

# Fossilagerstätte Geiseltal

**Aus der Morgendämmerung:  
Pferdejagende Krokodile und Riesenvögel**

Neueste Forschungsergebnisse zur eozänen Welt Deutschlands vor ca. 45 Millionen Jahren

**Gaining Ground:  
Horse-hunting Crocodiles and Giant Birds**

New research results on the Eocene World of Germany ca. 45 Million Years Ago

Alexander K. Hastings & Meinolf Hellmund

Begleitband zur gleichnamigen Ausstellung in der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina vom 6. März bis 29. Mai 2015 in Halle (Saale), Deutschland.

Companion volume to the exhibition presented at the National Academy of Sciences Leopoldina from March 6th to May 29th, 2015 in Halle (Saale), Germany.

## Inhalt

Vorwort: Aus der Morgendämmerung	<b>4</b>
Grußworte	<b>8</b>
1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal	<b>14</b>
2. Vertebratenfauna im Überblick	<b>36</b>
3. Geiseltal: Land der Krokodile	<b>44</b>
4. Großlaufvogel <i>Gastornis</i> : ein Pflanzen- oder ein Fleischfresser?	<b>66</b>
5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal	<b>76</b>
6. Mini-Dioramen	<b>88</b>
7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen	<b>90</b>
8. Literaturlauswahl	<b>104</b>
9. Danksagung	<b>110</b>
10. Geiseltalsammlung: Das Team	<b>114</b>

## Contents

Preface: Gaining Ground	<b>5</b>
Welcome Addresses	<b>9</b>
1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site	<b>15</b>
2. Overview of the Vertebrate Fauna	<b>37</b>
3. Geiseltal: Land of the Crocodylians	<b>45</b>
4. Giant Running Bird <i>Gastornis</i> : Herbivore or Carnivore?	<b>67</b>
5. The Small Horses of Geiseltal	<b>77</b>
6. Mini-Dioramas	<b>89</b>
7. Building the reconstructed skeletons	<b>91</b>
8. Selected References	<b>105</b>
9. Acknowledgements	<b>111</b>
10. Geiseltal Collection: The Staff	<b>115</b>

## Vorwort: Aus der Morgendämmerung – Dr. Frank D. Steinheimer

Leiter des Zentralmagazins Naturwissenschaftlicher Sammlungen der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Selten liegt der Wissenschaft ein derartig geschlossener Bestand aus einer bestimmten Fossilagerstätte an einer einzigen Institution vor, wie dies die Geiseltalsammlung am Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen darstellt. Seit nunmehr einem Jahrhundert wird an den Eozän-Fossilien des Geiseltals geforscht, wurden diese akribisch beschrieben, Arten zusortiert und archiviert. Mit einer Förderung der Kulturstiftung des Bundes im Rahmen des Programms „Fellowship Internationales Museum“ konnte nun das erste Mal auch ein Gastwissenschaftler aus Übersee die Sammlung über eineinhalb Jahre hinweg intensiv bearbeiten. Die Forschung unseres nordamerikanischen Kollegen Dr. Alexander K. Hastings zu den Krokodilen des Geiseltals vor 45 Millionen Jahren fügte sich perfekt in die Arbeitsschwerpunkte „Urpferde“ und „Riesenlaufvogel“ des langjährigen Kustos der Geiseltalsammlung Dr. Meinolf Hellmund ein. Denn zusammen erarbeiteten die beiden Wissenschaftler nun einen Einblick in die ökologischen Zusammenhänge der Geiseltalfauna, mit Fokus auf die oben genannten Akteure: die Geiseltal Urpferde aus den Gattungen *Propalaeotherium* und *Eurohippus*, die Riesenlaufvögel aus der Gattung *Gastornis* und die fünf verschiedenen Krokodilarten aus den Gattungen *Diplocynodon*, *Allognathosuchus*, *Bergisuchus*, *Asiatosuchus* und *Boverisuchus*, die zeitgleich das eozäne Geiseltal besiedelten. Die diesbezüglichen neuen aufsehenerregenden Forschungsergebnisse sind es nun, die uns veranlassten, einen Folgeantrag bei der Kulturstiftung des Bundes für ein Ausstellungsprojekt einschließlich des nun vorliegenden Begleitbandes zu stellen.

Durch die großzügig gewährte Finanzierungszuwendung und mit Alexander K. Hastings als Idealbesetzung eines Ausstellungskurators können wir jetzt die Ergebnisse einem breiten Publikum näherbringen und somit nicht nur ein Verständnis für das außergewöhnliche Fossilerbe des Landes Sachsen-Anhalt erzeugen, sondern gerade auch evolutive Abläufe, Tier-Tier-Interaktionen und Einnischungsprozesse erklären. Die Faszination der Fossilien an sich bleibt mit deren Präsentation als Originalobjekte dabei der Mittelpunkt, unterstützt durch digital erzeugte Bilder und aufwendige Skelettrekonstruktionen. Der Erhaltungszustand der Fossilien in oft dreidimensionalem Skelettverband und Kleinststrukturen bis in den Mikrometerbereich ist dabei genauso beeindruckend wie die Einführungen zu den aufwendigen morphometrischen Vergleichen und Isotopen- und Mikrostrukturanalysen, die uns wunderbare Geschichten zu den ökologischen Gegebenheiten erzählen können. Ziel ist es, mit dem vorliegenden Buch diesen Kenntnisstand für eine breite Leserschaft festzuhalten, bei gleichzeitigem ausführlichem Blick auf eine Fülle an weiteren Fossilien aus dem Bestand der Geiseltalsammlung, die vor allem eines bleibt, ein Kleinod aus der „Zeit der Morgenröte“, dem Erdzeitalter des Eozäns. Wir als die bewahrende Institution sind hier vor große Aufgaben gestellt, die wir über die nächsten Jahre hinweg angehen wollen. Dazu gehört neben einer kustodial fachgerechten Unterbringung der als „national wertvolles Kulturgut“ registrierten Sammlung auch eine vermehrte

## Preface: Gaining Ground – Dr. Frank D. Steinheimer

Head of the Center of Natural Science Collections of Martin Luther University Halle-Wittenberg

Research has been conducted with the Eocene fossils of Geiseltal for more than a century, and scientists have meticulously described and archived these ancient species. Rarely in science has there been an all-encompassing inventory from one fossil site housed at a single institution, like the Geiseltal Collection at the Center for Natural Science Collections. The “International Museum Fellowship” program of the German Federal Cultural Foundation has now brought for the first time a visiting scientist from far away to work with the collection over the course of one and a half years of intensive work. The research of our North American colleague, Dr. Alexander K. Hastings, on the crocodiles of Geiseltal (45 million years old) fits perfectly into the work areas of the longtime curator of the Geiseltal Collection, Dr. Meinolf Hellmund, who specializes in ancestral horses and the giant land bird, *Gastornis*. Together they have developed new insight into the ecological relationships of the Geiseltal fauna, with a focus on the ancestral horses (from the genera *Propalaeotherium* and *Eurohippus*), the giant flightless bird (*Gastornis*) and the five different crocodile species (from the genera *Diplocynodon*, *Allognathosuchus*, *Bergisuchus*, *Asiatosuchus* and *Boverisuchus*), which all coexisted in the Eocene at Geiseltal. As a result of this new sensational research, we requested follow-up funding from the Federal Cultural Foundation to present a new exhibition project that features these results, which are also included in this catalogue.

Through generous grant funding, and with Alexander K. Hastings as the ideal exhibition curator, we can now bring these results closer to a wide audience and improve understanding of this extraordinary fossil heritage of Saxony-Anhalt and explain evolutionary processes, animal-animal interactions, and ecological niche partitioning. The fascinating fossils remain the center of this original presentation, but are supported by digitally-generated images and complex skeletal reconstructions. The fossils are often preserved as full, three-dimensional associated skeletons, complete with micrometer-level structures that allow for the study of complex morphometric and isotopic composition analyses. The preservation and study of these details tell us wonderful new stories about the ecological conditions of this time. The aim of this book is to present this new knowledge to a broad audience, while simultaneously providing a detailed look at the wealth of fossils from the Geiseltal Collection, which is indeed a gem of the Eocene, known as the “Time of the Dawn”. We as the housing institute have an enormous task in front of us, which we will face over the next few years, which is to increase the contributions of this collection to international research. This is in addition to the mandate of properly curating this collection, which has been listed as one of national importance to the heritage of Germany. With the special exhibition *Gaining Ground: Horse-hunting Crocodiles and Giant Birds*, we have made a start from March through May of 2015, presenting our research results bilingually in English and German at the invitation of the National Academy of Science Leopoldina at its

## Vorwort: Aus der Morgendämmerung – Dr. Frank D. Steinheimer

Leiter des Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Einbringung dieser Sammlung in internationale Forschungsprojekte. Mit der Sonderausstellung *Aus der Morgendämmerung: Pferdejagende Krokodile und Riesenvögel* haben wir von März bis Mai 2015 einen Anfang gemacht und unsere Forschungsergebnisse bilingual in Englisch sowie Deutsch und auf Einladung der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina an ihrem Hauptsitz zentral in der Stadt Halle (Saale) präsentiert. Gerade der Ausstellungsort an sich wirkt schon als enormer Multiplikator hinaus in die internationale Wissenschaftlergemeinschaft. Das vorliegende Buch möge uns in unserem Bemühen, die Ökologie des eozänen Geiseltals mit seiner Flora und Fauna und speziellen geologischen Gegebenheiten tiefergehend zu verstehen, ein Werkzeug sein, um Interessierte mit dem Forschungsstand vertraut zu machen, aber auch neue Forschungsfragen zu generieren. Die Zeit des Eozäns war erdgeschichtlich gesehen ein Klimaoptimum und weitaus wärmer als die Temperaturdurchschnitte der düstersten Prognosen zur menschengemachten Erderwärmung. Die Geiseltalfossilien haben das Potential, einige der gemachten Prognosen zu versachlichen. Nutzen wir diese Chance.

## Preface: Gaining Ground – Dr. Frank D. Steinheimer

Head of the Center of Natural Science Collections of Martin Luther University Halle-Wittenberg

headquarters in the city of Halle (Saale). Already the exhibition work has added greatly to the international scientific community. This book represents our latest efforts with the flora, fauna, and unique geological conditions of the Eocene at Geiseltal in order to improve our understanding of its ecology. It is our hope that this contribution sparks interest in readers and helps generate new research questions. The time of the Eocene, from a geological perspective, had a climatic optimum that was much warmer than even the starkest predictions of future human-driven global warming. The Geiseltal fossils have the potential to provide new information for making predictions of our future climate. Let us use this opportunity.

## Grußworte – Hortensia Völckers und Alexander Farenholtz

Vorstand/Künstlerische Direktorin und Vorstand/Verwaltungsdirektor, Kulturstiftung des Bundes

Wenn Forscherinnen und Forscher urzeitliche Versteinerungen aus der Erde bergen, gelangen diese im Laufe der Zeit oftmals in die Schausammlungen und Depots von Museen, in offene Vitrinen oder in verschlossene Kartons – an museale Orte jedenfalls, die das Scheinwerferlicht des öffentlichen Interesses eher selten streift. Auch die 45 Millionen Jahre alte, in ihrer Geschlossenheit weltweit einmalige Sammlung an Geiseltalfossilien hat kaum jene Verbreitung erfahren, die sie aufgrund ihres evolutionswissenschaftlichen Ranges verdient. Dieser Umstand aber sollte sich mit dem Tag zu ändern beginnen, an dem Dr. Frank Steinheimer und das Forscherteam des Zentralmagazins Naturwissenschaftlicher Sammlungen auf die Fossilien aufmerksam wurde, in ihnen herausragende paläontologische Preziosen erkannte und also ein Projekt ins Leben rief, das die urzeitlichen Tiersedimente in einen neuen lebendigen Zusammenhang bringt – sei es in Form digitaler Animationen, sei es durch den Einsatz von 3D-Druckern, mit deren Hilfe die fragmentarischen Fossilien buchstäblich auferstehen zu räumlichen Modellen vorzeitlicher Tiergemeinschaften.

Eine solche gegenwärtige Reanimation vom zerstückelten Knochenhaufen zum gesamten Skelett bedarf einer sehr speziellen Expertise. Sie erstreckt sich von naturkundlichem Fachwissen über technisches Knowhow und interdisziplinäre Kompetenz bis hin zur Überzeugung, dass Forschungsergebnisse aus dem wissenschaftlichen Elfenbeinturm heraus zu einem breiten, heterogenen Publikum getragen werden sollten. Die Kulturstiftung des Bundes ist sehr froh, dass es dem Zentralmagazin gelungen ist, mit dem amerikanischen Paläontologen Dr. Alexander K. Hastings einen derart begabten *allrounder* in das Team einzubinden. Innerhalb des Förderprogramms *Fellowship Internationales Museum* der Kulturstiftung des Bundes war Alexander K. Hastings in einer ersten Förderphase zunächst für 18 Monate in Halle an den Forschungen zur Neuausrichtung des Geiseltalmuseums beteiligt und konzipierte in einer zweiten Förderphase anschließend diese Ausstellung, die am Beispiel der vorzeitlichen Ökologie des Geiseltals einen Ausblick darauf gewährt, wie ein zukünftiges überregionales Kompetenzzentrum für Biodiversität aussehen kann.

Wir danken der Nationalen Akademie der Wissenschaften für die Präsentation dieser Ausstellung in den Räumen der Leopoldina, dem Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen unter Leitung von Dr. Frank Steinheimer für die ebenso fachkundige wie enthusiastische Begleitung dieses Fellowship-Projekts, vor allem aber danken wir Dr. Alexander K. Hastings für seine wegweisenden Präsentationen eines prähistorischen Europas, das noch lange nicht von Menschen bevölkert war, dafür von riesenhaften Urvögeln und von Krokodilen, die Pferde jagten.

## Welcome Addresses – Hortensia Völckers und Alexander Farenholtz

Executive Board/Artistic Director and Executive Board/Director of Administration, German Federal Cultural Foundation

When scientists and scholars gather prehistoric fossils from the earth, over time these objects often reside in glass cases of permanent collections, or museum repositories, locked away in cabinets, and rarely touch the spotlight of public interest. The collection of 45 million-year-old fossils from Geiseltal has not received the worldwide attention it deserves as a unique collection of great importance to evolutionary science. This began to change when Dr. Frank Steinheimer and the research team of the Center for Natural Science Collections (ZNS) saw in these fossils the potential for outstanding projects centered on Geiseltal's primeval animal life. These projects have brought a living connection to the ancient world through the use of digitization and 3D modeling, and taken these often fragmentary fossils and raised them up as physical examples of their prehistoric animal communities.

It takes knowledge of the natural world, technical expertise, and interdisciplinary competence to bring research findings from the scientific ivory tower to a wide and diverse audience. Such a modern resuscitation of fragmented piles of bones assembled into an entire skeleton requires a very specific expertise. The German Federal Cultural Foundation is very pleased that the ZNS has managed to connect with the American paleontologist Dr. Alexander K. Hastings, who is a talented and well-rounded addition to the team. With funding from the *International Museum Fellowship* of the Federal Cultural Foundation, Alexander K. Hastings was initially brought on for 18 months in Halle (Saale) for research leading to new presentation concepts of the Geiseltal Collection. He now works in a second phase with this exhibition to present examples of the prehistoric ecology of Geiseltal and reflects the scope of how a nationwide center of biodiversity could work.

We thank the National Academy of Science for the presentation of this exhibition at the Leopoldina, ZNS for the equally skilled and enthusiastic partner of this fellowship project under the direction of Dr. Frank Steinheimer, and above all we thank Dr. Alexander K. Hastings for his pioneering presentation of a prehistoric Europe, which was not populated by humans, but of gigantic prehistoric birds and horse-chasing crocodiles.

## Grußworte – Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg

Vizepräsident der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina

Eine der wissenschaftlich bedeutendsten Sammlungen der hallischen Universität ist die der Fossilien aus dem Geiseltal. Durch den obertägigen Braunkohlenabbau in dem Revier um Mücheln (Geiseltal) bei Halle wurden überraschend gut erhaltene Fossilien freigelegt, die seit Mitte der 1920er Jahre von hallischen Wissenschaftlern geborgen werden. Durch den Geologen und Paläontologen Johannes Weigelt wurde 1934 das Geiseltalmuseum begründet und seitdem systematisch von Wissenschaftlern der Universität Halle erweitert. Bis zum Ende des Bergbaus und der Flutung der Tagebaulöcher in den 2000er Jahren wurde stetig gearbeitet, so dass mittlerweile eine einzigartige Sammlung entstanden ist, durchaus gleichwertig dem Ertrag der Grube Messel und anderen ähnlich bedeutenden Lagerstätten.

Seit ihrer Begründung befinden sich das Geiseltalmuseum und die Geiseltalsammlung in der Neuen Residenz in der Domstr. 5, einem Gebäudeensemble aus dem 16. Jahrhundert. Das war sicher kein idealer Unterbringungsort – der Hauptausstellungsraum war die ehemals von den Erzbischöfen von Magdeburg genutzte Kapelle –, jedoch war der zur Verfügung stehende Flügel dieses historisch bedeutsamen Bauwerkes im Laufe der Zeit so eingerichtet worden, dass das Museum seine Schätze nicht nur für die Wissenschaft zur Verfügung halten, sondern auch für die Öffentlichkeit zugänglich machen konnte. So bestand hier für Jahrzehnte ein von der Universität betreuter Ort der Forschung und der Bildung – und das mit einem unikalen Bestand, der weltweit seinesgleichen sucht. Vorteilhaft war es natürlich, dass auch Teile der Geowissenschaften, insbesondere die Geologen, dort untergebracht waren, so dass jederzeit eine enge Verbindung möglich war.

Doch da Geologen neben der Feldarbeit auch zunehmend experimentieren wollten, war dieses alte Gemäuer kein idealer Standort für eine moderne, experimentell arbeitende Naturwissenschaft. So war es folgerichtig, dass in den 1990er Jahren, als endlich die Aussicht bestand, in modern eingerichtete Laborgebäude umzuziehen, auch diese Möglichkeit genutzt wurde, zumal damit die Chance verbunden war, dass nunmehr alle Institute der Geowissenschaften in einem Gebäudekomplex am Von-Seckendorff-Platz vereinigt werden konnten.

Für das Geiseltalmuseum und die Geiseltalsammlung jedoch bedeutete das, dass sie nunmehr die einzige universitäre Einrichtung in der Domstraße 5 war, die Universität aber – belastet durch viele alte Gebäude in der Stadt – liebend gern den gesamten Standort aufgeben hätte. Es war deshalb naheliegend, mit der Gründung des „Zentralmagazins Naturwissenschaftlicher Sammlungen“ (ZNS) der Universität auch die Geiseltalsammlung diesem Magazin zuzuordnen mit dem Ziel, langfristig den alten Standort aufzugeben

## Welcome Addresses – Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg

Vice President of the National Academy of Science Leopoldina

One of the most important scientific collections of Martin-Luther-University Halle-Wittenberg is the Geiseltal Collection consisting of thousands of famous Eocene fossils. During open pit mining for brown coal in the region around the town of Muecheln (Geiseltal), south of Halle (Saale), a large amount of excellently preserved vertebrate fossils came to light that were excavated by generations of geologists and paleontologists. J. Weigelt, a paleontologist, founded the Geiseltal Museum and the Geiseltal Collection in 1934. The Geiseltal Collection has been maintained ever since, even after mining stopped and the fossil-bearing pits were flooded with water. As the result of decades of excavation, a unique fossil collection was formed that has an equal scientific value and significance to the Messel fossil collections and similar Fossilagerstätten (fossil sites).

From its beginning, the Geiseltal Museum and the Geiseltal Collection have been housed at the “Neue Residenz” (Domstraße 5) a historical building dating back to the 16th century. It was not the most suitable location in the beginning, because the exhibition hall was formerly in use, e.g. as the chapel of Magdeburg’s bishops. Later on it was modified in such a way that the fossil treasures could be displayed both for scientific purposes and to the public. The location became a home for excellent research and education, with fossils that are known worldwide. At the time, it was advantageous to have other disciplines of geosciences in the same building for scientific exchange and discussions.

As geologists needed more and more lab space, in addition to their field work, the “Neue Residenz” was no longer large enough by the late 1990s, and so the geologists moved to another location, at Von-Seckendorff-Platz. There, the geology department expanded and was able to assemble a helpful teaching rock garden.

As a consequence the Geiseltal Museum and Geiseltal Collection alone remained at Domstraße 5, and the university intended to give up ownership of the “Neue Residenz” building. When the Center for Natural Science Collections (ZNS) was installed at the University, the Geiseltal Collection joined it and as a result, the collection will move to Domplatz 4, where three collections of the ZNS will be housed in the future. It is a pity that because of this change the Geiseltal Museum is no longer accessible to the public.

Nevertheless, both conservation and preparatory work proceeds very well and the same is true for the scientific work and achieved results. The exhibition was realized thanks to the curator of the Geiseltal Collection, Dr. Meinolf Hellmund, the Museum Fellow of the Kulturstiftung des Bundes [Federal Cultural Foundation], Dr. Alexander K. Hastings (a paleontologist specialized in reptiles, especially in crocodylians),

## Grußworte – Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg

Vizepräsident der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina

und sie im Gebäude Domplatz 4 (ehemals Zoologie) als eine der drei Sammlungen des ZNS unterzubringen. Das wurde behutsam in den vergangenen Jahren vorbereitet, allerdings mit dem Nachteil, dass seitdem die Sammlung nicht mehr öffentlich zugänglich ist. Damit verzichteten Universität und Stadt gegenwärtig auf einen ihrer wissenschaftlich bedeutsamen Anziehungspunkte.

Doch in der Sammlung ging trotz der Arbeiten zur Verwahrung der Fundstücke die wissenschaftliche Arbeit begrüßenswerterweise weiter. Unter der Leitung des Kustos der Sammlung, Dr. Meinolf Hellmund, und unter Beteiligung des Stipendiaten der Kulturstiftung des Bundes, Dr. Alexander K. Hastings, Paläontologe und Spezialist für Reptilien, sowie des Präparators Michael Stache wurden mit modernen Forschungsmethoden wichtige Ergebnisse zur Lebensweise der Fauna des Geiseltales im Zeitalter des Eozän, dem Zeitalter der Morgendämmerung für die Säugetiere, benannt nach der Göttin der Morgenröte, Eos, erzielt. Es ist nun an der Zeit, die ersten Ergebnisse der Öffentlichkeit zu präsentieren.

Das ZNS bereitete deshalb eine Ausstellung vor, in der nicht die Exponate in der althergebrachten Form, die an sich schon bedeutsam genug sind, im Mittelpunkt stehen, sondern die neuen, gerade erst erarbeiteten Forschungsergebnisse, die auf verschiedene Aspekte des Geiseltalkosmos einen neuen Blick ermöglichen. Als es wegen der Schließung der Neuen Residenz darum ging, einen geeigneten Ausstellungsort zu finden, war die Leopoldina sofort bereit, ihren Ausstellungsraum im neuen Hauptgebäude auf dem Jägerberg zur Verfügung zu stellen. Sind wir doch sehr daran interessiert, zum einen attraktive wissenschaftliche Ausstellungen dort zu präsentieren – und nicht nur solche aus eigenem Bestand – und zum anderen kommt hier in dem speziellen Fall hinzu, dass der Begründer des Museums, Johannes Weigelt, wenn auch wegen seiner politischen Haltung nicht unumstritten, nicht nur Rektor der Universität, sondern auch Vizepräsident der Leopoldina war. In der Folgezeit waren viele der Geologieprofessoren der Universität, die für die Sammlung zuständig waren, auch Mitglieder der Akademie, so dass immer wieder enge Kontakte bestanden haben.

Ich wünsche der Ausstellung viel Erfolg in der wissenschaftlichen Gemeinschaft, besonders aber eine große Resonanz in der breiten Öffentlichkeit, wird doch damit ein Kleinod der hallischen Wissenschaft in neuem Gewand präsentiert, das Aufmerksamkeit verdient.

## Welcome Addresses – Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg

Vice President of the National Academy of Science Leopoldina

and the preparator, Michael Stache. The staff used scientific methods to investigate the way of life for certain vertebrates within the Geiseltal ecosystem during the Eocene (the dawn of the mammals), named after the goddess “Eos”. Now they wish to present their recent research results to the public.

