germany. – PalZ, <https://doi.org/10.1007/s12542-022-00624-8>.
- Witzmann, F. (2007): The evolution of the scalation pattern in temnospondyl amphibians. – Zoological Journal of the Linnean Society, **150**: 815–834.
- Witzmann, F. & Schoch, R. R. (2006): Skeletal development of the temnospondyl *Acanthostomatops vorax* from the Lower Permian Döhlen Basin of Saxony. – Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, **96**: 365–385.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Kogan Ilja, Zierold Thorid, Annacker Volker, Jähne Maik

Artikel/Article: [Als Chemnitz am Äquator lag: die Fossilagerstätte „Versteinerter Wald“ auf dem Weg zum digitalen Erlebnis 203-212](#)