The exhibition prepared by ZNS centers on new aspects of the Geiseltal Collection that were not presented in the former museum exhibit. As “Neue Residenz” was closed, the exhibition was instead planned for a show room in the main building of the Leopoldina (Jägerberg 1), free of charge. We are interested in the presentation here of an attractive scientific exhibition, especially because the founder of the collection, J. Weigelt, who today is not without controversy due to his political choices in the past, was also the rector of the university and the Vice President of the Leopoldina. In the many years since, some of the geology professors of the university responsible for the Geiseltal Collection were also members of the Leopoldina, keeping a close contact between the two organizations.

I wish this exhibition every success in the scientific community, as well as a positive response from the general public. This is a highlight of the science of Halle (Saale) with a new look that deserves attention.

## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

### Deutschland in erdgeschichtlicher Vergangenheit

Etwa 45 Millionen Jahre zurück, im geologischen Zeitabschnitt, der als Eozän bekannt ist, war das Land, das heutzutage als Deutschland bezeichnet wird, von subtropischem Klima gekennzeichnet. Warme Regenfälle erfüllten das heutige Sachsen-Anhalt. Die Landschaft im Geiseltal war von dichtem Dschungel bedeckt und durch wassergefüllte Einsturztrichter, Bachläufe und Moore sowie durch offene Landschaftsteile strukturiert. Die warm-feuchten Habitate machten eine üppige Vegetation und ein reiches Leben möglich. Die Herrschaft der Dinosaurier war zu dieser Zeit bereits vor ca. 20 Millionen Jahren zu Ende gegangen, so dass Säugetiere, andere Reptilien und Vögel ihre ökologischen Nischen ausbilden konnten. Abgestorbenes Pflanzenmaterial akkumulierte sich in den Sumpfgebieten und in der Umgebung der Einsturztrichter. Zusammen mit dieser Biomasse wurden dort auch Tierleichen eingebettet. Dieser vielfältige Lebensraum existierte im Geiseltal für mehr als fünf Millionen Jahre. Zunächst kam es zur Bildung von Torf und in einem weiteren langen chemischen Umwandlungsprozess, der als Inkohlung bzw. Diagenese bezeichnet wird, entstand Braunkohle.

Paläogeographische Karte von Westeuropa während des Eozäns, mit den Fossilagerstätten Geiseltal, Messel und Eckfeld. Die paläogeographische Karte wurde von Storch (1986) übernommen und modifiziert; siehe Literaturliste.

Reconstructed map of Western Europe during the Eocene. Map indicates the Geiseltal fossil site as well as two other prominent German Eocene fossil sites, Messel and Eckfeld. The paleogeographic map was modified from Storch (1986); see References.

## 1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site

### Ancient Germany

45 million years ago, during the geologic age known as the Eocene, the land that is now known as Germany was in a subtropical environment. Warm waters washed over much of the land and the area of modern day Saxony-Anhalt now known as the Geisel Valley (Geiseltal in German) was covered in dense jungles and open plains with sinkhole lakes, creeks, and peat bogs. The warm and wet habitats supported abundant vegetation and animal life. The reign of the dinosaurs had ended roughly 20 million years before, allowing for mammals, other reptiles, and birds to adapt into new ecological roles. Heavy vegetation built up in swamps and the surrounding areas of sinkholes. Along with the water and plant material (biomass), bodies of the animals that lived in the area gathered and were gradually buried underneath more and more vegetation. This lush environment persisted for more than five million years. Compression from the overlying organic material and resulting acidic chemical processes turned the vegetation into peat millions of years later. Further chemical degradation (called diagenesis) led to further change of the peat into a loose rock known as lignite, or brown coal.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

### Seltene Erhaltungsbedingungen für Fossilien

Normalerweise zerstören aggressive Stoffe, die in Milieus wie Moorlandschaften vorkommen, vorhandene Tierleichen einschließlich deren Knochen. Im Geiseltal jedoch gab es darüber hinaus ein bedeutendes Phänomen, das letztlich zu der seltenen und phänomenalen Fossilüberlieferung führte. Oberhalb, westlich und südwestlich der Moorlandschaft existierte ein Kalkplateau, aus dem kleine Gewässer entsprangen. Diese Gewässer führten kalkhaltiges Wasser mit sich und milderten die chemische Zersetzungskraft der Säuren, die aus dem Pflanzenmaterial stammte, ab. Das Resultat war, dass die Tierleichen nicht völlig zersetzt wurden, sondern sogar dreidimensional in der umgebenden Kohle überliefert wurden. Als Sensation gilt die Erhaltung von Weichteilen, wie beispielsweise der Mageninhalt eines Pferdes. Bei fossilen Insekten des Geiseltals sind heute noch die irisierenden Strukturfarben erkennbar. Fossile Pflanzen sind derart gut erhalten, dass ihre nähere Bestimmung nach so vielen Millionen Jahren noch anhand zum Beispiel der Spaltöffnungen möglich ist. Einige Pflanzenfossilien weisen darüber hinaus den grünen Blattfarbstoff (Chlorophyll) auf.

Mehrere Schädel und Unterkiefer des Tapir ähnlichen *Lophiodon* aus dem Geiseltal in dreidimensionaler Überlieferung. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Skulls and lower jaws of three of the tapir-like *Lophiodon* preserved together in three dimensions from Geiseltal. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 1. Introduction to the Geiseltal fossil site

### Rare Conditions for Fossil Preservation

Normally the aggressive acids associated with peat bog formation destroy the bodies of ancient animals, even the bones. However, at Geiseltal there was an important feature nearby that ultimately led to rare and phenomenal fossil preservation. Uphill, to the west and southwest of the peat-forming area, was a limestone plateau that was being slowly weathered by small waterways or riverlets. These riverlets brought water that contained calcium-carbonate that counteracted the acids built up from the decaying plant matter. As a result, instead of being fully decomposed, animal carcasses at Geiseltal could often be fossilized in three dimensions within the forming coal. In many cases the fossilization process was so complete that skeletons were preserved in complete articulation. Even soft tissue was sometimes preserved, including the stomach contents of a fossil horse. Delicate insects were fossilized at Geiseltal, including iridescent jewel beetles. The fossil plants themselves were often fossilized as well (sometimes even with visible green chlorophyll), making their identification possible millions of years later. Thousands of fossils remained locked deep underground within these formations of brown coal for millions of years.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

### Ausgrabungsgeschichte

Im Europa des ausgehenden 17. Jahrhunderts bekam Kohle in jeglicher Form eine zunehmende Bedeutung für Heizzwecke und Brennstoffe. Die Braunkohlenförderung im Geiseltal begann im Jahre 1698. Die Kohleförderung wurde dort zunächst in unterirdischen Stollen betrieben, aber bereits in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts wurde eine Zahl von Tagebauen eröffnet, um den wachsenden Bedarf an Braunkohle der Industrie Mitteldeutschlands zu decken. Erste Fossilien wurden schon 1908 entdeckt, ihr wissenschaftlicher Wert aber noch unterschätzt. Die entsprechende Wertschätzung begann dann ab Mitte der 1920er Jahre durch sehr detaillierte und quantitative Ausgrabungen. Die prägenden gestalterischen Arbeiten im Geiseltal gehen in dieser Zeit auf Prof. Dr. Johannes Walther und Prof. Dr. Johannes Weigelt zurück. Weigelt verfasste eine Vielzahl der frühen wissenschaftlichen Artikel. Er war damals Mitglied der „Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinisch Deutschen Akademie der Naturforscher“, heutzutage Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina genannt. Weigelt und seine Kollegen begannen damit, den Prozess der vorsichtigen Bergung der Fossilien aus den Kohleflözen im Geiseltal zu dokumentieren. Die Fossilausgrabungen wurden in der 1930er Jahren weiter ausgedehnt und Weigelt und andere Autoren veröffentlichten zahlreiche Beiträge, die ganz unterschiedliche Aspekte der fossilen Fauna betrafen. Viele der Weigelt'schen Forschungen hatten das Thema Biostratonomie zum Gegenstand. 1940 wurde diese Forschungsrichtung von Ivan Efremov (Saint Petersburg, Russland) durch den Begriff Taphonomie erweitert, der auch die Prozesse (Diagnese) nach der Einbettung von Tierkadavern ins Sediment mit in die Untersuchungen einschloss. Die Untersuchungen an den fossilen Objekten im Geiseltal waren gleichsam eine Erweiterung seiner bisherigen Forschungen über heutzutage stattfindende Zerfallsprozesse von Tierleichen, die er am Smither's Lake in Texas, USA, unternommen hatte. Die Fossilgrabungen im Geiseltal kamen schließlich im Jahre 1938 bis 1949 auf Grund des zweiten Weltkrieges zu einem vorübergehenden Ende. Prof. Dr. Hans Gallwitz und Prof. Dr. Horst Werner Matthes belebten diese dann zu Beginn der 1950er Jahre wieder mit einem besonderen Höhepunkt an Fossilbergungen um die 1960er Jahre. Viele weitere tausend Objekte dürften jedoch während des jahrzehntelangen Bergbaubetriebes übersehen und damit unabsichtlich zerstört worden sein. Nicht wenige sind wohl auch bei Verwendung der Braunkohle, z. B. als Hausbrand, unbemerkt mit verfeuert worden.

Die Geiseltalfossilien zeichnen sich zwar durch eine ungewöhnlich gute Erhaltung aus, allerdings gestaltete sich deren Ausgrabung bemerkenswert schwierig. Die Fragilität der Knochen bedeutete, dass man sie nicht einfach vom Substrat aufheben bzw. abnehmen konnte. Wenn man sie nicht entsprechend vorbehandelte, dann zerfielen sie schon beim Trocknen, zusammen mit der sie umgebenden Braunkohle.

## 1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site

### History of Excavation

With expanding industrial needs, coal in all its forms became increasingly necessary in Europe for heat and fuel. Brown coal excavation at Geiseltal lasted for 300 years, beginning in 1698. During most of this time, excavations were made in shafts underground, but in the early 1900s excavations began a series of open pits to satisfy the increasing demand of brown coal due to industrialization in central Germany. Fossils were first formally recognized in 1908, but were not fully appreciated for their scientific value until the middle of the 1920s when their rigorous quantitative study began. Much of the formative work done at Geiseltal was begun by Prof. Dr. Johannes Walther and Prof. Dr. Johannes Weigelt. Weigelt wrote many of the early scientific works of Geiseltal and was a member of the “Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinisch Deutschen Akademie der Naturforscher”, now known as the German National Academy of Science Leopoldina. Weigelt and colleagues began the process of careful documentation of fossils removed from the brown coal layers at the Geiseltal mine. Fossil collecting efforts were expanded in the 1930s and Weigelt and others published several papers covering the different aspects of the fossil fauna. Much of Weigelt's research focused on biostratigraphy, the study of what happens to a deceased organism from the time of death to final burial. Later, in 1940, Ivan Efremov (Saint Petersburg, Russia) introduced the term ‘taphonomy’ as the study that includes biostratigraphy and the stage following burial within sediment (diagenesis). This fossil research was an extension of his studies of modern decay processes, which largely formed during his time studying vertebrate carcass decay at Smither's Lake in Texas, USA. Fossil excavation ceased at Geiseltal from 1938 until 1949 due to World War II. Prof. Dr. Hans Gallwitz and Prof. Dr. Horst Werner Matthes restarted excavations in the 1950s and discoveries reached their greatest peak in the 1960s. Despite strong collecting efforts, thousands of fossils might have been overlooked or unintentionally destroyed during the many decades of mining at Geiseltal, and more than a few might have been burned along with the brown coal for heat and fuel without ever having been noticed.

Even though the fossils of Geiseltal are incredibly preserved, their excavation was remarkably difficult. The fragile nature of the bones meant they could not be simply lifted out of the ground. Fossil bone from Geiseltal tends to disintegrate as it dries unless treated. Prof. Dr. Ehrhard Voigt (1905–2004) developed two new excavation methods to remove the fossils safely, the paraffin-method and the lackfilm-method. Both methods involved adding a bonding agent to the fossil and its surrounding brown coal matrix. The paraffin-method was applied for larger fossils, usually articulated skeletons. For these fossils, paleontologists would build a short wall of clay around the fossil, and then pour melted paraffin wax over the exposed

## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

Prof. Dr. Ehrhard Voigt (1905–2004) entwickelt aus diesem Grunde zwei neue Ausgrabungsmethoden, die Paraffin-Methode und die Lackfilm-Methode, um so die Fossilien sicher bergen zu können. Bei beiden Methoden wird eine Art Klebstoff sowohl auf das Fossil als auch auf die umgebende Braunkohlenmatrix aufgebracht. Die Paraffin-Methode wurde insbesondere bei größeren, zusammenhängenden Skeletten angewendet. In diesen Fällen wurde das Fossil mit einem Wall aus Ton umgeben, um anschließend geschmolzenes Paraffin auf die umschlossene Fläche zu gießen. Nach Abkühlen und Erstarren des Paraffins wurde das gesamte Objekt mit einer schützenden Gipskappe versehen und endgültig aus dem Substrat herausgelöst. Zur Präparation wurde die gesamte Gipskalotte herumgedreht, von dieser Seite aus geöffnet und das Objekt dann erst freipräpariert. Fossilien, die auf diese Weise geborgen und präpariert worden waren, offerieren nun die entgegengesetzte Seite zu derjenigen, die bei der Auffindung im Tagebau offen lag. Die jeweilige Lage der Knochen zueinander bleibt dabei unverändert. Bei der Bergung kleiner Fossilfunde kam die Lackfilm-Methode zum Einsatz. Dazu wurde ein Lack, der auch nach seiner Trocknung noch biegsam ist, mit einem Pinsel auf die freigelegte Oberfläche aufgebracht. Analog zur Paraffin-Methode wurde das Fossil dann vom Braunkohlensubstrat abgenommen und anschließend im Labor in Halle (Saale) behutsam freigelegt. Da der Lack recht dünnflüssig ist, eignet er sich weniger gut für die Tränkung großer Knochen. Gewöhnlich fand er Verwendung bei Fischen, Fröschen und anderen kleinen Tieren.

Die Ausgrabungsaktivitäten gingen in den 1980er Jahren mehr und mehr zurück, bedingt durch die Verlagerung des Braunkohlenabbaues in den westlichen Teil der Lagerstätte. Das Fossilauftreten war hier durch ungünstigere geochemische Bedingungen während des Miozäns recht gering. Es hat sich herausgestellt, dass es hier offenbar an der Zufuhr von kalziumkarbonatreichem Wasser gemangelt hat, ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Fossilüberlieferung im Geiseltal. Das bedeutet in diesem Falle, potentiell eingebettete Lebewesen haben sich mit der Zeit vollständig zersetzt, so dass nichts Nachweisbares mehr von ihnen übriggeblieben ist. Die letzten Ausgrabungsaktivitäten endeten im Sommer des Jahres 1993, gleichzeitig kam es auch zur endgültigen Einstellung der bergbaulichen Aktivitäten im Geiseltal. Die letzte Wirbeltierfundstelle LIX (römische Nummer für 59) hat auch ein Kieferfragment mit Zähnen des Krokodils *Boverisuchus* erbracht, auf das in der Sonderausstellung besonderer Bezug genommen wird. In einem anderen Bereich des Bergbaugesbietes wurde im Jahre 2000 noch eine größere Studie zur fossilen Pollenführung, zu stratigraphischen Fragen und zur Geochemie der Braunkohlen durchgeführt. Wenngleich hierbei keine direkten Nachweise wie Knochen von Wirbeltieren gefunden wurden, so belegten die zahlreichen Magensteine die Anwesenheit von Krokodilen in diesem Bereich des miozänen Ökosystems Geiseltal auf indirektem Wege. Weitere, zusätzliche Profilaufnahmen ergaben sich dann anschließend noch im auflässigen ehemaligen (miozänen)

## 1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site

fossil surface. Once cooled, the diggers would cover the paraffin surface with a hard plaster (called a plaster jacket) then dig it out of the ground. The plaster jacket would then be flipped over and prepared from the side that was facing the ground. As a result, fossils prepared in this way show the opposite side from what was originally exposed at the surface. For smaller fossils, paleontologists would use the lackfilm-method. A pliant lacquer would be painted over the exposed surface of a fossil with a brush and allowed to harden. Analogous to the paraffin-method, the fossil was lifted and removed from the brown coal substrate and then carefully prepared in the fossil preparation laboratory in Halle (Saale). The lacquer is relatively thin, and does not work well with very large bones, so it was usually applied to fish, frogs, and other small animals.

Excavation efforts dwindled significantly around the 1980s, as coal production moved to other pits in the western area of the mine that yielded fewer and fewer fossils. The reason for the dearth of fossils there was due to unfavorable geochemical conditions during the geologic past, whereby the calcium-carbonate rich waters that led to great fossilization in the eastern pits did not influence the western brown coal pits. As a result, any animals that may have once been buried there had long since decomposed completely, leaving no bones left to discover. The final fossil excavation ended in the summer of 1993, which was also the final year of brown coal production at Geiseltal. The last vertebrate fossil site was LIX (Roman numeral 59), and included a jaw fragment with teeth of the feature crocodylian of this presentation, *Boverisuchus*. In another part of the former mining area, a geologic study was conducted in the year 2000, focusing on the site's fossil pollen content, stratigraphy, and geochemistry. Although no vertebrate bones were recovered from this site, the researchers did find stomach stones from ancient crocodylians. Additional geologic profiles were collected soon afterwards from another pit called "Neumark-Nord", located in the northeastern part of the mining area.

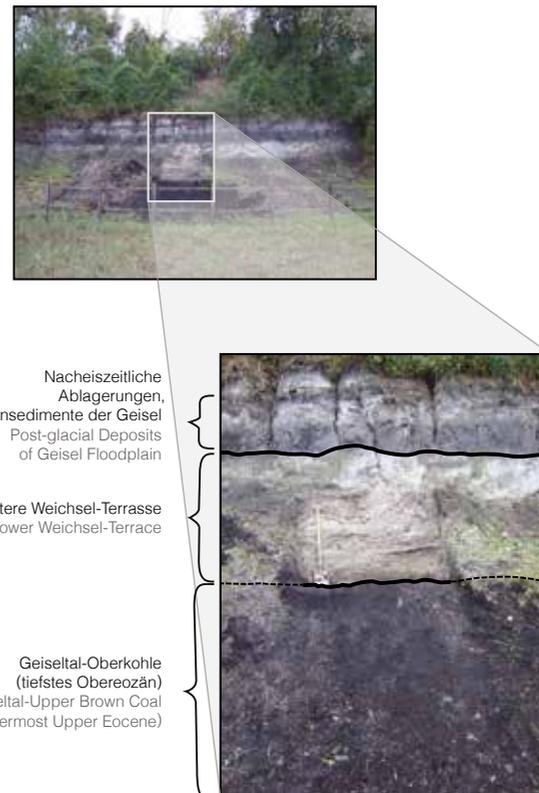
Since mining operations ended in 1993, the large open pits of Geiseltal have been repurposed. In the summer of 2003, work began to fill in the Geiseltal mining area with water to create a large lake. Pipelines were built to transport water from different locations for a period of around 10 years to create the artificial lake, filling in the former mining area. The project was completed during the early summer of 2011. The new man-made lake is now called the Geiseltalsee, or Geiseltal Lake, and is the largest artificial lake in Europe. Today, the only outcrop that can be found of the Geiseltal brown coal (in German, "Oberkohle") is located on the southern shore of the Geiseltalsee, and is a protected site (geotope) under the geological service for the state of Saxony-Anhalt.

## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

Tagebau „Neumark-Nord“, im nordöstlichen Teil des ehemaligen Bergbaureviers. Nachdem der Bergbaubetrieb im Sommer 1993 eingestellt worden war, fiel den weitläufigen Tagebauen ein neuer Nutzungszweck zu. Im Sommer 2003 begann schließlich mit der Flutung des gesamten ehemaligen Reviers die Schaffung eines großen Sees. Dazu wurden mehrere künstliche Zuflussleitungen gebaut, die über einen Zeitraum von etwa zehn Jahren einen künstlichen See formten. Die Flutung war bis in den Frühsommer im Jahre 2011 abgeschlossen. Der Geiseltalsee ist der größte künstliche See in Europa. Heutzutage existiert nur noch ein geologischer Aufschluss am Südufer des Geiseltalsees, an dem noch Braunkohle (ein Teil des sogenannten Oberkohle-Flözes) an ihrem autochthonen (originären) Bildungsort angeschaut werden kann. Bei diesem Aufschluss handelt es sich um ein vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Halle (Saale), Sachsen-Anhalt, geschütztes Geotop.

Fotos vom einzigen noch existierenden Aufschluss mit Geiseltal-Oberkohle am Südufer des Geiseltalsees. Die Braunkohle bildet die dunkle Lage ganz unten im Profil, d. h. im Liegenden der hellen Unteren Weichselterrassensedimente, darüber folgen die Auensedimente der Geisel. Gesamtlänge ca. 30 Meter; die Schaufel ca. 100 cm lang. Fotos: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 23.10.2014.

Photos of the last existing outcrop of the Geiseltal brown coal (Oberkohle Formation). This layer, the bottom black one, lies beneath the Weichsel Lower Terrace, the light-colored ice age deposits. Above, younger sediment from the Geisel floodplain. Outcrop is approx. 30 meters long. Shovel is about 100 cm long. Photos: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Oct. 23, 2014.



## 1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site

Prof. Dr. J. Weigelt (1890–1948), Begründer des im Jahre 1934 eröffneten Geiseltalmuseums. Das Foto von ca. 1925 zeigt ihn vermutlich beim Smither's Lake in Texas. Der rückseitige Stempel auf dem Originalfoto lautet „Fox Co., Genuine Picture, San Antonio, Texas“. Foto: Archiv Geiseltalsammlung/ZNS [Geschenk aus Privatbesitz von Frau E. Lehmann Halle (Saale) in 2002].

Prof. Dr. Johannes Weigelt (1890–1948), founder of the Geiseltal Museum. The photo, taken around 1925, shows Weigelt presumably near Smither's Lake in Texas. The original photo is stamped with "Fox Co., Genuine Picture, San Antonio, Texas". Photo: Geiseltal Collection Archive/ZNS [dedicated from private ownership by Mrs. E. Lehmann of Halle (Saale) in 2002].



Schweres Arbeitsgerät (verschiedene Braunkohlenbagger). Im Hintergrund eine Abraumhalde aus pleistozänen Deckschichten. Foto: um 1933/1934, Karl-Boy Simonsen, Privatbesitz Sönke Simonsen.

Photo taken around 1933–1934 of machines for excavating brown coal at Geiseltal. The spoil pile in the background consists of Pleistocene overburden. Photo: Karl-Boy Simonsen, Private Collection of Sönke Simonsen.



Aufgelassene historische, horizontal verlaufende, unterirdische Stollengänge. Die Stollen datieren in das ausgehende 19. bzw. in das beginnende 20. Jahrhundert, nahe der Ortslage Krumpa. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 17.09.1992.

Abandoned, horizontal excavation tunnels constructed of wood, from the end of the 19th century up to the beginning of the 20th century. Photo near the village of Krumpa. Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Sept. 17, 1992.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

Tagebau „Cecilie IV“. Aus diesem Tagebau stammt das nahezu vollständige Urpferdskelett von *Propalaeotherium isselanum* (GMH Ce IV-7011-1933). Foto: um 1933/1934, Karl-Boy Simonsen, Privatbesitz Sönke Simonsen.

Open pit “Cecilie IV”. Which is the origin of a nearly complete skeleton of the horse *Propalaeotherium isselanum* (GMH Ce IV-7011-1933). Photo: around 1933–1934 by Karl-Boy Simonsen, Private Collection of Sönke Simonsen.



Eine Gruppe von sechs Ausgräbern (vermutlich im Tagebau „Cecilie IV“): in der Mitte (Dritter von links), Dr. E. Voigt. Foto: um 1933/1934, Karl-Boy Simonsen, Privatbesitz Sönke Simonsen.

A team of six excavators (presumably in the open pit “Cecilie IV”). Dr. E. Voigt is third from the left. Photo: around 1933–1934 by Karl-Boy Simonsen, Private Collection of Sönke Simonsen.



Drei Ausgräber auf ihrem Weg zu einer Fundstelle: links Herr Worch (Präparator) und rechts Oberassistent Dr. E. Voigt. Foto: um 1933/1934, Karl-Boy Simonsen, Privatbesitz Sönke Simonsen.

Three excavators on their way to a fossil site. To the left is Mr. Worch (fossil preparator) and to the right is Assistant Professor Dr. E. Voigt of the university. Photo: around 1933–1934 by Karl-Boy Simonsen, Private Collection of Sönke Simonsen.



## 1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site

Das Präparationslabor des Geiseltalmuseums ca. Mitte der 1930er Jahre. Links der Fossilpräparator, Herr Worch, in der Mitte Prof. Dr. J. Weigelt. Foto: Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

The fossil preparation laboratory of the Geiseltal Museum in the mid-1930s. To the left is the fossil preparator, Mr. Worch and in the center is Prof. Dr. J. Weigelt. Photo: Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Ch. Koehn bei der Herstellung eines Lackfilmes im ehemaligen Tagebau Mücheln, Baufeld „Neumark-Nord“, im Geiseltal. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 07.05.2001.

Christoph Koehn applying the laquer removal method to a geologic section within the former mining pit Mücheln (“Neumark-Nord”) at Geiseltal. Photo: M. Hellmund. Geiseltal Collection Archive/ZNS, May 7, 2001



Der Tagebau „Mücheln-Südfeld-Fortsetzung“ mit der zuletzt bearbeiteten Wirbeltierfundstelle (LIX) im Geiseltal. Sie befand sich an der Basis des Aufschlusses. Die Höhe des Kohlestoßes im Mittelgrund beträgt ca. 20 Meter, im Hintergrund ist die Ortslage Krumpa-Biendorf. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 17.09.1992.

The open pit “Mücheln-Südfeld-Fortsetzung”, displaying the last excavated vertebrate site (LIX) of Geiseltal, at the base of the brown coal seam. The wall of coal in the middle ground is around 20 m high. The village of Krumpa-Biendorf is in the background. Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Sept. 17, 1992.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

Die letzte Wirbeltierfundstelle (LIX) in der oberen Mittelkohle des ehemaligen Tagebaues „Mücheln-Südfeld-Fortsetzung“ (Blickrichtung SSW). Durch Sedimentverlagerung (weiß bis hellgrau) ist diese teilweise überdeckt worden. Der diagonal verlaufende Kohlestoß ist etwa 20 m hoch. Im Hintergrund ist die Ortslage Krumpa-Biendorf. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 17.09.1992.

The LIX fossil site in the pit "Mücheln-Südfeld-Fortsetzung", viewed from the south-south-west. Fossils were excavated at the base of the coal wall (roughly 20 m tall), but sediment removal (whitish material) partly covered the fossil site. The village of Krumpa-Biendorf is in the background. Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Sept. 17, 1992.



Blick über die Braunkohlenlagerstätte Geiseltal nach Nordnordosten von derjenigen Stelle, an der sich heutzutage der Aussichtspunkt „Cecilie“ befindet. Die letzte Wirbeltierfundstelle im Tagebau „Mücheln-Südfeld-Fortsetzung“ (LIX; Pfeil). Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 01.03.1996.

View overlooking the Geiseltal mining area. The red arrow indicates the last vertebrate collecting site (LIX). Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Mar. 1, 1996.



Der Kohlestoß, der aus dem Wasser des gefluteten ehemaligen Tagebaues „Mücheln-Südfeld-Fortsetzung“ herausragt, ist derselbe wie derjenige im vorherigen Bild. Der Blick ist jedoch etwas mehr nach Richtung Westen gerichtet (zur Ortslage Stöbnitz) und das Foto im Vergleich zum Vorletzten circa acht Jahre später aufgenommen worden. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 04.08.2004.

After flooding, the pit where the LIX site was located can be identified by the wall of coal shown in the image from 1996, still rising above the water nearly eight years later. The view shown here is more to the west, with the village of Stöbnitz in the background. Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Aug. 4, 2004.



## 1. Introduction to the Geiseltal Fossil Site

Zustand des ehemaligen Tagebaues „Mücheln-Südfeld-Fortsetzung“ im Juni 2005, Blickrichtung ungefähr nach Süden, in Richtung Krumpa-Biendorf. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 24.06.2005.

Similar view to the image before, but taken on June 24, 2005. The open pit area is now completely filled in by water, and the village of Krumpa-Biendorf is in the background. Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, June 24, 2005.



Blick in den ehemaligen Tagebau „Mücheln-Westfeld“ (Blickrichtung SSW). Im Vordergrund ist ein Teil des entstehenden Geiseltalsees zu erkennen. Im Mittelgrund der ca. 300 m lange Aufschluss, der Untersuchungsgegenstand des „Geiseltal-Projektes 2000“ war. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, Mai 2000.

The former brown coal mine pit called "Mücheln-Westfeld", viewed from the south-south-west. The rising waters of the early Geiseltalsee are visible in the foreground. Behind the waterline, lies a 300 m outcrop that was the primary interest for the research project "Geiseltal Project 2000". Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, May 2000.



Der ehemalige Tagebau Mücheln, Baufeld „Neumark-Nord“, im Geiseltal, teilweise vom Wasser des entstehenden Geiseltalsees bedeckt. Etwas entfernt vom derzeitigen Ufer ist die Einmündung des von extern einfließenden Wassers durch ringartige Wasserbewegung zu erkennen. Foto: M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS, 04.08.2004.

The site of the most recent geologic profiles taken from the Geiseltal brown coal formations, which were located within the former open pit Mücheln at the mining site known as "Neumark-Nord". This site is also partly covered by the early waters of the Geiseltalsee. Photo: M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS, Aug. 4, 2004.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

### Das geologische Alter der Geiseltalfossilien

Eine absolute Altersdatierung der Geiseltafuna ist keine einfache Aufgabenstellung. Die Paläontologen haben ein System für eine relative Altersdatierung verschiedener Fundstellen geschaffen, die darauf basiert, welche Arten in welcher Fundstelle vorkommen. Aufgrund von Ähnlichkeiten des Geiseltales mit anderen Fossilfundstätten erkannte man, dass die betreffenden Faunen zu einem geologischen Zeitabschnitt gehören, der als Eozän bekannt ist, was so viel heißt wie „Morgenröte“ in Bezug auf die aufkeimende Herrschaft der Säugetiere. Die Eozän-Zeit reicht von 56 bis 33,9 Millionen Jahre vor heute, umfasste also eine Zeitspanne von 22,1 Millionen Jahren. Um innerhalb des Eozäns (und auch für andere Zeitalter) relative Altersangaben zu bekommen, ziehen die Paläontologen die evolutive Entwicklung der Säugetiere innerhalb Europas heran, um eine Abfolge von sogenannten „Europäischen Landsäugetierzeitaltern“ (ELMAs) aufzustellen. Das Fossilmaterial aus dem Geiseltal ist so reichhaltig und von maßgeblicher Bedeutung für den betreffenden Zeitraum, dass es mit der Bezeichnung „Geiseltalium“ namensstiftend wurde. Das bedeutet schließlich auch, dass alle Fundstätten dieses Zeitabschnittes dem Geiseltalium (ELMA) zugeordnet werden können.

Die Paläontologen hatten dann die Absicht, diese altersmäßige Einteilung noch weiter zu untergliedern und stellten die sogenannten „Paläogenen Säugetierzonen“ (MP Zonen) auf, wobei wiederum die Säugetiere u. a. mit ihrem jeweiligen „erstmaligen Auftreten und wieder Verschwinden“ den Rahmen zu dieser relativen, europäischen Alterseinteilung bilden. Dieser Einteilung folgend, bildet das Geiseltalium ein Äquivalent zu den MP Zonen 11 bis 13, diese entsprechen zusammengenommen dem gesamten Mitteleozän. Bemerkenswert ist noch, dass das oberste fossilführende Flöz des Geiseltales zeitlich das Geiseltalium überschreitet und bereits in die MP Zone 14 und damit in das Säugetierzeitalter „Robiacium“ eingeordnet wird (vgl. „Stratigraphische Tabelle“).

Die Kenntnisse über die hier betroffenen MP Zonen ermöglichen aber noch keine absoluten Altersangaben. Radiokarbondatierungen reichen beispielsweise nur bis 50 000 Jahre zurück, also für das Geiseltal nicht weit genug. Die Kohle selbst lässt sich auch nicht zur Alterseinstufung heranziehen. Man braucht zur Datierung magmatische Gesteine, die sich seit ihrer Entstehung nicht signifikant verändert haben. Deswegen müssen wir zu Vergleichszwecken auf andere Fundlokalitäten zurückgreifen, die in der Spanne zwischen MP 11 bis MP 14 liegen und mit Magmatiten in irgendeiner Weise vergesellschaftet sind. Die Leser dieses Begleitbandes sind möglicherweise auch vertraut mit der „Fossilagerstätte Messel“, in der Nähe von Frankfurt am Main in Deutschland. In dieser UNESCO-Welterbestätte sind ebenfalls zahlreiche bemerkenswerte Fossilien

## 1. Introduction to the Geiseltal fossil site

### The Geological Age of the Geiseltal Fossils

Determining the absolute age of the Geiseltal fauna is not a simple task. Paleontologists created a system for determining relative ages of different fossil sites based on which species are found at which site. From the similarity of Geiseltal to other fossil sites, it was quickly determined that the fauna belonged to a section of geologic time known as the Eocene, or “Dawn Period”, named for the radiation of modern mammal lineages during this epoch. The Eocene lasted from 56 to 33.9 million years ago, a 22.1 million year range. In order to provide at least relative ages within the Eocene (and other ages), paleontologists used mammalian evolution in Europe to arrange a series of European Land Mammal Ages (ELMAs). The fossils of Geiseltal were so plentiful and representative of their time that the name for their age was chosen to be the “Geiseltalian”. This means that all sites in Europe from that time are assigned to the Geiseltalian ELMA.

Paleontologists wanted to break down these ages even further and erected what are called Mammal Paleogene Zones (MP Zones), again using mammalian species (e.g. first and last occurrences) as the framework of the relative ages of fossil sites in Europe. In this system, the Geiseltalian is equivalent to MP Zones 11 to 13, making up the entire Middle Eocene. Interestingly, the uppermost fossil-bearing layers of the Geiseltal coal formation actually extend beyond the Geiseltalian, into MP Zone 14, which belongs to the next-youngest ELMA called the “Robiacian” (see Timeline Figure).

However, simply knowing the fossils belong to MP 11 to 14 does not provide absolute ages in millions of years ago. Familiar methods like carbon dating cannot provide age estimates that extend beyond more than 50 000 years, much younger than the Geiseltal fossils. The coal itself cannot be used to estimate age either. Igneous rocks are needed instead, ones that have not been significantly altered ever since they formed millions of years ago. For this, we have to compare to other sites within the MP 11 to 14 range. Readers may already be familiar with the Messel fossil site, near Frankfurt am Main, Germany. Numerous remarkable fossils have been recovered from this UNESCO World Heritage site, and have been assigned to MP 11. Directly below the fossil-bearing layers is a basaltic rock that scientists were able to drill into and get an age estimate of  $47.8 \pm 0.2$  million years ago. Based on this, and sedimentation rates at Messel, it was determined that the beginning of the Geiseltalian (and therefore MP 11) was ca. 47.5 million years ago. In order to get an idea of the upper boundary, we can compare the Geiseltal fauna to a younger fossil site, the Eckfeld maar in the Eifel Mountains in western Germany. Fossils from this site were assigned to MP 13, and an igneous rock found below the fossil-bearing layers yielded an age of  $44.3 \pm 0.4$  million years ago. Again, using this and

## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

gefunden worden, die der MP Zone 11 zugeordnet werden. Im sogenannten „Liegenden“ der fossilführenden Messel-Sedimente wurde Basaltgestein erbohrt, für das ein absolutes Alter von  $47,8 \pm 0,2$  Millionen ermittelt wurde. Auf dieser Basis und im Hinblick auf die Sedimentationsrate für Messel wurde die Basis für das Geiseltalium, d. h. für die MP Zone 11 auf ca. 47,5 Millionen Jahre vor heute kalkuliert. Um eine Einschätzung über die Obergrenze des Geiseltaliums zu bekommen, können wir die Geiseltalfauna mit einer jüngeren Fossilagerstätte vergleichen, dem Eckfeld Maar, in der Eifel in Deutschland. Die Objekte aus dieser Fossilagerstätte werden der MP Zone 13 zugeordnet und Magmatite aus dem Liegenden der Maarsedimente haben eine absolute Altersdatierung von  $44,3 \pm 0,4$  Millionen Jahren ergeben. Analog zur Berechnung für die Untergrenze des Geiseltaliums ergeben sich für dessen Obergrenze ca. 43,5 Millionen Jahre. Somit hatte das Geiseltalium eine Gesamtdauer von ungefähr vier Millionen Jahre.

Eine einzige Fossilfundstelle in der Oberkohle des Geiseltales datiert in die MP Zone 14 und ist damit jünger als die Obergrenze (= 43,5 Millionen Jahre) des Geiseltaliums. Für diese MP Zone 14 existiert kein Äquivalent von einer Wirbeltierfundstelle in unmittelbarem Zusammenhang mit einer absoluten Altersdatierung in Europa. Unter Einbeziehung der Evolutionsrate von Wirbeltieren kann aber die Dauer der Fossildokumentation im Geiseltal um etwa eine Million Jahre heraufgesetzt werden. Angesichts fehlender magmatischer Gesteine in diesem Kontext muss es hier bei einer Schätzung bleiben.

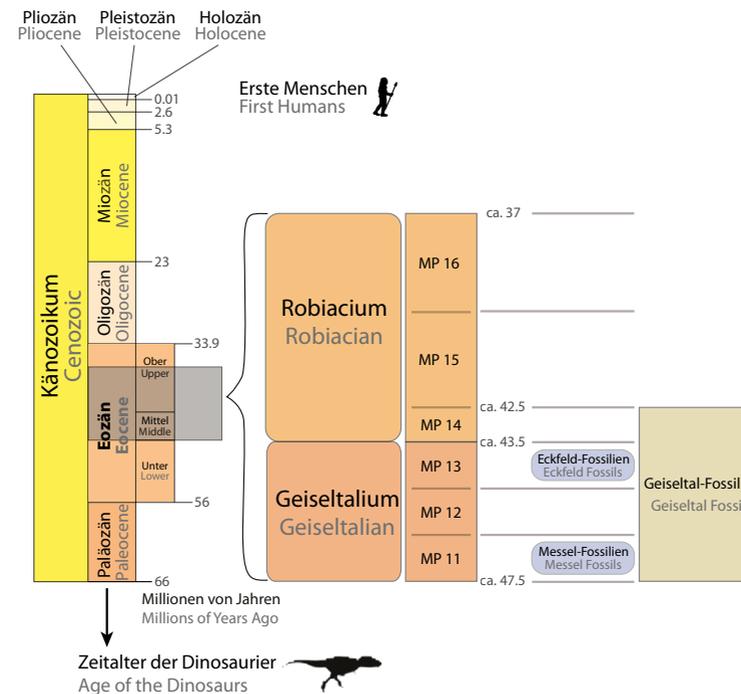
Der Geologische Zeitstrahl gibt die erdgeschichtliche Position der Geiseltal-Fossilien wieder. Die Zahlen stehen für das Alter in Millionen Jahren, zum Vergleich sind auch die Fossilagerstätten Messel und Eckfeld eingetragen. Die Känozoische Ära folgt auf die Ära des Mesozoikums, besser bekannt als das Zeitalter der Dinosaurier. An der Grenze zwischen diesen beiden Ären kam es zu einem Massenaussterben, so dass Platz für neues Leben entstand. Das Geiseltalium und das Robiacium sind sogenannte Säugetierzeitalter. Die Abkürzung „MP“ bedeutet Paläogene Säugetierzone.

Geologic timeline showing the placement of the Geiseltal fossils. Numbers indicate ages in millions of years ago. For further context, the Messel and Eckfeld fossil sites are also indicated. The Cenozoic Era was preceded by the Mesozoic Era, better known as the age of the dinosaurs. The boundary between these two ages is marked by the mass extinction event that resulted in the loss of these animals and gave way to new life in the Cenozoic. The Geiseltalian and Robiacian are European Land Mammal Ages. MP stands for Mammal Paleogene Zone.

## 1. Introduction to the Geiseltal fossil site

sedimentation rates, the upper boundary of the Geiseltalian is now thought to be ca. 43.5 million years ago. In total, this would mean the Geiseltalian lasted from ca. 47.5 to ca. 43.5 million years ago, a period of roughly four million years. During this time, there are no significant breaks in the fossil record, meaning fossils from Geiseltal span this entire four million year record.

A single fossil site from the upper coal layer at Geiseltal was assigned to MP 14, younger than the Geiseltalian upper boundary (ca. 43.5 million years ago). For this age, there is not any known igneous rock in Europe that can be used to get an absolute age and be directly correlated with a fossiliferous rock formation. Based on rates of mammalian evolution, the Geiseltal fossil sequence is thought to have extended an additional one million years, but because of a lack of datable rock, this remains only a rough approximation.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

### Das Geiseltalmuseum

In den frühen 1930er Jahren führten die intensiven Ausgrabungsaktivitäten im Geiseltal zu einer erheblichen Ansammlung von Fossilien. Durch Weigelt kam es schließlich im Jahre 1934 zur Gründung des Geiseltalmuseums und damit zur Ausstellung dieser Fossilien. Als Ort wurde damals die Kapelle Kardinal Albrecht's in der sogenannten „Neuen Residenz“ ausgewählt, damals im Besitz der Universität. Das Gebäude stammt aus dem 16. Jahrhundert. Die Ausstellung war seit 1934 öffentlich zugänglich, aber insbesondere nach wissenschaftlichen Kriterien und nach der sogenannten Zoologischen Systematik aufgestellt. Im Jahre 1959 wurden in der Kapelle sechs Wandgemälde von Rudolf Dobrick gestaltet, die verschiedene fiktive/rekonstruierte Szenarien aus dem Ökosystem Geiseltal wiedergaben. Diese sind bis heute erhalten geblieben. Mittlerweile hat die Universität das Gebäude der Neuen Residenz im Jahre 2003/2004 an das Land Sachsen-Anhalt abgetreten. Deswegen, und auf Grund von zusätzlichen raumklimatischen Problemen im originalen Ausstellungsort, wurde begonnen, die Geiseltalsammlung in eine benachbarte Liegenschaft umzuziehen. In diesem Zusammenhang kam es zur Schließung des Geiseltalmuseums für die Öffentlichkeit zum Ende des Jahres 2011. Im Folgenden sprechen wir anstelle des Geiseltalmuseums daher von der Geiseltalsammlung, die mittelfristig zusammen mit zwei weiteren großen Universitätsammlungen für die Forschung und Lehre im Gebäude des ehemaligen Instituts für Zoologie magaziniert und, so die Landes- und Universitätspläne, langfristig wieder Kernteil einer dauerhaften musealen Präsentation werden soll.

Blick in die Dauerausstellung des ehemaligen Geiseltalmuseums aus dem Jahre 2011. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Exhibition hall of the former Geiseltal Museum in Halle (Saale), from 2011. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 1. Introduction to the Geiseltal fossil site

### The Geiseltal Museum

In the early 1930s, strong collecting efforts at the Geiseltal mining area were accumulating large numbers of fossils. In 1934, Weigelt worked to found a museum to house and exhibit these fossils. They chose to build this within the chapel of the old historic residency of Cardinal Albrecht II in Halle (Saale), owned at the time by the local university (now called Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg). This building was constructed in the sixteenth century, and is referred to now as “Neue Residenz” (German for “New Residence”). The exhibits were opened to the public in 1934, but arranged in a very scientific and systematic manner. In 1959, six original wall paintings were painted onto the walls of the public exhibit by Rudolf Dobrick, which featured reconstructed scenes of the Geiseltal ecosystem. The exhibits and collections have remained there ever since. The university gave up ownership of Neue Residenz in 2003–2004 to the state of Saxony-Anhalt. As a result of this and conservation issues of the old building, long-term plans have been in place to move the Geiseltal collection into another facility nearby. Due to the transition in location and ownership, the museum was closed to the public at the end of 2011. The fossils will eventually be exhibited again to the public as part of a natural science exhibit with Martin-Luther-University Halle-Wittenberg (MLU). Meanwhile, the Geiseltal Museum has been renamed the Geiseltalsammlung (Geiseltal Collection). This collection will soon be relocated to the building of the former Institute of Zoology at MLU to accompany two other large natural history collections.



## 1. Einführung in die Fossilagerstätte Geiseltal

### Die Geiseltalsammlung

Die Geiseltalsammlung ist nach wie vor ein Teil der naturwissenschaftlichen Sammlungen der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, vereint in der universitären Einrichtung Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen (ZNS). Wenngleich die Geiseltalsammlung derzeit nicht öffentlich zugänglich ist, so steht sie den nationalen und internationalen Fachwissenschaftlern weiterhin für Forschungsfragen offen. Im Jahre 2012 ist die gesamte Geiseltalsammlung in die Liste des „National wertvollen Kulturgutes“ aufgenommen worden, d. h. sie steht damit unter besonderem staatlichen Schutz. Die Geiseltalsammlung war im Jahre 2014 Programmpunkt einer paläontologischen Exkursion, die im Vorfeld der Berliner Jahrestagung der „Society of Vertebrate Paleontology“ stattfand. Die altehrwürdige Gesellschaft tagte erstmalig in ihrer Geschichte in Deutschland.

An der Ausrichtung der örtlichen Veranstaltung im ehemaligen Geiseltalrevier bzw. in der Geiseltalsammlung waren sämtliche Mitarbeiter der Geiseltalsammlung beteiligt, der Kustos Dr. Meinolf Hellmund, der Gastwissenschaftler (International Fellow) Dr. Alexander K. Hastings und der Präparator Michael Stache. Die Sonderausstellung in den Räumlichkeiten der Leopoldina, die von der Kulturstiftung des Bundes und von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg finanziell gefördert wurde, ist ebenfalls ein Gemeinschaftswerk dieser „Mannschaft“. Mit diesem Begleitband zur Sonderausstellung möchten wir den Bürgern von Halle (Saale) und allen anderen Besuchern einen Teil des Naturerbes Deutschlands näher bringen.

Eines von sechs Wandgemälden von Rudolf Dobrick aus dem Jahre 1959, einen Teil des Ökosystems Geiseltal während des Miozäns zeigend. Die dargestellten Tiere sind das ausgestorbene Krokodil *Asiatosuchus* und die ausgestorbene Rieseneidechse *Eolacerta*. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

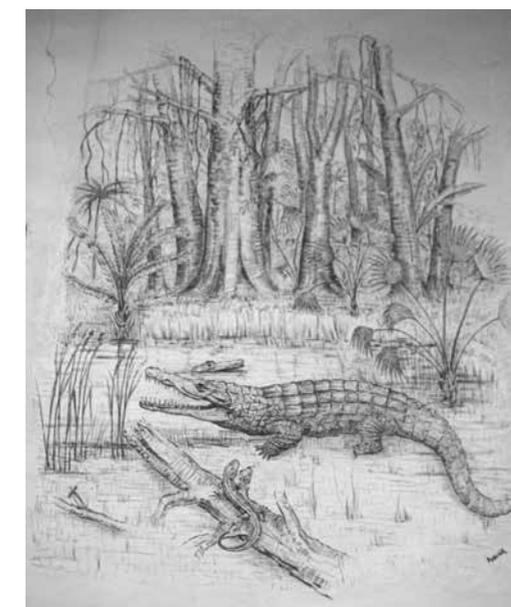
One of six original wall paintings by Rudolf Dobrick in 1959, depicting part of the past ecosystems of Geiseltal during the Middle Eocene. This reconstruction features the extinct crocodylian *Asiatosuchus* and the large extinct lizard *Eolacerta*. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 1. Introduction to the Geiseltal fossil site

### The Geiseltal Collection

Today, the Geiseltal Collection (Geiseltalsammlung, in German) remains part of Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, under the department of the Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen (Center for Natural Science Collections; abbreviated to ZNS). Although closed to the public, the collection remains available for scientific study to researchers from around the world. In 2012, the entire Geiseltal Collection became an official member of the list for “National wertvolles Kulturgut” (National Cultural Heritage), and as a result it is now under government protection. The Geiseltalsammlung was recently a key visit as part of a field excursion for the 2014 meeting of the Society of Vertebrate Paleontology in Berlin, which is the first time the international conference of paleontologists has met in Germany.

The staff of the Geiseltalsammlung includes the curator, Dr. Meinolf Hellmund, the international museum fellow Dr. Alexander K. Hastings, and the preparator Michael Stache. The exhibition and catalogue presented here are the result of work done by the Geiseltalsammlung staff, funded by the Kulturstiftung des Bundes (Federal Cultural Foundation of Germany) in its program “International Museum Fellowship“ and by Martin-Luther-University Halle-Wittenberg. In this booklet we present part of Germany’s national natural cultural heritage in the light of recent research results.



## 2. Vertebratenfauna im Überblick

Im fossilen Ökosystem des Geiseltales lebten eine artenreiche Fauna und Flora. Insbesondere die Wirbeltierfossilien, die in diesem Braunkohlenberggebiet ausgegraben wurden, sind sehr zahlreich. Bis jetzt sind 125 verschiedene Wirbeltierarten erfasst worden. Die Diversität dieser Arten nimmt von den ältesten fossilführenden Braunkohleflözen (MP 11) hin zu den jüngeren (MP 13) immer weiter zu. In der allerjüngsten Braunkohle (MP 14) gibt es allerdings nur eine einzige Fundstelle mit sehr wenigen Fundstücken. Von manchen Wirbeltierarten liegen bisweilen aber Teile vor, die von mehreren hundert Individuen stammen, während andere mit nur einem einzigen Beleg für die Art im Geiseltal sehr selten sind. Es kommt aber auch vor, dass bestimmte Arten, die anderswo in Europa sehr rar sind, im Geiseltal häufiger und gut bekannt sind. Das gilt für das Krokodil *Boverisuchus* und den großen Laufvogel *Gastornis*, die beide in der Sonderausstellung präsentiert werden. Wir vermitteln ganz allgemein ein Bild davon, wie die unterschiedlichen Wirbeltiere in dem eozänen Ökosystem miteinander gelebt haben.

### Fische

Funde von Fischen waren in den jüngeren Braunkohlenschichten des Geiseltales (MP 13) recht häufig, jedoch selten in den älteren. In einer einzigen Fundstelle (MP 12) kamen nur wenige Knochenelemente des langsnäuzigen Raubfisches *Lepisosteus* zu Tage, während vom Schlammfisch *Cyclurus* („*Amia*“) in MP 13 mehrere hundert gut erhaltene Exemplare vorliegen. Das gilt auch für drei weitere Fischarten aus den Gattungen *Thaumaturus* und *Palaeoesox*, die Verwandte der Forelle bzw. vom Hecht sind, sowie für *Anthracoperca*, die ein barschähnlicher Fisch war. Die drei zuletzt genannten Formen stammen ebenfalls aus einem jüngeren Niveau der Braunkohleflöze (MP 13). Zu bestimmten Zeiten waren die Fische offenbar sehr zahlreich, so dass man davon ausgehen kann, dass sie zur Nahrungsquelle für im Wasser lebende Räuber wurden. Insgesamt gibt es also fünf nachgewiesene verschiedene Fischarten in der Geiseltalfauna.

### Amphibien

In den jüngeren Braunkohlenflözen wurden auch mehrere Arten von Fröschen und Salamandern gefunden, deren Größe vom kleinen Frosch bis zum Ochsenfrosch reicht. Um solch kleine, filigrane Skelette zusammenhängend und erfolgreich in einem Stück aus dem Braunkohlensubstrat zu bergen, bot sich die Lackfilmmethode an. Insgesamt wurden aus der Fossilagerstätte Geiseltal acht verschiedene Amphibienarten beschrieben.

## 2. Overview of the Vertebrate Fauna

The Geiseltal fossil ecosystem was once home to a wide variety of animals and plants. Vertebrate fossils are particularly abundant from this former mining area, and represent 125 different species. In general, diversity increased from the earliest layers of Geiseltal (MP 11) until the upper layers (MP 13). The uppermost layer, belonging to MP 14, only includes a single fossil site with limited diversity. Some species are very common, with hundreds of individuals recovered. Other species are incredibly rare, with only a single bone found at Geiseltal. Several species that are very rare at other fossil sites in Europe are much more common within the Geiseltal fauna, including the crocodylian *Boverisuchus* and the giant bird *Gastornis* that are featured in this publication. Here we provide a general idea of the kinds of animals that lived together within this Eocene ecosystem.

### Fish

Fish were incredibly abundant in the later times of Geiseltal (MP 13), but very rare before. Only one fossil fish species has been found within MP 12, the long-snouted predatory gar *Lepisosteus*. During the younger MP 13, there were numerous bowfin fish, *Cyclurus* („*Amia*“), ancient relatives of the trout and mudminnow (*Thaumaturus* and *Palaeoesox*), and the perch-like *Anthracoperca*. At times fish skeletons vastly outnumbered all other vertebrates and were likely an abundant food source for several aquatic predators. In total, five different species of fish have been recognized from Geiseltal thus far.

### Amphibians

Several species of frogs and salamanders have been recovered from the younger layers of the Geiseltal brown coal deposits. These range from small toads to large relatives of bullfrogs. Amphibians tended to be small and the lacquer-film method was able to successfully remove these delicate skeletons from the brown coal matrix as one articulated piece. In all, 8 different amphibian species have been described from the Geiseltal fossil site.

## 2. Vertebratenfauna im Überblick

### Reptilien

Schildkröten und Krokodile kommen in der Geiseltalfauna in allen fossilführenden Braunkohlenflözen zahlreich vor. Schlangen und Eidechsen sind dagegen auf die jüngeren Braunkohlenflöze beschränkt. Schildkröten, wie die große *Geochelone* und die deutlich kleinere *Geoemyda*, sind oft dreidimensional überliefert, d. h. die Knochen sind völlig undeformiert und befinden sich an ihrem originären Ort. Aus der Gruppe der Eidechsen wurden ebenfalls unterschiedliche Vertreter im Geiseltal nachgewiesen, wie die großen räuberisch lebenden Varane *Eosaniwa* und *Necrosaurus*. Beinlose Eidechsen, wie *Ophisaurus* und der basiliskähnliche *Geiseltaliellus*, der seinem Namen nach der Fundlokalität Geiseltal erhalten hat, sind hier ebenfalls zu nennen. Verwandte der heute lebenden Würgeschlange *Boa* liegen in gut erhaltenen bis zu zwei Metern langen Exemplaren in der Sammlung vor. Am zahlreichsten sind jedoch die Krokodilfunde. Das mittelgroße Krokodil *Diplocynodon* ist darunter am häufigsten, es kommen aber noch vier weitere Krokodilarten hinzu. Im Vergleich zu modernen Ökosystemen ist das Vorkommen so vieler Arten nebeneinander sehr ungewöhnlich. Für weitere Details zur Krokodilfauna des Geiseltales, s. Kapitel 3. Selbst wenn man die Anzahl an Fisch- und Amphibienarten zusammen nimmt, wird diese noch durch die 24 Arten von Reptilien deutlich übertroffen.

Skelett einer fossilen Würgeschlange aus dem Geiseltal (*Paleryx ceciliensis*; GMH XXII-586-1965). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Fossil snake skeleton from the Geiseltal fossil site (*Paleryx ceciliensis*; GMH XXII-586-1965). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 2. Overview of the Vertebrate Fauna

### Reptiles

Turtles and crocodylians were very abundant within the Geiseltal fauna throughout the fossil-bearing layers. Snakes and lizards were also recovered, but only from younger levels. Ancient tortoises and pond turtles (*Geochelone* and *Geoemyda*) have often even been preserved three-dimensionally with original skeletal elements still in place within the shell. Several different groups of lizards have been found at Geiseltal, including the large predatory monitor lizards *Eosaniwa* and *Necrosaurus*. The site also featured legless lizards like *Ophisaurus* and basilisks like *Geiseltaliellus* (named for the Geiseltal fossil site). Relatives of the modern constricting snake *Boa* slithered around the Geiseltal ecosystem, sometimes reaching large sizes. Most numerous of all were the crocodylians. By far the most common crocodylian was the moderately-sized *Diplocynodon*. The site also featured another four species of crocodylian, which is very unusual based on comparison to modern ecosystems. For much more information on the Geiseltal crocodylians, see Chapter 3. 24 different reptilian species have been found at Geiseltal, outnumbering the diversity of fish and amphibians combined.



5 cm

## 2. Vertebratenfauna im Überblick

### Vögel

Mit Abstand der größte Vertreter in der Avifauna des Geiseltales war *Gastornis geiselensis*, ein kräftiger Laufvogel, der mit seinem Skelett in der Sonderausstellung in natürlicher Größe und mit weiteren Originalknochen zu sehen ist. Weiterführende Details zu *Gastornis* finden sich in Kapitel 4. Darüber hinaus existierte noch ein weiterer landlebender Vogel, *Palaeotis*, im Geiseltal. Er war viel kleiner, schlanker als *Gastornis* und ähnelte dem heutigen Strauß. Ein mehr oder weniger vollständiges Skelett von *Palaeotis* enthält noch kleine Steinchen aus dem ehemaligen Kropf. Als flugfähige Vögel sind Verwandte der Mausvögel (*Eoglaucidium* und *Selmes*), sowie *Aegialornis* (Segler) und *Messelirrisor*, ein ausgestorbener Verwandter der Hopfe, sowie der Papagei-Verwandte *Pseudasturides* nachgewiesen worden. Die Vogelfossilien haben noch nicht eine ähnlich intensive Aufarbeitung erfahren, wie dies bei anderen Wirbeltiergruppen schon der Fall war, und könnten daher eine um einiges größere Artenfülle aufweisen, als die 12 vom eozänen Geiseltal beschriebenen Arten.

### Säugetiere

Die Säugetiere waren mit ganz unterschiedlichen Arten aus sehr verschiedenen Gruppen im Ökosystem Geiseltal vertreten. In der Faunenliste nehmen Säuger den meisten Platz ein. Im Geiseltal dominierten sie manche ökologische Nische. Viele von ihnen waren sehr klein, wie das Beuteltier *Amphiperatherium*, der Insektenfresser *Leptictidium* und das Nagetier *Ailuravus*. Drei ausgestorbene Fledermausarten sind auch darunter; Vertreter aus unserer eigenen Entwicklungslinie, den Primaten, ebenso. Unter den 14 Arten sind auch verschiedene Baumbewohner. Urraubtiere, wie *Matthodon*, waren gefährliche fleischfressende Raubtiere dieser Zeit. Eine sehr ungewöhnliche Entdeckung war der Ameisenbär *Eurotamandua*, dessen lebende Verwandte heutzutage in Südamerika vorkommen. Diese und manch andere Säugetierart in der Vertebratenfauna des Geiseltals zeigen ein Einwanderungsszenario aus verschiedenen Regionen der Welt nach Europa. Am häufigsten von allen Säugetieren sind die pflanzenfressenden Huftiere. Es gibt insgesamt zwei Entwicklungslinien: die Unpaarhufer mit den Pferden, den Nashörnern und den Tapiren, sowie die Paarhufer mit den Rindern, den Hirschen und den Schweinen. Sehr häufig sind die frühen Vertreter aus der Gruppe der Pferde, detailliertere Angaben dazu, s. Kapitel 5. Ein weiteres mit zahlreichen Fundobjekten gut belegtes unpaarhufiges, Tapir ähnliches Säugetier ist *Lophiodon*. Mit ca. zwei Metern Schulterhöhe ist es das größte jemals im eozänen Geiseltal vorkommende Säugetier. Die Paarhufer waren demgegenüber sehr klein, aber gebissmorphologisch sehr vielgestaltig. Die Gesamtzahl der bislang beschriebenen Säugetierarten der Geiseltalsammlung beträgt 76.

## 2. Overview of the Vertebrate Fauna

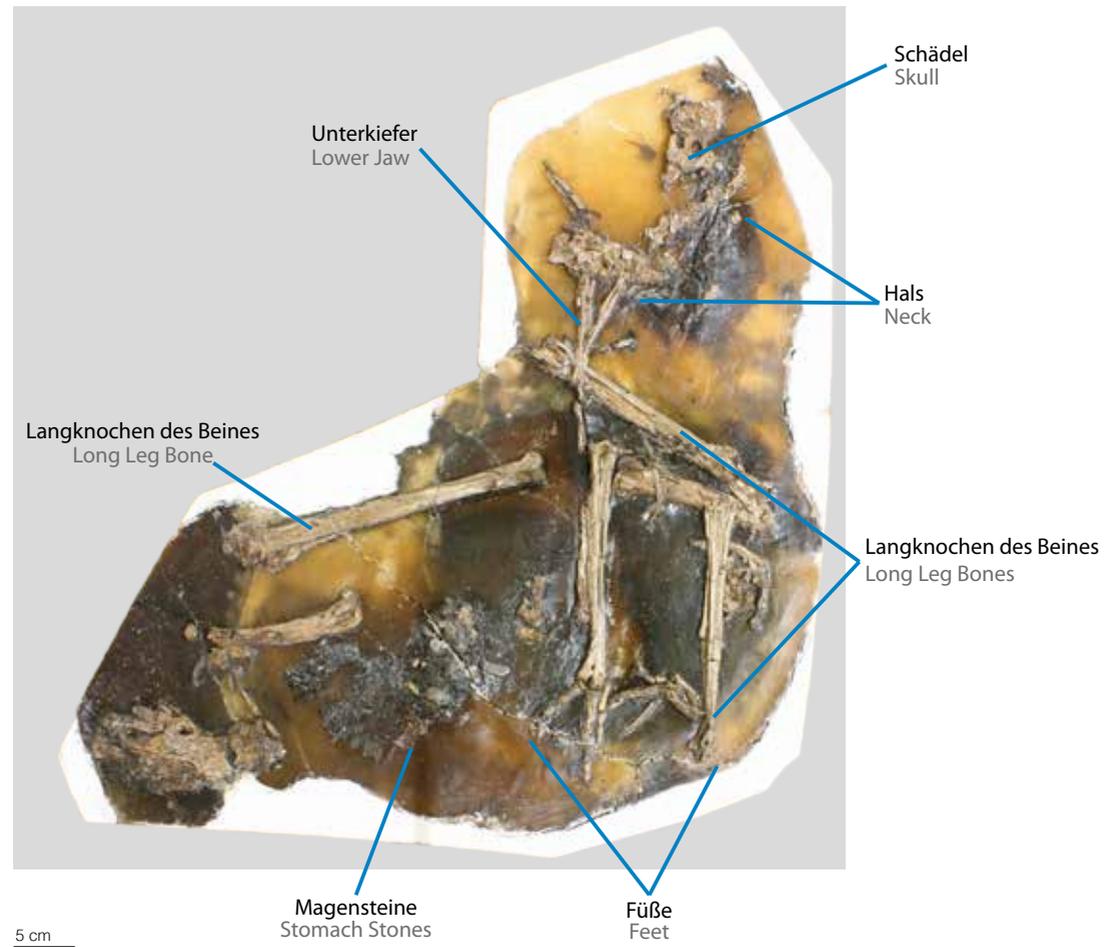
### Birds

By far the largest bird at Geiseltal was the massive land bird *Gastornis geiselensis*, for which Chapter 4 is entirely dedicated. In addition, another land bird, *Palaeotis*, would have lived alongside *Gastornis*, but was much slimmer and more similar to a modern day ostrich. A fossil of *Palaeotis* was even found still associated with its stomach stones. The site also contained flying birds such as relatives of the mousebird (*Eoglaucidium* and *Selmes*), *Aegialornis* (similar to a modern swift), an extinct relative of the hoopoe (*Messelirrisor*) and the parrot-relative *Pseudasturides*. Continued work on the fossil bird fauna of Geiseltal may yet reveal a hidden diversity of birds greater than the 12 recognized species identified so far from this site.

### Mammals

Both the most plentiful and most diverse vertebrate group, mammals dominated many ecological niches within the Geiseltal ecosystem. Many were quite small, like the marsupial *Amphiperatherium*, the insectivorous *Leptictidium*, and the rodent *Ailuravus*. Three species of extinct bat have been recovered as well. Ancient ancestors of our own evolutionary line, primates, were diverse as well, with 14 different tree-dwelling species recognized. Ancient carnivores like *Matthodon* would have been formidable, especially for their time. One particularly strange discovery is that of *Eurotamandua*, a tree-dwelling anteater related to the modern species from South America. This species, and several others, indicate a complex scenario of immigration into Europe from several different regions of the world. Most abundant of all the mammals, were the herbivorous hoofed mammals. These are split into two basic lines of evolution: the perissodactyls (including horses, rhinos, and tapirs) and the artiodactyls (including cows, deer, and pigs). Early horses were very common at Geiseltal and for more information about them see Chapter 5. Another perissodactyl that was especially abundant at Geiseltal was the tapir-like *Lophiodon*. Artiodactyls in general were fairly small but diverse. In total, there are 76 recognized species of fossil mammals within the Geiseltal Collection.

## 2. Vertebratenfauna im Überblick



Skelett eines straußenähnlichen Vogels, *Palaeotis weigelti* (GMH Leo-4362-1932), viel kleiner und zierlicher als *Gastornis geiselensis*, die beide im Geiseltal gefunden wurden. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

The ostrich-like fossil bird *Palaeotis weigelti* (GMH Leo-4362-1932), smaller and more slender than *Gastornis*, both found at the Geiseltal fossil site. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 2. Overview of the Vertebrate Fauna

Unterkieferast eines Urraubtieres *Matthodon tritens* (GMH XIV-1). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Lower jaw of the carnivorous mammal *Matthodon tritens* (GMH XIV-1). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Kleiner Frosch aus dem Geiseltal in Skeletterhaltung auf einem Lackfilm (*Rana carbonicola*; GMH 6734). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Small fossil frog skeleton preserved on lacquer film from the Geiseltal fossil site (*Rana carbonicola*; GMH 6734). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Fossiler Schlammfisch, *Cyclurus* („*Amia*“) *kehreri*, mit spitzen Zähnen (rechts) und Resten des Schuppenkleides (GMH XXXVIII-798-1964). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Fossil bowfin fish, *Cyclurus* („*Amia*“) *kehreri*, including its sharp, predatory teeth (right end) and even some of the scales in place (GMH XXXVIII-798-1964). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

Während der jahrzehntelangen Ausgrabungen im Geiseltal wurden zahlreiche Fossilien von Krokodilen in den unterschiedlich alten Braunkohlenflözen gefunden. Sie reichen von einzelnen Zähnen bis zu vollständigen, zusammenhängenden Skeletten. In manchen Skeletten sind noch die sogenannten Magensteine (Gastrolithen) an deren ursprünglichem Ort erhalten. Eines der ausgestellten Objekte hat noch Überreste von Eierschalen in seinem Körper, die zeigen, dass es sich um ein trächtiges Weibchen handelt. Aus dem Geiseltal wurden insgesamt fünf verschiedene Krokodilarten beschrieben. Wenn man diese Zahl mit heutigen Beobachtungen vergleicht, so ist das sehr ungewöhnlich. In heutigen Lebensräumen übersteigt die Artenzahl von Krokodilen in ein und demselben Areal selten die Zahl zwei. Wenn das doch der Fall ist, dann verfolgen die Krokodile offenbar ganz unterschiedliche Beutepräferenzen. Anhand der Beutespezifizierung lässt sich erklären, dass sie sich damit dann nur wenig Konkurrenz im Hinblick auf ihren Beuteerwerb machten. Angesichts der Präsenz von fünf unterschiedlichen Arten war das spezifisch aufgeteilte Beutespektrum von eminenter Bedeutung. Wie hat dieses nun im Geiseltal in ein und demselben Areal funktioniert?

Wir haben uns diesbezüglich zunächst mit der Morphologie, d. h. mit den Umrissen der jeweiligen Schädel beschäftigt. Die Art und Weise, wie der Schädel gebaut ist, steht in direkter Beziehung zur Beute und ist für diese angepasst. Vergleicht man die Schädel der Geiseltal-Krokodile nun mit denen moderner Krokodile, dann erhält man eine Idee zu deren Lebensweise. Wenn wir morphologische Ähnlichkeiten bei den Schädeln von fossilen und modernen Krokodilen feststellen, können wir von dem modernen Vertreter ableiten, was das fossile Tier üblicherweise konsumierte und so das jeweilige Beutespektrum der eozänen Krokodile aus dem Geiseltal ermitteln. Dabei zeigte sich, dass Krokodile hinsichtlich ihrer Nahrung zwar Generalisten sind, die eigentlich alles fressen, aber dennoch artspezifisch an spezielle Beutetiere angepasst sind, die sich nicht direkt mit den bevorzugten Beutetieren anderer Krokodilarten überlappen. Jede Krokodilart hat offenbar unterschiedliche Beute gefressen, aber gelegentlich auch Beutetiere, die eher von einer anderen Art bevorzugt wurden. Aus unseren Untersuchungen resultieren schließlich detaillierte Beuteprofile für zumindest vier der fünf Krokodilarten im Ökosystem Geiseltal.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

Throughout Geiseltal excavations, there have been numerous crocodylian fossils recovered from all levels. These range from isolated teeth to complete and articulated skeletons. Many skeletons even have the stomach stones (called gastroliths) still preserved within the stomach cavity of their fossil skeleton. One of the specimens featured here also has remains from eggshells within the body, indicating it was a pregnant female. In total five different crocodylian species have been identified from Geiseltal. This is actually very unusual. Modern ecosystems rarely exceed two species living together in the same area. When they do come together, they typically pursue different kinds of prey. This method of prey partitioning is thought to explain how they can live together in the same area without having too much competition for food sources. With five different species, this would seem to make the need to partition even greater. So how did the Geiseltal crocodylians manage five different species within the same area?

To answer this, Geiseltal researchers looked at skull shape in crocodylians. The structure of the crocodylian skull has a direct connection to the kind of prey it is adapted for. By comparing the skull shape of the fossil crocodylians of Geiseltal to modern crocodylians, researchers were able to get a sense of purpose for each species. Once the researchers identified shape similarity between fossil and modern forms, they then looked at the sorts of prey that modern crocodylians with these skull shapes regularly consume. From there, researchers investigated the kinds of prey available at Geiseltal during the Eocene. This narrowed down the kinds of prey these animals would have been best adapted to capture and eat. The results showed that although crocodylians are generalists that will eat most kinds of prey, they are better adapted for certain prey types that do not directly overlap with each other. Each crocodylian likely would have most commonly consumed different prey, and only occasionally consumed the common prey of another species of crocodylian. Thanks to these results, profiles can be created for each of these crocodylians including their potential preferred prey at Geiseltal.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

#### *Asiatosuchus germanicus*

Dieses Krokodil war mit Abstand der größte Räuber in den fünf bis sechs Millionen Jahren, in denen das eozäne Geiseltal existierte. Sein Name war ursprünglich für ein fossiles Krokodil aus China vergeben worden, übersetzt heißt er „Asiatisches Krokodil“. Vergleichbare Funde wurden in Deutschland erst später gemacht, sie erhielten den Namen *Asiatosuchus germanicus*. Diese Art ist mit vielen Beispielen von großen, kräftigen Schädeln und Unterkiefern im Fossilbericht des Geiseltales ausgezeichnet vertreten. Im Begleitband sind entsprechende Exemplare abgebildet. Die Schädelmorphologie und die Körpergröße sind dem modernen Nilkrokodil sehr ähnlich. Beide Arten hatten bzw. haben breite, starke Kiefermuskeln und verstärkte Schädel, mit denen sie erheblichen Beißdruck erzeugen konnten. Vergleichbar dem Nilkrokodil hielt sich *Asiatosuchus* als lauernder Räuber im Wasser oder am Ufer auf, um auf potentielle Beutetiere zu warten, die zum Trinken kamen. Wenn die Beute dann in Reichweite war, kam es zu einer Überraschungsattacke, bei der sich die Kiefer des Krokodils in den Hals bzw. den Körper des Beutetieres verbissen und dieses unter Wasser zogen. Aus Vergleichen von modernen Beutetieren mit denjenigen, die im Geiseltal verfügbar waren, schließen wir, dass *Asiatosuchus* vorwiegend mittelgroße Säugetiere, große Vögel und große Fische gefressen hat. Es gibt zudem einen Fossilbeleg dafür, dass *Asiatosuchus* auch Schildkröten konsumierte. Ein Beispiel dafür ist eine lochförmige Beißmarke in einem Schildkrötenpanzer (s. Foto). Seine spitzen Zähne waren folglich zum Knacken von Schildkrötenpanzern bestens geeignet. Weiterhin konnte er große Säugetiere, wie das Tapir ähnliche *Lophiodon*, überwältigen. Insgesamt war *Asiatosuchus* an ein Leben im Wasser angepasst, wie die flache Schädelform und der kräftige Schwanz zum schnellen Schwimmen belegen. An Land war er eher behäbig und nur wenig agil; er hielt sich also vorwiegend in oder an Gewässern auf, von denen es im Geiseltal damals reichlich gab. Im Erwachsenenalter dürfte er kaum noch Nahrungskonkurrenten im Hinblick auf großwüchsige Beutetiere gehabt haben.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### *Asiatosuchus germanicus*

This crocodylian was by far the largest predator at Geiseltal throughout the entire 5–6 million year Eocene record. The genus name for this crocodylian was originally given for a fossil from China, with *Asiatosuchus* translating to “Asian Crocodile”. Fossils from Germany were later found to belong to this same genus, but as their own species *Asiatosuchus germanicus*. This species is well-represented at Geiseltal with multiple examples of the big and powerful skulls, one of which is shown here in the catalogue. The skull shape and body size of *Asiatosuchus* is fairly similar to the modern Nile Crocodile. Both species have large and strong jaw muscles with heavily reinforced skulls to deliver tremendous amounts of pressure during biting. Much like the Nile Crocodile, *Asiatosuchus* was likely an aquatic ambush predator, lying at the water’s edge while waiting for prey to come close to drink. Once the prey was in range they would have launched their jaws around the animal’s neck or body and dragged them into the water with a surprise attack. From comparison of modern prey to what prey was available at Geiseltal, researchers think *Asiatosuchus* most commonly ate medium-sized mammals and large birds as well as large fish. There is also evidence in the Geiseltal Collection that *Asiatosuchus* consumed adult turtles at Geiseltal as well, and their teeth are well adapted to the blunt crushing force needed to puncture the thick bone of the turtle’s shell. An example was preserved at Geiseltal of a bite mark within the shell of a fossil turtle. Much like the Nile Crocodile, *Asiatosuchus* likely took down very large prey on occasion such as the tapir-relative *Lophiodon*, which was very common at Geiseltal. *Asiatosuchus* was very well adapted to the water with a flat skull, perfect for hiding beneath the water with only its nose and eyes above the surface. It also had a powerful tail for fast swimming. It likely would not have been very agile on land, but would not have needed to leave the water very often considering the ample water sources available at Geiseltal during the Eocene. As an adult, *Asiatosuchus* would not have had much competition for large prey at Geiseltal.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

Schädel und Unterkiefer des Krokodils *Asiatosuchus germanicus* aus dem Geiseltal (GMH XXXV-477-1963). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltal-sammlung/ZNS.

Skull and lower jaw of the crocodylian *Asiatosuchus germanicus* from the Geiseltal fossil site (GMH XXXV-477-1963). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



5 cm

Blick auf die Innenseite eines Fragmentes von einem Schildkrötenpanzer aus dem Geiseltal. Das Loch oben links hat die Größe eines Zahnes von *Asiatosuchus* (GMH XXXVI-416-1963). Die Schildkröte war Opfer einer Beißattacke geworden. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltal-sammlung/ZNS.

View of the inside of a fossil turtle shell fragment from Geiseltal. The large hole in the upper left matches very well with the teeth of *Asiatosuchus* (GMH XXXVI-416-1963). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



1 cm

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians



5 cm

Schädel des Krokodils *Asiatosuchus germanicus* aus dem Geiseltal (GMH XIV-4757a-1956). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Skull of the crocodylian *Asiatosuchus germanicus* from the Geiseltal fossil site (GMH XIV-4757a-1956). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

#### *Diplocynodon darwini*

Obwohl *Diplocynodon darwini* viel kleiner als *Asiatosuchus* ist, war es dennoch ein erfolgreiches Krokodil. Diese Art, die nach Charles Darwin benannt wurde, war das mit Abstand häufigste Krokodil in der Geiseltalfauna. Es sind Skelette von unterschiedlicher Körpergröße überliefert, sowohl ein Jungtierskelett als auch das Skelett eines erwachsenen Individuums sind komplett erhalten und im originalen Zusammenhalt in der Geiseltalsammlung zu finden. Das erwachsene Exemplar lässt etwas ganz Außergewöhnliches erkennen, denn im Inneren sind noch Reste von Eierschalen erhalten. Das Individuum ist also ein trächtiges Weibchen. Dieses Fossil gibt außerdem sehr seltene Hinweise zum Körperwachstum und zur Fortpflanzung dieser ausgestorbenen Krokodilart. Die zahlreichen zusammenhängenden Skelettfunde stammen aus ganz unterschiedlich alten Braunkohlenflözen des Geiseltales. Der Körper von *Diplocynodon* und sein Schädelumriss mit der leicht verlängerten Schnauze sprechen für regelmäßigen Fischkonsum. Die Schädelmorphologie war aber auch auf ein Beutespektrum aus Fröschen, Eidechsen, Schlangen und gelegentlich für die Erbeutung eines kleinen Säugetieres ausgerichtet. Seine Zähne waren spitz, was bedeutet, dass dessen Beute nicht besonders stark gepanzert war. Für den Beutefang war die Geschwindigkeit von größerer Bedeutung als die Kraftentfaltung. Die Schädelmorphologien von *Diplocynodon* und *Asiatosuchus* ähneln einander durchaus, aber durch die sehr unterschiedlichen Körpergrößen im Erwachsenenalter überlappen die jeweiligen Nahrungspräferenzen dann kaum noch. *Diplocynodon* konnte also mit Erfolg ökologische Nischen nutzen, in denen die von ihm bevorzugten kleinen Beutetiere vorhanden waren, während sich *Asiatosuchus* auf größere Tiere konzentrierte. So konnten sie ohne Konkurrenzdruck in einem gemeinsamen Areal koexistieren. Die Art des Beutefanges von *Diplocynodon* war die Überraschungsattacke, anstatt die potentielle Beute durch Verfolgung zu stellen. *Diplocynodon* hat die zahlreich vorhandenen Gewässer im Geiseltal als Lebensorte für sich gut genutzt. Das wird aus den vielen Knochen- und Zahnfunden in den unterschiedlichen Braunkohlenflözen deutlich.

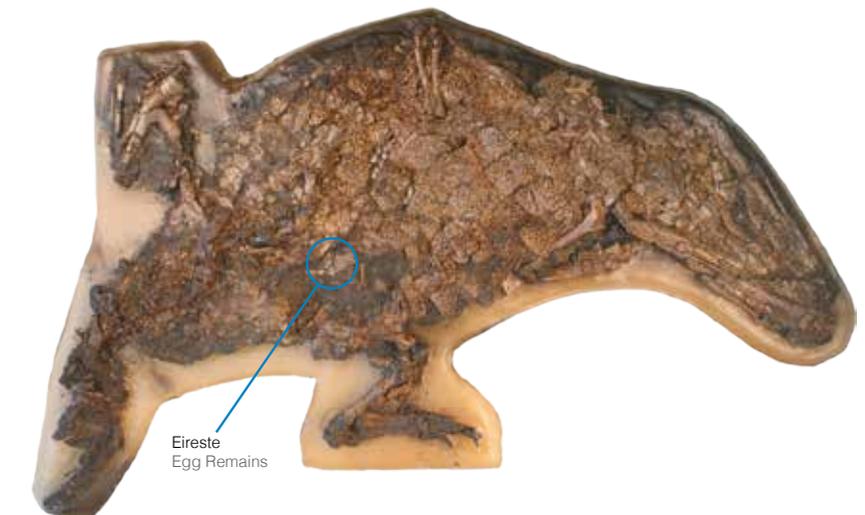
Zusammenhängendes Skelett des Krokodils *Diplocynodon darwini* aus dem Geiseltal (GMH Leo II-9000-1932), mit erhaltenen Eiresten im Körper. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Articulated skeleton of the crocodylian *Diplocynodon darwini* from the Geiseltal fossil site (GMH Leo II-9000-1932) with egg remains preserved. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### *Diplocynodon darwini*

Although it was much smaller than *Asiatosuchus*, *Diplocynodon* was a very successful crocodylian at Geiseltal. This species, named *Diplocynodon darwini* after Charles Darwin, was by far the most common crocodylian. Fossils have been recovered from many different stages of growth and both a juvenile and an adult are featured here. The adult was remarkably preserved with remnants of eggshells still in place within the body cavity. This proof of a pregnant adult female gives rare clues as to the growth and reproduction of this extinct species. Many articulated skeletons were found of this species from several different lignite layers. Its size and skull shape, with a slightly elongate snout, suggests *Diplocynodon* regularly consumed fish. Its skull was shaped as a generalist, a predator adapted well to many different kinds of prey, which likely included frogs, lizards, snakes, and the occasional small mammal. Its teeth were more pointed, indicating its prey was not heavily armored, and that speed was more necessary for prey capture than brute force. The skull shape of *Diplocynodon* is actually fairly similar to that of *Asiatosuchus*, but given the very different adult body size, the prey preferences would not have overlapped very much. *Diplocynodon* was able to carve out a highly successful niche, consuming small prey, while *Asiatosuchus* would have gone for larger animals. In this way, they were able to coexist without threat of constant competition. Much like *Asiatosuchus*, *Diplocynodon* was adapted well for life in the water, with a flat skull and long, thick tail. This species would have also relied primarily on ambush attacks, waiting to catch prey unaware rather than a lengthy pursuit. *Diplocynodon* would have taken advantage of the numerous water sources during the Eocene at Geiseltal, and as a result many of their bodies and teeth were fossilized within the lignite layers.



### 3. Geiseltal: Land der Krokodile



1 cm

Teilskelett des Krokodils  
*Diplocynodon darwini* aus dem  
Geiseltal (GMH XXII-700-1965).  
Foto: A. Hastings, Archiv  
Geiseltalsammlung/ZNS.

Partial skeleton of the crocodylian *Diplocynodon darwini* from the Geiseltal fossil site (GMH XXII-700-1965). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians



1 cm

Teilskelett eines Jungtieres von  
*Diplocynodon darwini* aus dem  
Geiseltal (GMH XXII-588-1965).  
Foto: A. Hastings, Archiv  
Geiseltalsammlung/ZNS.

Partial skeleton of a young crocodylian (*Diplocynodon darwini*) from the Geiseltal fossil site (GMH XXII-588-1965). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

#### *Allognathosuchus haupti*

*Allognathosuchus haupti* war die kleinste Art unter den Krokodilen aus dem Geiseltal und das gilt auch noch für das Erwachsenenalter. *Allognathosuchus* hat den Konkurrenzkampf mit der etwas größeren *Diplocynodon*-Art offenbar aufgrund seiner besonderen Anpassung an sein Beutespektrum vermeiden können. Große Beutetiere, die von anderen Krokodilarten bevorzugt wurden, hat er gemieden und sich stattdessen auf kleinere Beute konzentriert. Seine Zahnkronen waren abgeflacht und meistens etwas abgenutzt. Das deutet auf harte bzw. hartschalige Nahrung hin. Seine Schädelmorphologie ist rundlich und kurzschnauzig. Der Schädel ist insgesamt sehr stabil gebaut. Obwohl *Allognathosuchus* von kleiner Körpergröße war, verfügte er über eine starke Beißkraft. Die Zähne und Kiefer dieses Räubers waren also bestens zum Zerquetschen von harter Beute geeignet und seine bevorzugte Nahrung waren daher „gepanzerte“, d. h. schalentragende bzw. gehäusebewohnende Invertebraten, wie Schnecken, Muscheln und Flusskrebse. Schnecken gab es im Geiseltal reichlich als Nahrungsquelle. Insekten, Fische und manchmal eine Schildkröte haben die Nahrung noch bereichert. Klein von Körpergröße zu sein, ist dann von Vorteil, wenn man auch kleine Beutetiere präferiert. Größere Tiere haben entsprechende Mühe, genügend Beute zu machen, um einen so großen Körper mit Nahrung zu versorgen. Dieses Krokodil lebte vorwiegend in und am Wasser.

Teilskelett des Krokodils  
*Allognathosuchus haupti* aus  
dem Geiseltal (GMH Ce IV-  
5900-1932). Foto: A. Hastings,  
Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Partial skeleton of the  
crocodilian *Allognathosuchus*  
*haupti* from the Geiseltal fossil  
site (GMH Ce IV-5900-1932).  
Photo: A. Hastings, Geiseltal  
Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### *Allognathosuchus haupti*

This species of crocodylian was the smallest at Geiseltal, even as adults. *Allognathosuchus* would have avoided competition with the slightly larger *Diplocynodon* species due to its adaptations for a different range of prey. Avoiding the large and quick animals that the other crocodylians would have preferred, *Allognathosuchus* would have instead gone after small prey items. The teeth of this species were very flat and often very well worn, indicating that they regularly consumed very hard foods. The skull shape had a round and short snout, providing extra strong bracing of the skull to withstand large amounts of force. Despite being small, *Allognathosuchus* likely had a very strong bite. Its preferred prey was likely armored invertebrates, such as snails, clams, and crayfish. Snails were especially abundant at Geiseltal and would have provided an ample food source. The teeth and jaws of this small predator were very well adapted for crushing the tough shells of these animals. Insects and fish would have likely been occasional food items, as well as young turtles to round out their diet. Small size is an advantage when consuming small prey, as a larger animal would have a harder time getting the amount of food it would need to maintain its large body. In general this animal was likely fairly aquatic, spending most of its time in or near the water.

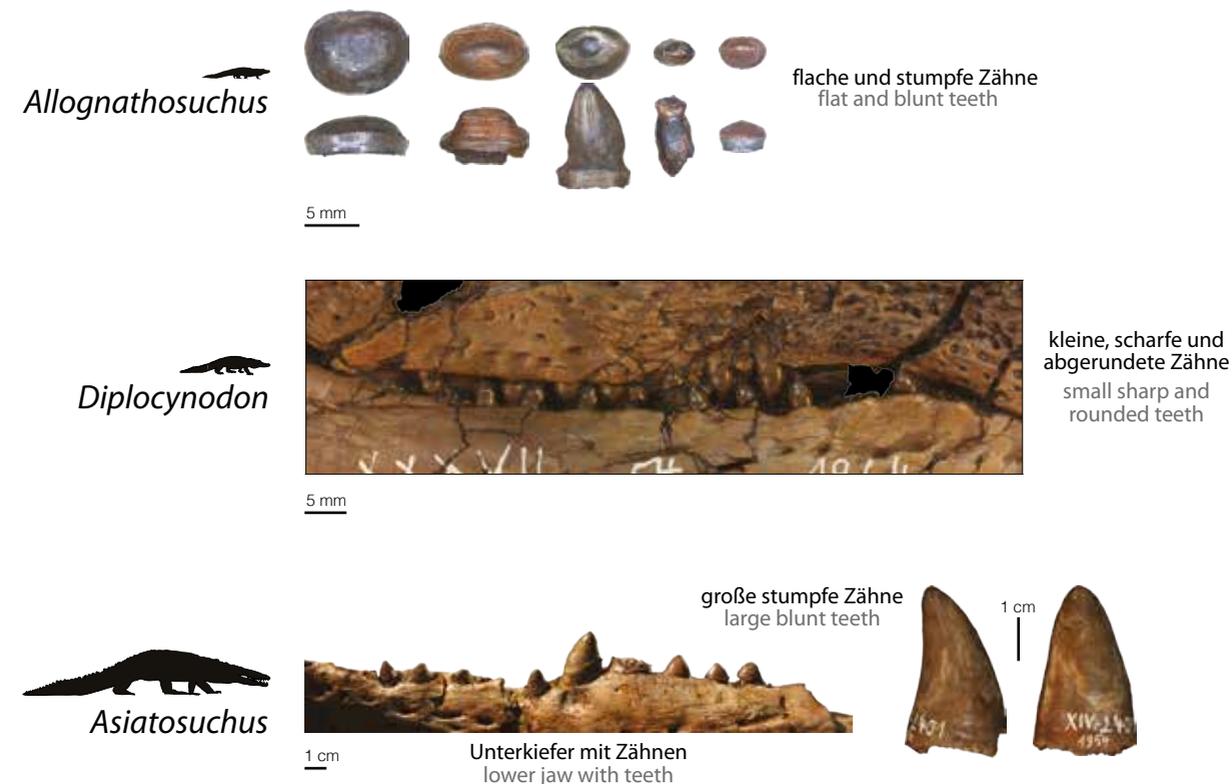


5 cm

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

#### *Bergisuchus dietrichbergi*

Über diese Krokodilart ist in den beiden Fossilagerstätten Geiseltal und Messel nur sehr wenig bekannt. Im Geiseltal sind ein linkes und ein rechtes Fragment vom Unterkiefer gefunden worden, in Messel ein Teil vom Unterkiefer und ein Fragment des Oberkiefers. Die Unterschiede im Unterkiefer rechtfertigen es, dieses Krokodil als eine eigenständige Art anzusehen, obwohl dessen Skelett noch gänzlich unbekannt ist. Da nichts vom Schädel überliefert ist, können wir es auch nicht in die oben beschriebenen Schädelanalysen einbeziehen. Aus den erhaltenen Kiefertteilen ergibt sich aber, dass dieses Tier ebenfalls ein Räuber war. Das zeigt schon der stark vergrößerte, prominente, eckzahnähnliche Zahn in den beiden erhaltenen Unterkieferfragmenten, mit dem *Bergisuchus* in die Beute eindringen konnte. Ohne weitere Funde kann man nur Vermutungen über dieses noch mysteriöse Tier, dessen Ernährung und dessen Verhalten anstellen. Es bleibt die am seltensten nachgewiesene Krokodilart im Geiseltal überhaupt.



### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### *Bergisuchus dietrichbergi*

This species is not very well known from any fossil deposit. At Geiseltal, only one individual has been recovered, with just the left and right portions of the lower jaw. At Messel, a partial jaw and one fragment of the upper jaw were recovered. Scientists think the differences in the jaws are enough to identify it as a unique species, even though most of the body is unknown. Not nearly enough of the skull is preserved from this species for it to be included in the skull shape analysis described above. From the pieces of jaw preserved, it appears this animal was also a highly predatory species. Its very large canine-like bottom teeth would have been used to penetrate prey. Without more individuals, scientists can only guess at the diet and behavior of this mystery animal.

Unterkieferast des Krokodils *Bergisuchus dietrichbergi* (GMH XVIII-49-1959). Schädel-funde gibt es bislang keine. *Bergisuchus dietrichbergi* ist die Krokodilart mit dem geringsten Fossilbeleg im Geiseltal. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Lower jaw of the crocodylian *Bergisuchus dietrichbergi* (GMH XVIII-49-1959). No skull has been found yet for this rare species of the fossil record at either Geiseltal or Messel. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Jede der Krokodilarten aus dem Geiseltal besitzt Zähne, die für einen ganz speziellen Nahrungserwerb gestaltet sind. Die Kiefer von *Asiatosuchus* zeichnen sich durch Kraft und Stärke aus (GMH XIV-4757b-1956, unten links) sowie durch einen starken Biss mit tief eindringenden Zähnen. Im Unterschied dazu sind die Kiefer von *Diplocynodon* mit spitzen Zähnen ausgestattet, mit denen die Beute (z. B. ein Fisch) durchdrungen wird (GMH XXXVII-54-1964). Die Zähne von *Allognathosuchus* (GMH III-10173-1949) sind abgeflacht und abgenutzt, was auf hartschalige Nahrung hinweist. Fotos: A. Hastings and M. Hellmund, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Each of the crocodylians of Geiseltal had teeth designed for different foods. The *Asiatosuchus* jaw (GMH XIV-4757b-1956, bottom left) is built for power and force and for a strong bite with penetrating teeth (GMH XIV-2401-1954, bottom right). The jaws of *Diplocynodon* are instead filled with spade-shaped teeth that are good for piercing softer and smaller prey (GMH XXXVII-54-1964). *Allognathosuchus* teeth (GMH III-10173-1949) are very worn, showing heavy use for a diet of tough foods. Photos: A. Hastings and M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

#### *Boverisuchus magnifrons*

*Boverisuchus* ist das Krokodil aus dem Geiseltal, das sich am meisten von den anderen fossil überlieferten und auch von allen heute lebenden Krokodilen unterscheidet. Er hat einen einzigartig geformten Schädel, der hochgewachsener und schmaler war als bei den anderen Arten. Diese besondere Morphologie zeigt einen wesentlichen Unterschied zu den sonst typischen, flachen Schädeln, die damit auf ein Leben im Wasser hindeuten. Die Schädelform war eindeutig für den Beuteerwerb an Land ausgelegt, wobei es mehr auf Geschwindigkeit und weniger auf Kraft beim Zubeißen ankam. Diese Schädelkonstruktion ähnelt am ehesten noch dem Kuba- oder Rautenkrokodil, das regelmäßig auf dem Land lebende Beutetiere jagt. Als häufige Beutetiere dürfte *Boverisuchus* kleine bis mittelgroße Säugetiere, aber auch Vögel, Schlangen und Eidechsen konsumiert haben. Fische und Amphibien gehörten eher selten dazu. Zusätzlich zum Schädelumriss lassen sich noch vier weitere Argumente benennen, die *Boverisuchus* als einen landlebenden Räuber kennzeichnen. Diese Merkmale lassen sich an dem am besten erhaltenen Exemplar (GMH Leo X-8001-1938), einem vollständigen Skelett aus dem Fundjahr 1938, nachvollziehen. Es ist im Begleitband abgebildet. Die dreidimensionale Skelettrekonstruktion in natürlicher Größe basiert weitgehend auf diesem Individuum. Die Gründe für eine terrestrische Lebensweise sind:

#### 1. Lange Beine

Die Vorder- und Hinterbeine waren im Verhältnis zum Körper lebender Krokodilarten länger. Die Hüftknochen zeigen an, dass die Beine von *Boverisuchus* näher am Körper standen. Dadurch konnte er seinen Körper vom Untergrund hochheben und damit die Beine etwas unter den Körper stellen. So war er in der Lage, sich auf dem Land gut und effektiv fortzubewegen.

#### 2. Schlanker Schwanz

Der Schwanz von Krokodilen ist in der Regel dick und schwer, d. h. mit starker Muskulatur ausgestattet. Die Geschwindigkeit beim Schwimmen wird durch dessen Seitwärtsbewegung erzeugt. Der Körper in sich selbst bleibt dabei fast in Ruhe. Der Schwanz ist durch starke Knochen, die in der Haut sitzen, gepanzert. Diese Hautknochen werden auch als Osteoderme bezeichnet. Sie dienen zum Schutz der Muskeln. Im Wasser schwimmt der Krokodilschwanz auf, an Land jedoch wird er zur Last, und hindert eher beim Laufen oder Rennen. *Boverisuchus* hatte nun im Unterscheid zu den anderen Krokodilarten aus dem Geiseltal, die sich schwimmend fortbewegten, einen schlankeren und damit leichteren Schwanz. Selbst die Osteoderme waren bei ihm schlank und leicht, was wiederum zur Gewichtsreduzierung beitrug.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### *Boverisuchus magnifrons*

By far, the Geiseltal crocodylian that was most different from any living species was *Boverisuchus magnifrons*. This fossil species had a uniquely shaped skull that was taller and narrower, showing a departure from the typical flat skull of crocodylians adapted for life in the water. This skull instead showed a preference for prey that required speed more than brute force. Skulls of this species were closest to modern crocodylians that regularly consume terrestrial prey, like the Cuban Crocodile. Common prey for *Boverisuchus* would have included small- to medium-sized mammals, birds, snakes, and lizards. Fish and amphibians would likely have been only occasional prey. In addition to the shape of its skull, four other main lines of evidence point toward *Boverisuchus* being a terrestrial predator, not an aquatic one. Much of this evidence has come from the best-preserved example of this species stored in the Geiseltal Collection (GMH Leo X-8001-1938), recovered from Geiseltal in 1938. The three-dimensional skeletal reconstruction of this animal is largely based on this individual. The terrestrial nature of *Boverisuchus* can be summarized with four main adaptations:

#### 1. Long Legs

The front and hind legs of *Boverisuchus* were longer in relation to the body than living species of crocodylian. Aspects of the hip bones also show these legs were held closer to the body. Being able to lift its body higher off the ground and keep its legs more closely underneath it would have allowed *Boverisuchus* to have a much more efficient mode of locomotion on the ground.

#### 2. Slim Tail

The tail of most crocodylians is very thick and heavy with strong muscles. The reason for this is that most of their swimming power comes from side-to-side motion of the tail, and the body moves very little during swimming. The tail is also covered with thick bones within the skin (called osteoderms) that act as armor to protect the tail muscles. In water the tail floats easily, but on land, the tail becomes a heavy burden that must be carried and does very little to help with walking or running. Instead of having a big thick tail like its aquatic cousins, *Boverisuchus* had a slim tail that would have been much lighter. Also, the osteoderms of the tail were long and thin, further reducing the weight. The long thin osteoderms would have helped brace the tail, making it stiffer and acting as a better counterbalance for the head while moving on land.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

Außerdem stabilisierten die Osteoderme den Schwanz; sie machten ihn starrer und damit zu einem Gegengewicht zum schweren Schädel während der Fortbewegung an Land.

#### 3. Gesägte Zahnkanten

*Boverisuchus* hatte dreieckig umrissene, abgeflachte Zähne mit gesägten Kanten, wie es z. B. Steakmesser auch haben. Das ist ein Merkmal, das man bei keiner lebenden Krokodilart findet, man beobachtet es auch nicht bei Verwandten der Krokodile. Fossile Organismen, die dieses Merkmal aufweisen, sind typischerweise vollmarine oder gänzlich terrestrische Lebewesen. In beiden Fällen heißt das, dass diese Tiere auf eine besondere Art und Weise an das Fangen und Fressen von Beute adaptiert waren. Da es im Geiseltal keine marinen Habitats gab, bedeutet das für *Boverisuchus*, dass er einen terrestrisch geprägten Lebensraum besiedelte. Bei einigen fleischfressenden Dinosauriern dienen gesägte Zahnkanten dazu, Beutetiere in mundgerechte Stücke zu zerschneiden. Dies ist z. B. auch beim großen heutigen Komodo-Waran der Fall. Wasserlebende Krokodile, wie das Nilkrokodil, nutzen das natürliche Aufschwimmen ihrer Beute, um diese in eine entsprechende Position zu bringen und dann Stücke aus dem Körper herauszureißen, sofern die Beute nicht als Ganzes geschluckt werden kann. Wird ein Beutetier an Land erlegt, gibt es keinen Auftrieb und es ist dann viel schwieriger, die Kiefer beim Zubeißen so auszurichten, dass Teile abgetrennt werden können. In diesem Falle sind gesägte Zahnkanten sehr hilfreich.

#### 4. Hufartige Endphalangen (keine Krallen)

Typischerweise haben Krokodile an jedem Finger- bzw. Zehenstrahl lange, spitze Klauen (Endphalangen). Diese Knochen sind mit einer Keratinschicht (Horn) überzogen, die auch in unseren Fingernägeln enthalten ist. Fossil ist diese in der Regel nicht erhaltungsfähig. Bei *Boverisuchus* sind die entsprechenden Knochen jedoch nicht zugespitzt, sondern abgerundet und abgeflacht. Eine solche Gestalt erinnert sehr an die entsprechenden Knochen (Hufphalangen) der Urpferde aus dem Geiseltal. Das bedeutete nun für *Boverisuchus*, dass weniger Druckbelastung auf diesen gerundeten und abgeflachten Knochen während seiner Fortbewegung auf festem Untergrund lag. Er war in der Lage, sowohl langsam als auch schnell zu laufen. Letzteres dürfte beim Beuteerwerb sehr nützlich gewesen sein.

Aus den dargestellten, sehr außergewöhnlichen Merkmalen kann man den Schluss ziehen, dass *Boverisuchus* seine Beute auf dem Land und nicht im Wasser oder in den Uferbereichen erlegte. Von ihrer Größe her dürften die im Geiseltal recht häufigen kleinen Pferde, *Propalaeotherium* und *Eurohippus*, besonders passende Beutetiere gewesen sein. Andere Säugetiere mit vergleichbarer Körpergröße kommen zusätzlich in Betracht.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### 3. Serrated Teeth

The teeth of *Boverisuchus* are serrated, like the edge of a steak knife. This feature is not found in any living species of crocodylian, and the feature is uncommon in the fossil record of crocodile-relatives. In fossil species that have serrated teeth, they are typically either fully marine or fully terrestrial. In both cases, it shows the species was adapted to catching and consuming prey in a different manner. Given there is no evidence of a marine habitat at Geiseltal, it seems more likely that these teeth indicate *Boverisuchus* fed in a terrestrial environment. In terrestrial species with serrated teeth, like several of the carnivorous species of dinosaur, the serrated teeth help cut through prey so that they can carve off mouthfuls more easily. This feature is even found in the large terrestrial monitor lizard, the Komodo Dragon. Aquatic crocodylians like the Nile Crocodile have the advantage of using the natural buoyancy of their prey to hold the body so that the crocodile can reach an appropriate angle to break off pieces when the prey cannot be swallowed whole. If the prey is on land, however, it becomes far more difficult to adjust the jaws to the right position to sever off a piece of the carcass. The serrated teeth are very helpful for this purpose.

#### 4. "Hoofed" Toe Bones

Typical crocodylians have long and pointed claw-shaped bones at the ends of each digit of both the front and hind feet. These bones are covered in a sheath of keratin, the same material that makes up human fingernails. The bones at the end of the toe in *Boverisuchus* are not pointed, but instead rounded and flattened. This forms a shape that looks somewhat like a hoof, as from a horse. The different shape of the bone in *Boverisuchus* reduces bone stress while moving on a solid surface. The species instead had feet adapted for walking and running on land.

Based on these characteristics, it seems very likely that instead of waiting at the water's edge, *Boverisuchus* was instead a hunter on land. The most size-appropriate prey available would have been the very common early horses of the genera *Propalaeotherium* and *Eurohippus*, although other small running mammals would have been suitable prey as well.

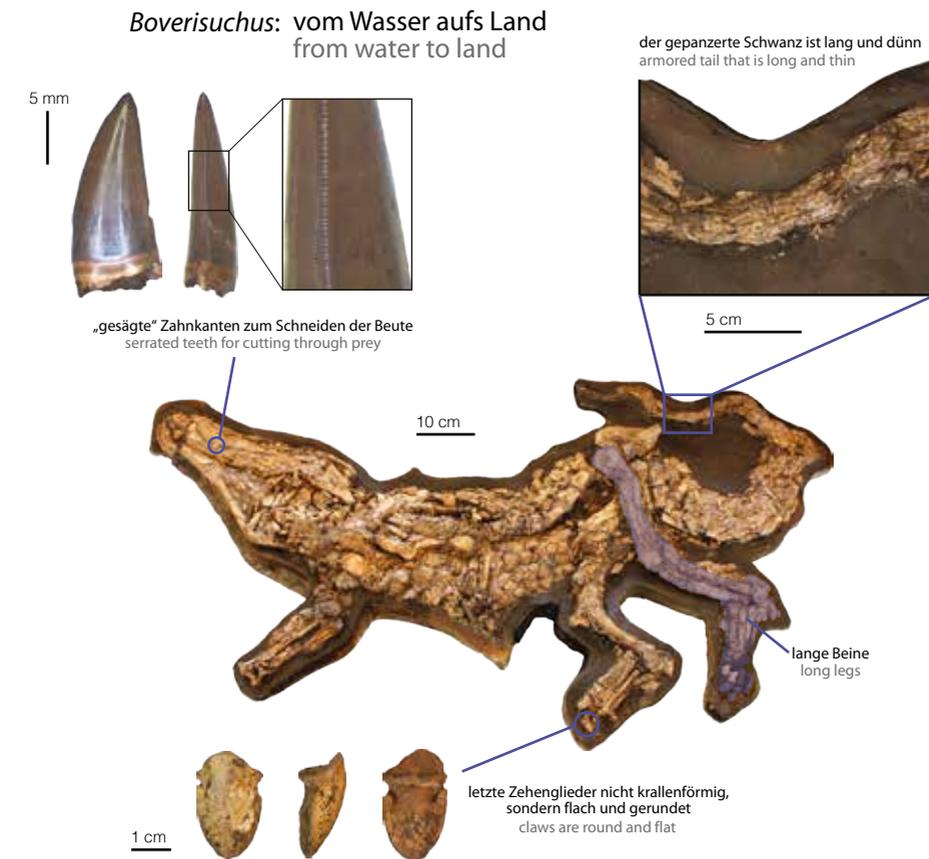
### 3. Geiseltal: Land der Krokodile



Detailansicht des rekonstruierten Schultergürtels des *Boverisuchus*-Skeletts in einem frühen Stadium der Montage. Mehr zum Aufbau und zur Montage, s. Kapitel 7. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltal-sammlung/ZNS.

Close-up view of the shoulder of the *Boverisuchus* skeletal reconstruction, shown here in an early stage of mounting. For more about the construction of this skeleton see Chapter 7. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians



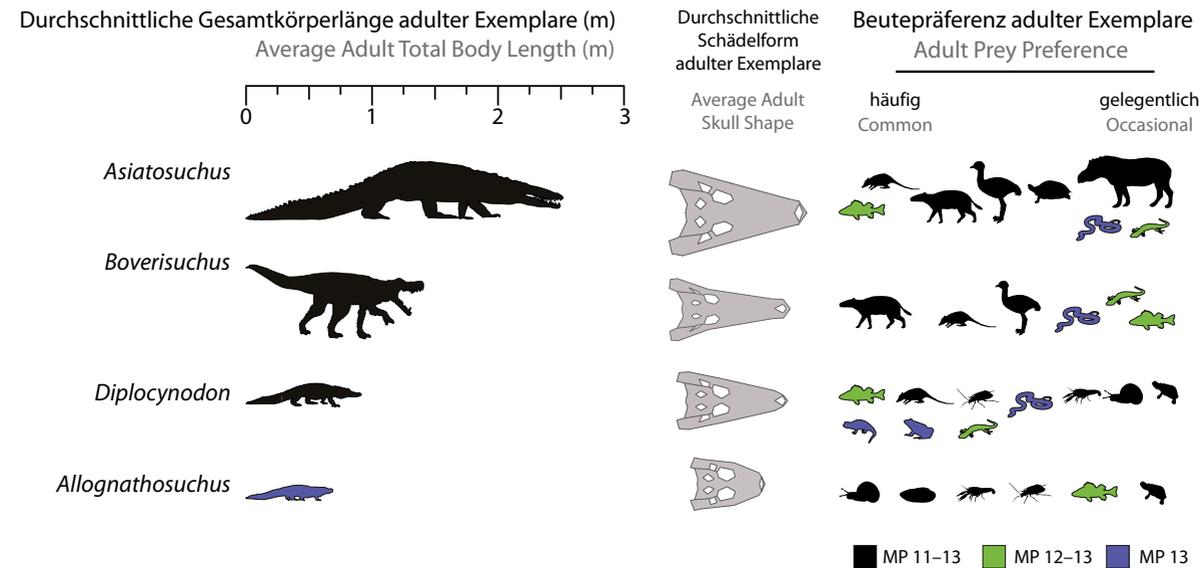
Das Krokodil *Boverisuchus* weist mehrere morphologische Anpassungen auf, die auf ein Leben an Land hinweisen. Die Zähne hatten sägeartig gestaltete Kanten, der Schwanz war reduziert, die Beine waren dagegen vergleichsweise verlängert, die Endphalangen („Klauen“) flacher und abgerundet, ganz im Unterschied zu wasserlebenden Krokodilen. All diese Merkmale waren Anpassungen an ein Leben außerhalb des Wassers und um Beute an Land zu machen. Skelett und Schwanz: GMH Leo X-8001-1938. Zahn: GMH VI-1500-1952. Endphalange/„Klaue“: GMH Leo-3631-1932. Fotos: A. Hastings und M. Hellmund, Archiv Geiseltal-sammlung/ZNS.

The crocodylian from Geiseltal called *Boverisuchus* had multiple adaptations that indicate a terrestrial lifestyle. The teeth were serrated, the tail was very reduced, the legs were relatively longer, and the claws were modified to be flatter and rounder than those of aquatic crocodylians. All of which were likely adaptations for a life out of the water, catching prey or scavenging on land. Skeleton and tail: GMH Leo X-8001-1938. Tooth: GMH VI-1500-1952. Claw: GMH Leo-3631-1932. Photos: A. Hastings and M. Hellmund, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

### 3. Geiseltal: Land der Krokodile

#### Ein weiträumiges Habitat für Krokodile

Das warme und feuchte Klima im Geiseltal während des Eozäns bot den Krokodilen ideale Lebensbedingungen. Sie konnten sich an die entstandenen ökologischen Nischen anpassen und jeweils sehr differenzierte artspezifische Merkmale entwickeln. In heutigen Ökosystemen, in denen nur maximal zwei unterschiedliche Krokodilarten miteinander koexistieren, ist es ebenfalls feucht und warm, d.h. typisch für subtropische und tropische Regionen. Während des Eozäns war das Geiseltal eine subtropische Landschaft, in der es nur sehr selten Frosttemperaturen gegeben hat. Niederschlag fiel dagegen regelmäßig. Die ganz unterschiedlichen Habitate führten also schließlich zu der besonderen Diversifizierung und damit zu den fünf aus dem Geiseltal bekannten Krokodilarten. Die warmen Temperaturen sind für Krokodile von besonderer Bedeutung, da sie zu den ektothermen (wechselwarmen) Tieren zählen. Das bedeutet, dass sie einen gewissen Teil an Energie aus ihrer Umgebung beziehen, einen anderen Teil aus ihrer Nahrung. Wenn die Umgebungstemperaturen hoch sind, dann sind die Krokodile geradezu energiegeladener. Die vielen unterschiedlich großen im Geiseltal lebenden Tierarten boten diesen Räubern ein reichhaltiges Nahrungsspektrum über Jahrtausende. Manche der Krokodile, besonders *Asiatosuchus*, dürften auch junge Individuen anderer Krokodilarten gefressen haben. Aber sie waren keine häufige Beute, zumindest kann das aus Vergleichen mit modernen Krokodilen erschlossen werden.



### 3. Geiseltal: Land of the Crocodylians

#### A Great Habitat for Crocodylians

Evidently, the warm and wet environment of the Eocene, which was many degrees warmer than today, was idyllic for crocodylians at Geiseltal. They were able to adapt and diversify into new ecological niches and coexist. Modern ecosystems where two crocodylian species live together tend to be very wet and warm, typically within tropical regions. During the Eocene, Geiseltal was situated in a subtropical environment, where temperatures would have rarely reached freezing, and precipitation was frequent. These habitats are best for maintaining high reptilian diversity. The warm temperatures in particular are important because crocodylians are ectothermic ("cold-blooded"). This means they need to obtain a certain amount of their energy from their ambient environment, other than just food. They also need a certain temperature in their environment to maintain the temperature of their nests, since they do not brood like modern birds. When temperatures are high, they have more energy and are generally more successful. The many different kinds of animals of all sizes would have provided ample prey for these predators to be very common and for their remains to be found millions of years later. Some of the crocodiles, particularly *Asiatosuchus*, may have eaten the young of other crocodiles, but these were not likely to have been common prey based on diet studies of their modern relatives.



Jede der Krokodilarten weist deutliche Unterschiede hinsichtlich der Körpergröße und der Schädelmorphologie auf. Daraus ergeben sich völlig verschiedene Beutespektren. Aus Vergleichsstudien mit lebenden Krokodilarten lässt sich auf die jeweilig bevorzugten Beutetiere der Geiseltalkrokodile rückschließen. Lediglich *Bergisuchus* kann hier nicht in die Schädelanalyse einbezogen werden, da bislang noch kein Schädel gefunden vorliegt. Eine sichere Aussage über die Art der Beutetiere kann im Geiseltal nur während ganz bestimmter Zeitabschnitte gemacht werden. Das sind diejenigen Braunkohlenflöze, die mit den sogenannten MP Zonen verknüpft sind (für weitere Details s. Kapitel 1). Abbildung: A. Hastings, 2014.

Each of the Geiseltal crocodylian species had important differences in their body size and skull shape that enabled them to catch different kinds of prey. From study of skull shape, body size, and comparison to modern crocodylians, the kinds of prey each fossil crocodylian was adapted for can be estimated at Geiseltal. *Bergisuchus* could not be included in the analysis because a skull of this species has never been found. Certain kinds of prey would have only been available during certain periods of time at Geiseltal. These are color-coded by MP Zone. For more on MP Zones at Geiseltal, see Chapter 1. Illustration: A. Hastings, 2014.

#### 4. Großlaufvogel *Gastornis*: ein Pflanzen- oder ein Fleischfresser?

Im Geiseltal lebte während des Miozäns auch ein flugunfähiger Großlaufvogel, *Gastornis geiselensis*, der die ungefähre Größe eines erwachsenen Menschen erreichte. Knochen von diesem großwüchsigen Tier wurden in mehreren unterschiedlich alten Braunkohlenflözen im Geiseltal gefunden. Das bedeutet, dass er in dieser Gegend über einen Zeitraum von nahezu 3,5 Millionen Jahren präsent war. Eine erdgeschichtlich etwas ältere Art, *Gastornis giganteus*, die aus Nordamerika bekannt geworden ist, war mit etwa zwei Metern Körperhöhe noch etwas größer als diejenige aus dem Geiseltal. Im Geiseltal konnten mindestens neun Individuen von *Gastornis* nachgewiesen werden, das ist sehr viel mehr, als das, was an *Gastornis*-Material in vergleichbaren Fundstellen Europas jemals gefunden wurde. Aufgrund des großen Schnabels und des kraftvollen Unterkiefers haben in der Vergangenheit viele Forscher angenommen, dass dieser massive Vogel ein Fleischfresser war, d. h. entweder ein aktiver Räuber oder ein Aasfresser. Neue diesbezügliche Forschungen zeichnen dazu nun ein ganz anderes Bild.

Skelettrekonstruktion von *Gastornis geiselensis* in einem frühen Stadium der Montage. Mehr zum Aufbau und zur Montage, s. Kapitel 7. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltal-sammlung/ZNS.

Skeletal reconstruction of *Gastornis geiselensis* shown here in an early stage of mounting. For more about the construction of this skeleton see Chapter 7. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

#### 4. Giant Running Bird *Gastornis*: Herbivore or Carnivore?

Walking through the forests and open lands of Geiseltal during the Middle Eocene was a giant flightless bird as tall as a full-grown man, *Gastornis geiselensis*. Bones of this large animal were found from multiple and different aged brown coal layers at Geiseltal, meaning it was present in this area for at least 3.5 million years. A minimum of nine individuals of *Gastornis* has been recovered from Geiseltal, more than any other comparable site in Europe. With a large beak and strong jaw, many researchers have thought in the past that this massive bird was highly carnivorous, either a predator or a scavenger. However, recent discoveries are starting to paint a very different picture.



#### 4. Großlaufvogel *Gastornis*: ein Pflanzen- oder ein Fleischfresser?

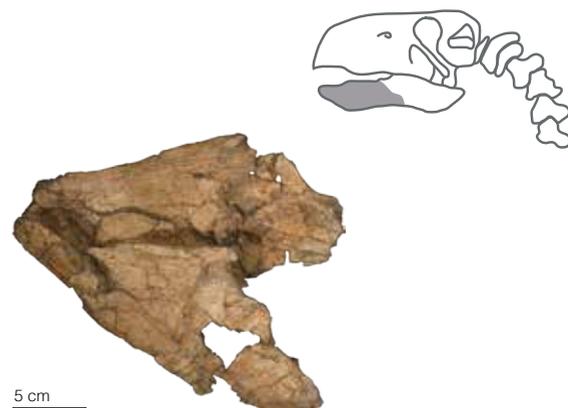
Oberer Teil des Schnabels von *Gastornis* (GMH XLI-200-1968). Grau: erhaltener Teil des Oberkiefers. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

The upper part of the beak of *Gastornis* (GMH XLI-200-1968). Grey: preserved part of the upper jaw. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Starkes Unterkieferfragment von *Gastornis geiselensis* (GMH XIV-4730-1956); es ist durch überlagernde Braunkohlenschichten deformiert worden. Trotzdem sind manche Merkmale dreidimensional überliefert. Grau: erhaltener Teil des Unterkiefers. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Front of the thick lower jaw of *Gastornis geiselensis* (GMH XIV-4730-1956). The bone was compressed from the pressure of the overlying seams of brown coal and is no longer exactly as it would have been in life. Even still, several features are preserved well in three dimensions. Grey: preserved part of the lower jaw. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



#### 4. Giant Running Bird *Gastornis*: Herbivore or Carnivore?



Synsacrum von *Gastornis geiselensis* (von unten fotografiert, GMH XIV-658-1956). Das Synsacrum besteht aus den miteinander verwachsenen Darmbein-, Sitzbein- und Schambeinknochen sowie Beckenwirbeln, zusammen bilden sie das Becken (Pelvis) des Vogels. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Synsacrum of *Gastornis geiselensis* (viewed from below, GMH XIV-658-1956). The synsacrum is essentially the avian pelvis, fusing the ilium, ischium, pubis and pelvic vertebrae together into a single element. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

#### 4. Großlaufvogel *Gastornis*: ein Pflanzen- oder ein Fleischfresser?

War *Gastornis* ein schneller Läufer?

Die Art und Weise, wie die Füße von *Gastornis* gebaut sind, gibt einen Hinweis darauf, wie sich dieser Vogel fortbewegt hat. Landlebende, schnell laufende Vögel wie die heutigen Strauße weisen eine auf zwei reduzierte Zehenzahl pro Fuß auf. Das macht sie in offener Landschaft schneller, da die Berührung mit dem Untergrund verringert wird. Ein vergleichbares Phänomen ist auch im Zusammenhang mit der Evolution der Pferde feststellbar, die zu einem modernen Pferd führt, das den Untergrund beim Laufen nur noch mit je einem Huf (Zehenstrahl) berührt.

Eine solche effektive und schnelle Art der Fortbewegung hatte *Gastornis* offenbar nicht. Stattdessen besaß dieser starke Vogel vier Zehen pro Fuß und jeweils einen kurzen, massiven, robusten und stützenden Knochen, der als Tarsometatarsus bezeichnet wird. Moderne Strauße haben im Unterschied dazu einen schlanken und langen Tarsometatarsus, der die Zehenknochen unterstützt. Diese schlankere Konstruktion ermöglicht ein schnelles, wendiges Laufen. Im Geiseltal lebte auch ein solcher straußenähnlicher Vogel, *Palaeotis weigelti*. Wie bei *Gastornis* fehlt auch ihm der Kiel am Brustbein, den üblicherweise die flugfähigen Vögel haben. Außerdem sind die Knochen des Flügels bei beiden Arten stark reduziert. Obwohl *Palaeotis* mit weniger als einem Meter ein Stück kleiner war als ein moderner Strauß, so war er auf Grund des schlanken, langen Tarsometatarsusknochens schnell unterwegs. Siehe Foto in Kapitel 2. *Gastornis* bewegte sich daher im Unterschied zu *Palaeotis* eher schwerfällig in einer offenen Landschaft bzw. in dschungelartigen Habitaten. *Gastornis* war demzufolge auch kein aktiver Räuber.

Das schwere und massive Femur (Oberschenkelknochen) von *Gastornis geiselensis* (GMH XXXV-481a-1963), links Zeichnung, mittig Vorderansicht eines originalen Exemplars aus dem Geiseltal, rechts dessen Rückseite. Fotos: M. Stache, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

The heavy and robust femur (thigh bone) of *Gastornis geiselensis* (GMH XXXV-481a-1963) from Geiseltal. To the left is a sketch of the front of the femur. The photo on the right shows the back of the same femur. Photos: M. Stache, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



#### 4. Giant Running Bird *Gastornis*: Herbivore or Carnivore?

Was *Gastornis* a fast runner?

Land birds that are quick on their feet, like the modern ostrich, have reduced the number of toes to only two per foot. This helps them run faster across open land by minimizing the point of impact with the ground. A similar case is seen in horse evolution, leading to the modern horse having only one toe on each foot hitting the ground as it runs. Ostriches also have a more slender tarsometatarsus bone that supports the toe bones. These more slender feet allow for quicker turns while moving quickly. Geiseltal was home to a similar bird called *Palaeotis weigelti*. Just like *Gastornis*, the breast bone of *Palaeotis* lacks the strong keel found in flying birds, and the wing is very reduced. Although it was quite a bit smaller than a modern ostrich (less than one meter), it was likely swift because of its long and slender foot bones (see photo in Chap. 2).

However, this efficient running mode is not seen in *Gastornis*. Instead this large bird had four toes as well as a short, thick and robust bone supporting them (the tarsometatarsus). These indicate *Gastornis* was not adapted for running quickly on open landscapes, and was probably not an active predator. *Gastornis* likely lived in the more jungle-like habitats of Geiseltal.

Es handelt sich um den massiven Laufknochen (Tarsometatarsus) von *Gastornis geiselensis* (GMH XLI-200[1]-1968), links von vorne, rechts von hinten, aus dem Geiseltal, der den langen Beinknochen (Tibiotarsus) mit den Phalangenknochen (Zehenglieder) verbindet. Fotos: M. Stache, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

The very thick and sturdy tarsometatarsus (connects to the bones of the feet) of *Gastornis geiselensis* (GMH XLI-200[1]-1968) from Geiseltal. Photos show the front (left) and back (right) of the same bone. Photos: M. Stache; Geiseltal Collection Archive/ZNS.



#### 4. Großlaufvogel *Gastornis*: ein Pflanzen- oder ein Fleischfresser?

##### Der nordamerikanische Verwandte von *Gastornis*

*Gastornis geiselensis* ist in Europa lediglich aus zwei mitteleozänen Fundstellen, dem Geiseltal und der Grube Messel, bekannt geworden. Es gibt jedoch noch einen nahen Verwandten aus dem unteren Eozän Nordamerikas. Die nordamerikanische Art trägt aktuell den Namen *Gastornis giganteus*, man findet in der älteren Literatur aber noch die früher gültige Bezeichnung *Diatryma gigantea*. Beide Arten sind eng miteinander verwandt und sie hatten während des Eozäns offensichtlich eine weite Verbreitung. Die nordamerikanische Art ist etwas robuster, schwerer und größer als diejenige aus dem Geiseltal. Die entsprechenden Knochenfunde stammen überwiegend aus dem heutigen Bundesstaat Wyoming, im Westen der USA.

##### Rückschlüsse auf die Nahrung von *Gastornis* an Hand von Kalzium-Isotopen

Ein Team von Forschern hat die bislang kontroverse Auffassung hinsichtlich der Ernährung von *Gastornis* nun deutlich voran gebracht. Chemische Elemente und ihre Isotope, die ein Wirbeltier mit seiner Nahrung aufnimmt, lagern sich in dessen Knochen ein und erlauben so Rückschlüsse auf dessen Ernährungsweise. Der Gehalt an leichten Kalzium-Isotopen ( $^{42}\text{Ca}$ ) in den Knochen fleischfressender Tiere ist systematisch höher als in denjenigen pflanzenfressender Tiere. Um zu klären, wovon sich *Gastornis* ernährt, wurden Kalzium-Isotopenanalysen an Knochen von *Gastornis geiselensis*, sowie an weiteren gut bekannten Pflanzen- und Fleischfressern aus dem Geiseltal am Max-Planck-Institut (MPI) für Chemie in Mainz durchgeführt. Zu Vergleichszwecken wurden auch Knochen ausgewählter lebender Tierarten mit gut bekannter Ernährungsweise analysiert, insbesondere von großen Lauf- und Greifvögeln. Das Resultat zeigt deutlich, dass sich *Gastornis geiselensis* vorrangig von Pflanzen ernährt hat und nicht von Wirbeltieren, da seine Kalzium-Isotopenwerte im Bereich der Pflanzen- und nicht bei den Fleischfressern liegen. Besonders bemerkenswert ist, dass die Kalzium-Isotopenanalysen an Knochen des nordamerikanischen Vertreters, *Gastornis giganteus*, vergleichbare Resultate geliefert haben und das, obwohl die beiden Arten aus verschiedenen alten Fundstellen stammen und auf unterschiedlichen Kontinenten gelebt haben. Die Methode der Kalzium-Isotopenanalyse ist der Schlüssel zur Ermittlung von Ernährungsweisen fossiler ausgestorbener Wirbeltiere.

#### 4. Giant Running Bird *Gastornis*: Herbivore or Carnivore?

##### The North American cousin

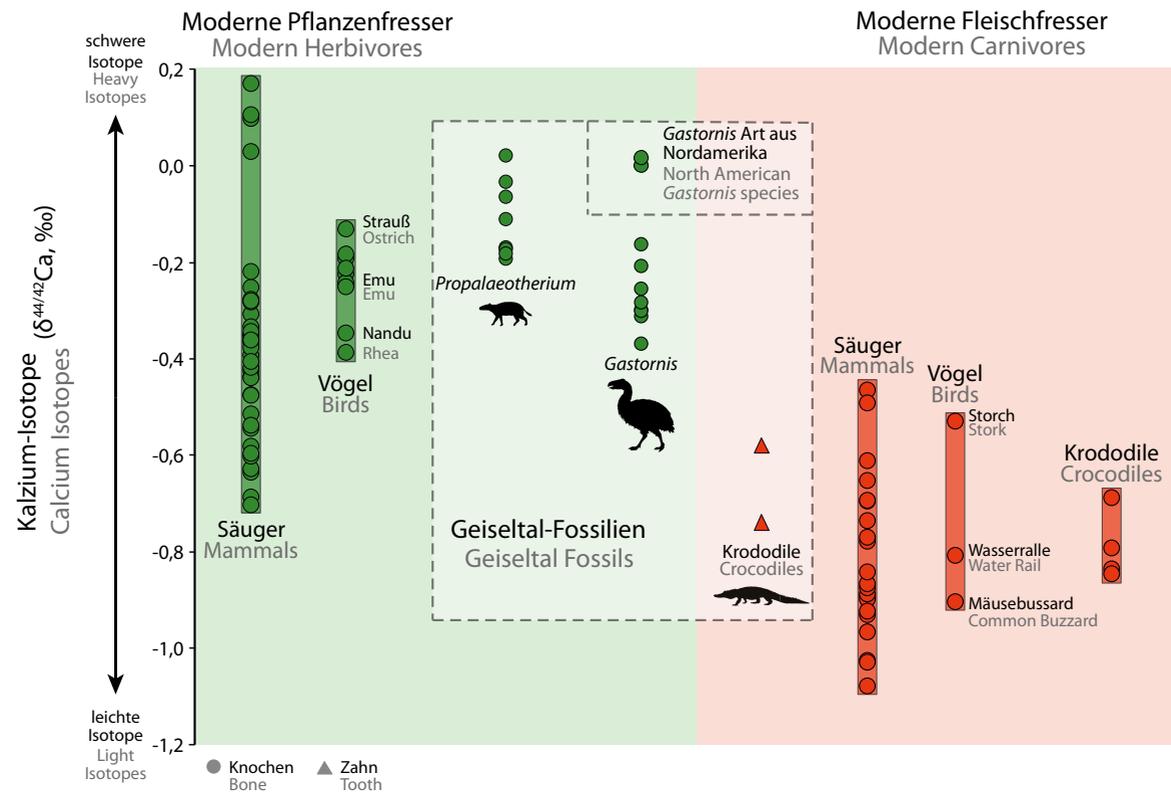
*Gastornis geiselensis* has been found at only two Middle Eocene sites in Europe, Geiseltal and Messel, but a close relative is also known from the lower Eocene of North America. The North American *Gastornis* has been given its own species name, *Gastornis giganteus*. The former valid name of this species was *Diatryma gigantea*, which was used in some older references. Regardless, the European and North American species were very closely related and show that this group of birds was widespread during the Eocene. The North American species is a bit more robust, heavy, and a little taller. Bones of these species are known primarily from what is known today as Wyoming, in the western United States.

##### Reconstructing diet of *Gastornis* using calcium-isotopes

A team of researchers has taken the study of the diet of *Gastornis* one step further. What an animal regularly eats is recorded in the calcium of its bones. Calcium has several different isotopes that are stable in the natural world. Isotopes are variations in weight within the same element, namely those that have a different number of neutrons in the atom. Within bone, one common isotope has 42 neutrons per calcium atom ( $^{42}\text{Ca}$ ), but some calcium is heavier, having 44 neutrons ( $^{44}\text{Ca}$ ). Bones of herbivores and carnivores build up different amounts of these two calcium isotopes because of what they eat.

This research team (including Dr. Meinolf Hellmund of the Geiseltal Collection) sampled bones from *Gastornis*, known herbivores, and known carnivores at Geiseltal in order to discover what the giant bird was eating. The researchers also sampled bones of several modern animals to get a larger comparison. For a point of comparison, the team further sampled bones of the North American species. The result showed clear indication that *Gastornis* was feeding primarily from plants, not meat. Interestingly, *Gastornis geiselensis* at Geiseltal and its relative in North America, *G. giganteus*, both clearly indicate a diet of plants, although they lived on different continents during different geological ages. Calcium isotope analysis is a useful method for estimating past diet in the fossil record.

#### 4. Großlaufvogel *Gastornis*: ein Pflanzen- oder ein Fleischfresser?



#### Erfolg durch Körpergröße, nicht durch räuberisches Verhalten

Obwohl *Gastornis* bei weitem eines der größten Tiere im Ökosystem Geiseltal war, stand er nicht in einem Nahrungswettbewerb mit den fleischfressenden Krokodilen. Stattdessen war er weitestgehend an eine mehr oder weniger terrestrische Lebensweise angepasst, bei der er sich von unterschiedlichen Pflanzen ernährt hat. Der Grund für seine besondere Größe lag ganz einfach darin, selbst nicht zur Beute zu werden. Es war für Fleischfresser einschließlich des Krokodils *Boverisuchus* zu schwierig, ein erwachsenes Individuum von *Gastornis* zu erbeuten. Für *Gastornis* war Größe gleichbedeutend mit eigener Sicherheit.

#### 4. Giant Running Bird *Gastornis*: Herbivore or Carnivore?

Kalzium-Isotopenzusammensetzungen von Knochen und Zähnen heutiger und fossiler Tiere zur Ermittlung der Nahrung des Großlaufvogels *Gastornis*. Die Kalzium-Isotopenwerte von *Gastornis* sind denjenigen moderner herbivorer Vögel und dem ebenfalls herbivoren Pferd *Propalaeotherium* ähnlich, aber viel höher als diejenigen von Fleischfressern. Die Daten stammen von Tütken, Held, Hellmund und Galer, Publikation in Vorbereitung [siehe Literaturliste].

Calcium isotope compositions of bones and teeth measured for modern and fossil animals used to determine the diet of the giant bird *Gastornis*. The calcium isotope values of *Gastornis* are similar to those of modern herbivorous birds and another fossil herbivorous mammal (the horse *Propalaeotherium*) also from Geiseltal but much higher than values for carnivorous vertebrates. Data were assembled by Tütken, Held, Hellmund, and Galer from their article under preparation [see References].

#### Success through size, not predation

Even though *Gastornis* was one of the tallest animals in the Geiseltal ecosystem, it was not competition for the carnivorous crocodylians. Instead, *Gastornis* was well adapted for a fully terrestrial lifestyle, likely consuming a wide variety of plants. The reason for its very large size may have been simply to avoid predation. A full-grown healthy adult *Gastornis* would have been too difficult for any of the carnivores of Geiseltal to prey upon, including *Boverisuchus*. In the case of *Gastornis*, big size likely meant safety.

## 5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal

Unter den fossilen Säugetieren des Geiseltales sind die Belege für die Pferde am zahlreichsten. Diese Pferde waren viel kleiner als die heutigen Pferde, wir beziehen uns hier nur auf die beiden Gattungen *Propalaeotherium* und *Eurohippus*. Eine der größten Arten unter den kleinen Pferden heißt *Propalaeotherium hassiacum*, eine dreidimensionale Rekonstruktion eines weiblichen Individuums in natürlicher Größe ist nachfolgend dargestellt. Die Schulterhöhe beträgt nur 40 cm; es ist also ungefähr so groß wie ein deutscher Schäferhund. Aufgrund der zahlreichen Fossilfunde liegen sogar Informationen zur Paläobiologie der Pferde vor.



Schädel und Teilskelett des mittelgroßen Pferdes *Propalaeotherium voighti* (GMH XXXVII-135-1964). Das Tier war bei seinem Tod noch nicht vollends ausgewachsen, es hat zum Teil noch Milchzähne im Gebiss. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

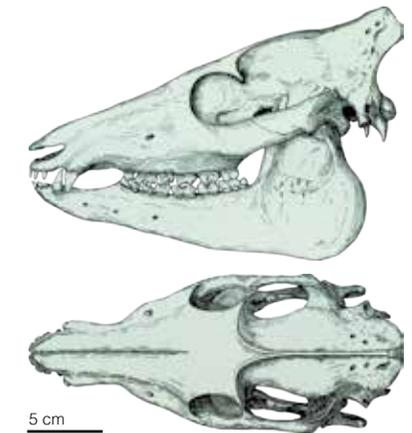
Skull and partial skeleton of the middle-sized horse *Propalaeotherium voighti* (GMH XXXVII-135-1964). Because it did not yet have its adult teeth, we know this individual was a juvenile. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 5. The Small Horses of Geiseltal

Horses are the most common fossil mammal at Geiseltal. These primitive horses were much smaller than their modern relatives, which are best represented by two different genera, *Propalaeotherium* and *Eurohippus*. One of the largest of these small horses, *Propalaeotherium hassiacum*, is shown later in this chapter in natural size as a three-dimensionally reconstructed adult female skeleton, standing at only 40 cm at the shoulder (roughly the size of a German Shepherd). Given how abundant the fossil horses are at Geiseltal, much is known about their paleobiology.

Rekonstruktion des Schädels und des Unterkiefers in Okklusion, seitlich von links (oben) einer Stute von *Propalaeotherium hassiacum*, erstellt auf der Basis einiger fragmentarischer Objekte aus der Geiseltalsammlung. Aufsicht auf das Schädeldach (unten). Zeichnungen aus Hellmund & Koehn 2000, vgl. Literaturauswahl.

Reconstruction of the skull and lower jaw of a female *Propalaeotherium hassiacum*, compiled from several fragmentary fossil specimens from the Geiseltal Collection. Skull and jaw are drawn together, as viewed from the left side (top) and from above (bottom). Illustrations from Hellmund & Koehn 2000, see References.



Schädel der kleinsten Pferdeart aus dem eozänen Geiseltal *Eurohippus parvulus* (früher *Propalaeotherium parvulum*): Schädelansicht (oben), Gaumenansicht mit den Zähnen (unten) (GMH XIV-4174-1956). Fotos: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Skull of the smallest species of Eocene Geiseltal horse, *Eurohippus parvulus* (formerly called *Propalaeotherium parvulum*). The skull here is shown in above view, showing the top of the skull, and below view, showing the palate and teeth (GMH XIV-4174-1956). Photos: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal

### Die richtigen Füße für den Lebensraum Geiseltal

Moderne Pferde laufen auf einem einzigen Zehenstrahl (Huf) je Extremität. Die Geiseltalpferde dagegen besaßen je vier Strahlen an den Vorderextremitäten und je drei an den hinteren. Ihre Fortbewegung war deshalb insgesamt langsamer, aber dafür auch stabiler. Anstatt offene Landschaften zu bewohnen, hielten sich die Geiseltalpferde eher in waldartigen Biotopen und in Dickicht-Zonen auf und nur gelegentlich in sumpfigem Gelände. Die Geiseltalpferde sind, was deren Körperform und Lebensweise angeht, den Zebraduckern, *Cephalophus zebra*, d. h. afrikanischen Paarhufern aus der Gruppe der rinderartigen Säugetiere, am ähnlichsten. Sowohl die Geiseltalpferde als auch die Ducker haben einen schlanken Körper mit einem stark gebogenen Rücken, der im hinteren Teil etwas erhöht ist. Der Hals ist kurz und der Brustkorb keilförmig, eine Konstruktion, die hervorragend dazu geeignet ist, um sich in dichtem Dschungel fortzubewegen. Die Zebraducker und die Geiseltalpferde sind nicht miteinander verwandt, sie weisen aber bemerkenswerte Übereinstimmungen in ihren Körperformen auf. Das lässt sich mit ähnlichen Lebensräumen und vergleichbaren Bedürfnissen erklären.

Das synoptische Aquarell zeigt einen mitteleozänen Lebensraum im Geiseltal. Eine Herde von *Propalaeotherium hassiacum* hat sich in dschungelartiger Umgebung an einem Wasserloch versammelt. Der Mittelgrund ist von Palmen und Farnen bestimmt, während im Vordergrund Atemkniee von großen Taxodien (Sumpfzypressen) zu sehen sind, deren zugehörige Stämme weiter im Hintergrund wachsen. Die tatsächliche Fellfarbe der Pferde bzw. dessen Muster ist bislang noch unbekannt; sie wurde vorläufig vom lebenden afrikanischen Zebraducker übernommen, der ein vergleichbares Habitat wie die *Propalaeotherien* bewohnt. Das Originalaquarell fertigte P. Major an, s. Hellmund 2005, Literaturauswahl.

Reconstruction of a small herd of the early horse *Propalaeotherium hassiacum* in the Middle Eocene habitat of Geiseltal. The herd is shown drinking water at the edge of a sinkhole, in a forest dominated by palm trees and ferns. In the foreground are 'knees' of the tree *Taxodium*, with their trunks appearing in the background. The color and design of the horses are modeled after the banded duiker of Africa, which has a similar lifestyle and habitat as the extinct horse. The original water color was done by P. Major, see Hellmund 2005 in the Reference section.

## 5. The Small Horses of Geiseltal

### The right feet for the right habitat

Modern horses run on a single toe on each foot, which is surrounded by keratin (same material as finger nails) forming a hoof. However, the early horses of Geiseltal had four front toes and three back toes, giving them a slower, but more stable running step. Instead of roaming wide-open plains, the horses of Geiseltal likely lived more in forests, thickets, and only occasionally in swampy areas. The more stable stance of the small horses may have helped them manage on the soft ground surrounding water sources at Geiseltal.

The most similar modern comparison of the early horses of Geiseltal is the living species called the banded duiker (*Cephalophus zebra*), a small hoofed mammal that lives in thick jungles of Africa. Both the duiker and the Geiseltal horses had a small body, with a curved back and elevated hindquarters. The neck is short and the chest is wedge-shaped. Such a body is well-adapted to move quickly in dense vegetation. Although the duiker is more closely related to cows than to horses, their living habitat is very similar.



## 5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal

### Fossiler Magen-Darminhalt

Ein bemerkenswerter Fund eines fossilen Pferdes, *Propalaeotherium isselanum*, kam im Jahre 1933 ans Licht (GMH Ce IV-7011-1933). Damals war auch eine Probe aus dem erhaltenen Magen-Darmtrakt entnommen worden, die erst jüngst mit modernen Untersuchungstechniken am Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt (Main), analysiert worden ist. Diese seltene und aufregende Gelegenheit wurde im Jahre 2009 zu einer detaillierten Studie genutzt, die Näheres über die Nahrung dieses ausgestorbenen Pferdes erbringen sollte. So konnten zahlreiche fossile Pollenkörner und zerkaute Blätter identifiziert werden, die belegen, dass sich diese Tiere bevorzugt von weicher Blattnahrung und von Blüten ernährt haben, ganz im Unterschied zur Grasnahrung, die heute lebende Pferde konsumieren. Einige der Blattreste konnten tropischen Mistelgewächsen zugeordnet werden, andere und auch die meisten der Pollenkörner den Erikagewächsen. Insgesamt handelt es sich also um Pflanzen aus dem Unterholz im Geiseltal. Die Identifizierung war nur aufgrund der guten Überlieferung von Zellstrukturen und von Spaltöffnungen möglich. Letztere dienen der Regelung des Wasserhaushaltes (Transpiration) einer Pflanze. Dass diese Pferde bevorzugt Blattnahrung konsumierten, ist auch an der Morphologie ihrer Zähne ablesbar, die sich besonders zum Zerschneiden von Blättern eignen. Ohne die Weitsicht der Ausgräber während der frühen 1930er Jahren wäre uns der Einblick in die Ernährungsgewohnheiten der Geiseltalperde nicht möglich gewesen.

Ausgrabung des Urpferdskelettes, *Propalaeotherium isselanum* (GMH Ce IV-7011-1933) im Geiseltal im Jahre 1933. Foto: Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Excavation of the skeleton of the primitive horse *Propalaeotherium isselanum* (GMH Ce IV-7011-1933) at Geiseltal in 1933. Photo: Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 5. The Small Horses of Geiseltal

### Fossilized stomach contents

A remarkable specimen of the fossil horse *Propalaeotherium isselanum* was collected in 1933 (GMH Ce IV-7011-1933). A sample from the stomach of this former horse was collected, but was only recently analyzed with modern techniques. Excited by the opportunity to reconstruct diet in the extinct horse, researchers conducted a close study of the fossil stomach content in 2009. They found that the material had preserved a rich amount of fossil pollen and chewed leaves, showing that these animals ate soft leaves and flowers, rather than grasses like modern horses consume. Some of the leaves belonged to a form of mistletoe. The other leaves, as well as the pollen, came from a flowering shrub, showing *Propalaeotherium* was eating the soft plants of the Geiseltal forest understory. The leaves could be identified because of the incredible preservation of the cell structure and stomata, which are small organs used by the plant in respiration. The more leafy diet is also shown by the teeth of the Geiseltal horses, which are made for shearing soft foliage instead of grinding hard grasses, which had not evolved yet. Without the foresight of the excavators in the 1930s to collect this material, knowledge of the last meal of this fossil horse would have never been known.



## 5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal

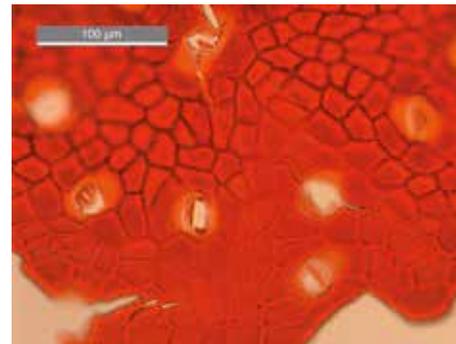
Originales Probenröhrchen, Korkverschluss, Etikett und Probe vom Magen-Darmtrakt des „großen“ Pferdes *Propalaeotherium isselanum* (GMH Ce IV-7011a-1933). Hiervon wurde eine kleine Menge zur Analyse entnommen. Foto: M. Stache, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Original vial, cork stopper, label and material collected from the stomach region of the fossil skeleton of the horse *Propalaeotherium isselanum* (GMH Ce IV-7011a-1933). Sections were taken from this sample and analyzed for content. Photo: M. Stache, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Vergrößertes fossiles Blattfragment aus dem Magen-Darmtrakt des „großen“ Pferdes *Propalaeotherium isselanum* aus dem Geiseltal. Der rote Farbstoff macht die Zellstrukturen deutlicher sichtbar. Foto: V. Wilde & M. Hellmund 2010, siehe Literaturauswahl.

Magnification of a fossil leaf recovered from the stomach of a horse skeleton *Propalaeotherium isselanum* at Geiseltal. The red color is the result of a stain used to make features of the leaf more visible, such as the stomata. Photo: V. Wilde & M. Hellmund 2010, see References.



Vergrößertes fossiles Pollenkorn eines Ericaceengewächses aus dem Magen-Darmtrakt eines Pferdes aus dem Geiseltal. Die Einfärbung lässt die morphologischen Merkmale deutlicher hervortreten. Foto: V. Wilde & M. Hellmund 2010, siehe Literaturauswahl.

Magnification of a fossil pollen grain (Ericaceae) recovered from the stomach of a horse skeleton at Geiseltal. The blue color is the result of a stain used to make features of the pollen grain more visible. Photo: V. Wilde & M. Hellmund 2010, see References.



## 5. The Small Horses of Geiseltal

Linker Unterkieferast der kleinsten Pferdeart *Eurohippus parvulus* (früher *Propalaeotherium parvulum*) im Geiseltal. Die Bezahnung ist hier besonders gut erhalten (GMH XIV-2665-1954). Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Left lower jaw of the smallest species of Eocene Geiseltal horse, *Eurohippus parvulus* (formerly called *Propalaeotherium parvulum*). This fossil jaw shows great preservation of the lower teeth (GMH XIV-2665-1954). Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



5 cm



1 cm

Unterkiefer der kleinsten Urpferdart aus dem eozänen Geiseltal, *Eurohippus parvulus* (früher *Propalaeotherium parvulum*). Das Foto in der Queransicht zeigt die dreidimensionale Überlieferung beider Kieferhälften und die perfekte Erhaltung der Zähne (GMH XIV-1670-1955). Die Zähne sind bestens dazu geeignet, Blätter und anderes, weiches Pflanzenmaterial zu zerschneiden. Foto: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Lower jaw of the smallest species of Eocene Geiseltal horse, *Eurohippus parvulus* (formerly called *Propalaeotherium parvulum*). This fossil is shown in an above oblique view to see the three-dimensional preservation of both sides of the jaw including great preservation of the teeth (GMH XIV-1670-1955). The teeth shown here are adapted well for shearing leaves and other soft plant material. Photo: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal

### Zur Herstellung der Skelettrekonstruktion

Dank der großen Zahl an gut erhaltenen Pferdefossilien aus dem Geiseltal war es möglich, eine dreidimensionale Skelettrekonstruktion zu erstellen. Es wurde Material von einer der beiden großen ausgestorbenen Pferdearten, d. h. von *Propalaeotherium hassiacum*, dazu ausgewählt. Bei der ausgestellten Rekonstruktion, die eine möglichst exakte Wiedergabe des Skelettes zum Ziel hat, handelt es sich um eine ausgewachsene Stute. Deren Schulterhöhe beträgt ca. 40 cm, die Körperlänge 90 cm. Insgesamt sind an der Rekonstruktion etwa 200 Einzelknochen beteiligt, die von einer Vielzahl verschiedener Individuen stammen. Von diesen Knochen wurden jeweils Abgüsse hergestellt, die dann entsprechend ihrer Position am Skelett montiert wurden. Sofern Knochen nur von einer Körperseite vorlagen, wurden entsprechende Spiegelbilder hergestellt. Manche nur unzureichend erhaltene Knochen mussten sorgsam ergänzt werden. Um Lücken fehlender Knochelemente zu schließen, wurde in Einzelfällen auch entsprechendes Material von der Grube Messel mit einbezogen. Die definitive Körperhaltung ergab sich schließlich auf Grund der miteinander agierenden bzw. artikulierenden Gelenke und aus der Untersuchung artikulierter oder teilweise artikulierter Pferdeskelette; schließlich auch noch aus Vergleichen mit dem lebenden afrikanischen Zebraducker, der auf Grund seiner den eozänen Geiseltalpferden ähnlichen Lebensweise auch einen diesen Pferden vergleichbaren Habitus aufweist. Das rekonstruierte Skelett ist in einer dynamischen Position aufgestellt, so als würde es sich gerade in Bewegung setzen.

### Bescheidener Anfang der Pferdeentwicklung

Über viele Jahrtausende und unzählige Generationen hinweg entwickelten sich die Pferde von hundegroßen Urwaldbewohnern, wie diejenigen im Geiseltal, zu großen Herdentieren offener Landschaften. Eine der frühesten Form der Extremitätenausprägung ist diejenige bei *Propalaeotherium*, die sich mit der Zeit stark verändert und die Tiere zum schnellen Laufen befähigt hat. Ihre Größenzunahme hat die Pferde davor beschützt, zur Beute von großen Raubtieren zu werden. Jedoch zu Zeiten des eozänen Geiseltales waren die kleinen Pferde die passende Beute für das Krokodil *Boverisuchus*.

## 5. The Small Horses of Geiseltal

### Building the skeletal reconstruction

Thanks to the very large number of well-preserved horse fossils collected at Geiseltal, it was possible to reconstruct the skeleton of this once common extinct animal. It was chosen to assemble an adult female skeleton of *Propalaeotherium hassiacum*, one of the largest of the horses at Geiseltal during the Eocene. The aim was to create an accurate-as-possible reconstruction of the skeleton of this animal. In all, the animal measured 40 cm tall at the shoulder and a body length of 90 cm. The reconstructed skeleton consists of 200 independently formed bones, using several individuals as a basis. Original fossil bones were molded and casted with brown epoxy resin, and then shaped to match the anatomy of the original. In many cases where a bone was preserved only from one side, mirror images had to be created to fill in gaps. Also, several fragmented bones needed to be restored to their original shape and structure as accurately as possible. Additional fossils were studied from the Messel fossil site, to help supplement missing pieces from the Geiseltal Collection. The reconstructed posture of the animal was determined based on bone articulation joints, the preservation of articulated skeletons of other fossil horses, and from the most similar living mammal, the zebra duiker of Africa. In the end, the skeleton reflects the posture of an animal about to move, in order to preserve a dynamic pose for the extinct horse.

### Humble Beginnings for Horse Evolution

Over the course of millions of years and countless generations, horses went from dog-sized forest dwellers like those at Geiseltal, to large animals roaming open plains in big herds. The early form of hoof found in horses like *Propalaeotherium* greatly modified over time to run quickly over open landscapes. By getting larger, they also avoided being common prey to large predators. However, at the time of Geiseltal, they would have been an appropriate prey for the land crocodile, *Boverisuchus*. Despite the challenges, these early horses helped pave the way for the evolutionary success of their lineage.

## 5. Die kleinen Pferde aus dem Geiseltal

Kopie eines Schädels (Aufsicht) von *Propalaeotherium hassiacum* aus Epoxidharz, der hintere Teil der Nasenbeine, die Stirnbeine und die Scheitelbeine bestehen aus weißer Modelliermasse. Beim vordersten Teil der Nasenbeine und beim vorderen Teil der Scheitelbeine handelt es sich um Originalknochen. Länge von der Schnauzenspitze bis zum Hinterhaupt ca. 24 cm. Foto: M. Hellmund 1999, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Restored skull of *Propalaeotherium hassiacum*, with epoxy resin (white) filling in the missing portions of the original fossil (brown). Skull is shown from above (top) and from below (bottom), looking at the upper teeth. Overall length of the skull is ca. 24 cm. Photo: M. Hellmund 1999, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Zweiter Halswirbel (Epistropheus = Axis) von *Propalaeotherium hassiacum*, rekonstruiert aus zwei originalen Knochenfragmenten (braun) und Modelliermasse (weiß), als Beispiel für die traditionelle Arbeitsweise, lateral von links. Herstellung: M. Stache. Foto: M. Hellmund 1999, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

An example of the traditional method of work used for the skeletal reconstruction of *Propalaeotherium hassiacum*, the second neck vertebra (Epistropheus = Axis) from the left side. This bone was reconstructed from two original fossil fragments (brown) and modelling clay (white). The vertebra was reconstructed by M. Stache. Photo: M. Hellmund, 1999, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 5. The Small Horses of Geiseltal



Dreidimensionale Rekonstruktion des Skelettes von *Propalaeotherium hassiacum*, aus Epoxidharz, einem Metallstützrohr unter dem vorderen Teil des Brustkorbes und einem durch die Wirbelkörper geführten Gewindestab, Länge des Skelettes ca. 90 cm (nach Hellmund & Koehn 2000). Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Three dimensionally reconstructed skeleton of *Propalaeotherium hassiacum*, made of epoxy resin, and mounted on metal supports. The length of the skeleton is ca. 90 cm. For more on this reconstruction see Hellmund & Koehn (2000) in the references section. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 6. Mini-Dioramen

Es wurden drei Mini-Dioramen aufgebaut, die Lebendrekonstruktionen von Tieren zeigen, die im vorliegenden Begleitband näher behandelt worden sind.

### *Asiatosuchus*, ganz nahe

Das erste „Mini-Diorama“ zeigt die große Schnauzenspitze von *Asiatosuchus*, dem größten Krokodil im Geiseltal. Die Schnauze ist so dargestellt, dass das Wasser eindringen kann, die Nasenlöcher aber zum Atmen herausragen. *Asiatosuchus* hat so am Rand von Gewässern gelauert, um seine Beutetiere anzugreifen. Er war mit Abstand der größte Räuber im eozänen Geiseltal. Der Anblick der Schnauze war für viele Tiere wohl das letzte, was sie noch wahrgenommen haben, bevor sie gefressen wurden.

### Ein riesiger Fuß von einem riesigen Vogel

Beim Blick in dieses Mini-Diorama bekommt der Besucher einen Eindruck davon, was er gesehen hätte, wenn er auf den Fuß von *Gastornis* geblickt hätte, als dieser über ihm stand. Er sieht einen starken, mit hornigen Schuppen ausgestatteten Fuß, der den laubbedeckten Waldboden niedergetreten hat. Die Füße von *Gastornis* waren vergleichsweise groß, hatten abgespreizte Zehen, die das schwere Körpergewicht auf weichem Untergrund tragen konnten.

### Anblick eines kleinen Pferdes

Die frühen Pferde aus dem Geiseltal waren viel kleiner als die Pferde, die wir heutzutage kennen. In diesem Mini-Diorama ist das kleine Pferd *Propalaeotherium voighti* in der Nähe eines Koniferenstammes zu sehen. Das entsprechende Skelett von *P. voighti* ist in Kapitel 5 abgebildet. Die auseinander gespreizten Zehen haben die Fortbewegung auf weichem Untergrund erst ermöglicht und unterstützt. Im Hintergrund ist ein Video zu sehen, das *Propalaeotherium* im eozänen Urwald des Geiseltales zeigt.

*Asiatosuchus*, Mini-Diorama, hergestellt von M. Stache (rechts). Links Krokodilspezialist Dr. Alexander K. Hastings. Fotos: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.



## 6. Mini-Dioramas

Three mini-dioramas have been created to show life-sized reconstructions of the featured animals of the catalogue.

### *Asiatosuchus*, Up Close

The first mini-diorama shows the front end of the enormous snout of *Asiatosuchus*, the largest crocodylian found at Geiseltal. The snout is shown as if it were floating in water, with the nostril just above so it could breathe. *Asiatosuchus* would have often floated like this near the edge of the water while it lay in wait for an animal to come near before attacking. *Asiatosuchus* was by far the largest predator during the Eocene at Geiseltal and would have dominated many of the larger bodies of water. This view may well have been the last thing an animal saw before being eaten by *Asiatosuchus*.

### A giant foot for a giant bird

This mini-diorama shows viewers what they would have seen when looking down at the foot of the giant bird *Gastornis*, while it stood over them. The viewer sees a large, scaly foot tramped down on the leaf-covered forest floor, found in some habitats at Geiseltal during the Eocene. The feet of *Gastornis* were relatively big and wide, with toes spread out, making it more effective at supporting its heavy weight on the soft ground.

### The view for a tiny horse

The early horses of Geiseltal were all much smaller than the horses we are used to seeing today. Shown in this mini-diorama is the small horse *Propalaeotherium voighti* next to a large conifer tree. For a photo of the skeleton of *P. voighti*, see Chapter 5. The wide toes of the horse would have helped on the soft, leafy soil of its Geiseltal habitat. Shown on the back of this display is a stop-motion video of a *Propalaeotherium* walking through the forest during the Eocene at Geiseltal.

*Gastornis* und *Propalaeotherium*, Mini-Dioramen, hergestellt von M. Stache (nach P. Mildner). Fotos: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.



*Gastornis* and *Propalaeotherium*, Mini-Dioramas, created by M. Stache (after P. Mildner). Photos: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen

Die Mitarbeiter der Geiseltalsammlung haben völlig neue Rekonstruktionen sowohl des landlebenden Krokodils *Boverisuchus* als auch des Großlaufvogels *Gastornis* erarbeitet. Für beide Projekte gilt, dass sie dreidimensional und in natürlicher Größe ausgeführt und gezeigt werden. Für das *Boverisuchus*-Skelett ist es überhaupt zum ersten Mal gemacht worden und für *Gastornis* ist neu, dass erstmalig ein europäischer Vertreter der Gattung *Gastornis* in Form eines montierten Skelettes präsentiert wird. Im Folgenden wird der lange Herstellungsprozess (nach M. Stache, Manuskript in Vorbereitung, „Rapid Prototyping in der Präparation“ (2015)) erläutert, den ein solches Forschungsvorhaben, das höchsten wissenschaftlichen Anforderungen genügen muss, umfasst.

### Zusammenstellung des benötigten Knochenmaterials

Zunächst wurde die Geiseltalsammlung auf die zu rekonstruierenden Tiere und deren diesbezüglich potentiell vorhandenes Knochenmaterial hin durchsucht. Von *Boverisuchus* gab es mehrere Objekte, wobei das mit Abstand vollständigste Exemplar ein großes zusammenhängendes Skelett ist, das in Kapitel 3 abgebildet ist (GMH Leo X- 8001-1938). Als es in den 1930er Jahren ausgegraben und anschließend geborgen wurde, ist es zur Stabilisierung teilweise in Paraffin eingebettet worden. Man wollte auf diese Weise auch den originär aufgefundenen Skelettverband und die Lage der Knochen zueinander unverändert bewahren. Obwohl das Objekt so vollständig erhalten ist, war ein direktes Scannen der Knochen nur eingeschränkt möglich. Es wurden also stattdessen einzelne Knochen gebraucht. Zu diesem Zweck wurden weniger vollständige Individuen von *Boverisuchus* genommen, die frei von Paraffin waren. So konnten die wichtigsten Skelettpositionen, wie der Schädel, der Unterkiefer und die Extremitäten zusammengestellt werden. Die Knochen von *Gastornis* konnten ohne Einbettung in Paraffin geborgen werden. Es sind allerdings keine weitgehend zusammenhängenden Skelette von diesem Laufvogel überliefert, wie dies für *Boverisuchus* zum Teil der Fall ist. Deshalb mussten die Daten zu *Gastornis* aus insgesamt neun verschiedenen Individuen aus dem Geiseltal zusammengefügt werden. So konnten die meisten Skelettelemente bzw. Skelettpositionen erfasst und abgedeckt werden. Weiterhin fehlende Knochenelemente wurden von nahen Verwandten hinzugefügt.

Dr. Alexander K. Hastings mit Knochen von mehreren Individuen von *Boverisuchus* und vom heutigen Nilkrokodil. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Dr. Alexander K. Hastings with bones of several individuals of *Boverisuchus* and the modern Nile Crocodile. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 7. Building the reconstructed skeletons

Geiseltal workers developed brand new reconstructions of the skeletons of the land-living crocodylian *Boverisuchus* and the giant bird *Gastornis*. These have never been displayed anywhere before. Both represent new efforts to portray the skeleton of these animals in full three-dimensions, in their natural size. No skeletal reconstruction has ever been made before of *Boverisuchus*, and this is the first in-depth reconstruction of the skeleton of the European *Gastornis* from Geiseltal. This chapter takes you through the long process used to bring these reconstructions together, while remaining as scientifically accurate as possible (after M. Stache, manuscript under preparation, “Rapid Prototyping in Preparation” 2015).

### Gathering every known bone of the fossil species at Geiseltal

Each of the restorations first looked at every known scrap of bone from the Geiseltal Collection for the species. For *Boverisuchus* there were many specimens, but by far the most complete was the large skeleton figured in Chapter 3 (GMH Leo X- 8001-1938). When it was collected in the 1930s, the skeleton was partially coated in paraffin wax, which greatly aided in preserving each bone in place, as it was found. Although preservation of this skeleton was nearly complete, due to the paraffin, the bones could not be digitized directly in a timely manner without a large and costly scan that could risk damage to the bones. Instead, isolated bones were needed. For this, several less complete fossil individuals of *Boverisuchus* were used that were not embedded in paraffin wax. In total this covered several key parts of the skeleton like the skull, jaws, and feet. For *Gastornis*, the available fossils did not have the issue of preservation in paraffin wax. None of the bones of *Gastornis* were collected in this method, and the skeletons were also less complete than for *Boverisuchus*. Instead, information had to be gathered from all nine preserved individuals of *Gastornis* from Geiseltal. This rounded off a large portion of the skeleton. For both of the fossil species, more bones would have to come from a close relative.



## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen

### Das Auffüllen von Überlieferungslücken

Die fehlenden Knochenpositionen mussten gefüllt werden. Insbesondere im Hinblick auf *Boverisuchus* gibt es außerhalb der Geiseltalsammlung kaum diesbezügliches Material, so dass entschieden wurde, Material vom heutigen Nilkrokodil (*Crocodylus niloticus*) hinzuzuziehen. So wurden die betreffenden Knochen zunächst als Ausgangspunkt gewählt und auf die Verhältnisse bei *Boverisuchus* angepasst; in der Weise wurde auch hinsichtlich fragmentarischer bzw. unvollständiger Knochen verfahren. Die exakte Anatomie der Knochen wurde also mit höchster wissenschaftlicher Präzision erarbeitet.

Was den Großlaufvogel *Gastornis* anlangt, so konnte ergänzendes Knochenmaterial von der Wirbelsäule des nordamerikanischen *Gastornis giganteus* beim American Museum of Natural History in New York in Form von Abgüssen ausgeliehen werden. Hilfreich waren auch einige Originalexemplare von *Moa*-Brustwirbeln, die vom Institut für Geographie und Geologie, Universität Greifswald, zur Verfügung gestellt wurden. Diese dienten als Grundlage zur Rekonstruktion der Brustwirbel von *Gastornis*. Hinzu kamen noch Scans von *Moa*-Knochen, die sich in der Ausstellung des Forschungsinstitutes und Naturmuseums Senckenberg in Frankfurt (Main) befinden sowie zum Vergleich weitere rezente und fossile Skelette von Laufvögeln.

Dr. Meinolf Hellmund hält einen der langen Beinknochen (Tibiotarsus) von *Gastornis* aus der Geiseltalsammlung in der Hand. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Dr. Meinolf Hellmund with a long bone from the leg (tibiotarsus) of *Gastornis* from the Geiseltal Collection. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 7. Building the reconstructed skeletons

### Filling in the gaps

All missing bones needed to be filled in. For *Boverisuchus* in particular, there was a need for bones that were not encased in paraffin. Very little material of *Boverisuchus* is known outside of Geiseltal, so the researchers elected to use a skeleton of the Nile Crocodile (*Crocodylus niloticus*) as the basis for the missing bones. Since most of the skeleton of *Boverisuchus* is present, but not able to be digitized, this means that the reconstruction could use the modern crocodile bones as a starting point, and then modify them to match the bones of *Boverisuchus*. This would also be the case for bones which were crushed or incomplete. The anatomy of all bones can thus be made scientifically as accurate as possible, while not risking damage to the original material.

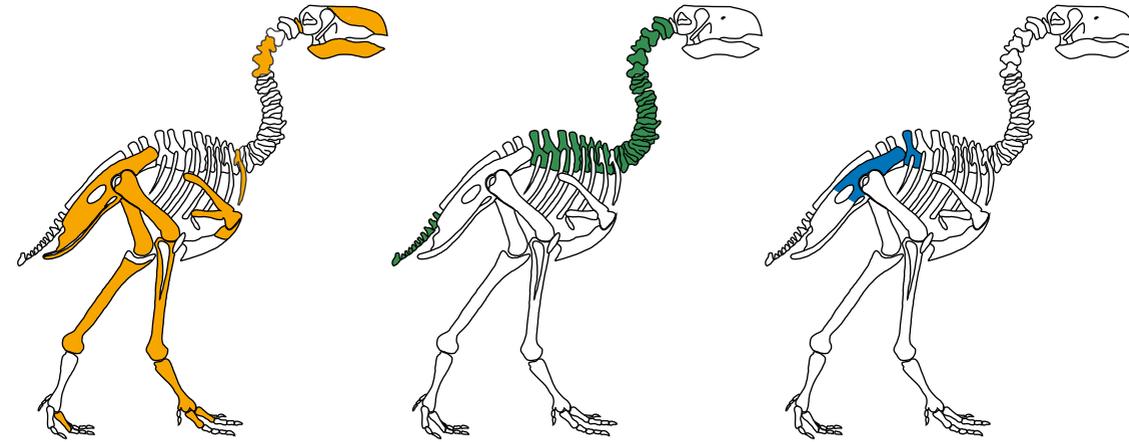
For the Geiseltal *Gastornis*, researchers were able to acquire loans from the North American species, *Gastornis giganteus*, which filled in most of the spinal column (from the American Museum of Natural History). Further helpful fossil material came from the *Moa* of New Zealand (from Greifswald University), an extinct giant land bird similar in many respects to *Gastornis*. Additional help came from digitized scans of fossil moas at the Senckenberg Research Institute and Nature Museum in Frankfurt (Main) and comparison to recent skeletons of other large birds. In this way, each bone of the skeleton is represented by either the original fossil material, or an appropriate relative (both modern and fossil).

Michael Stache (links) und Dr. Meinolf Hellmund (rechts) betrachten einen Abguss von der Wirbelsäule der nordamerikanischen *Gastornis*-Art (*Gastornis giganteus*). Der Abguss ist eine Leihgabe vom American Museum of Natural History (New York, USA). Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Michael Stache (left) and Dr. Meinolf Hellmund (right) studying a cast of the backbone of the North American species of *Gastornis* (*Gastornis giganteus*), loaned from the American Museum of Natural History (New York, USA). Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen



Skelettskizzen von *Gastornis geiselensis* zur Darstellung der Herkunft der Originalknochen bzw. der Abgüsse, die für die dreidimensionale Skelettrekonstruktion verwendet wurden. Abbildungen: nach Matthew & Granger (1917), modifiziert in Hellmund (2013 b), siehe Literaturauswahl.

**Orange:** Originale aus verschiedenen alten Braunkohlenflözen im Geiseltal, von insgesamt neun Individuen stammend.

**Grün:** Abgüsse von Objekten von *Gastornis giganteus* aus Wyoming, USA. Originalmaterial im American Museum of Natural History, New York.

**Blau:** Originalmaterial (Brustwirbel, vorderer Teil vom Synsacrum) vom *Moa* (Dinornithidae) aus Neuseeland, Institut für Geographie und Geologie, Universität Greifswald und Forschungsinstitut und Naturkundemuseum Senckenberg in Frankfurt (Main).

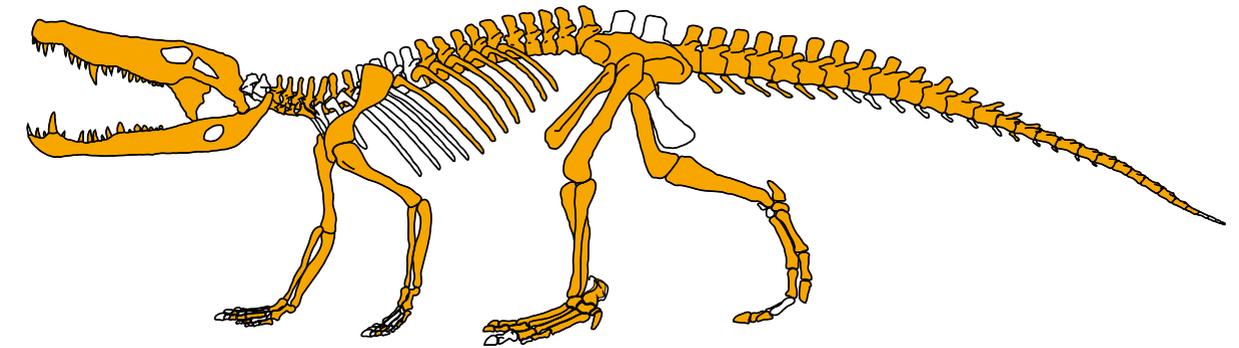
Sketches of the skeleton of *Gastornis geiselensis*, showing the sources of the original bones and casts used for the three-dimensional skeletal reconstruction. Illustrations: from Matthew & Granger (1917), modified in Hellmund (2013 b), see References.

**Orange:** Original bones from different-aged layers of brown coal from Geiseltal, gathered from a total of nine individuals.

**Green:** Casts of fossils of *Gastornis giganteus* from Wyoming, USA. The original material is housed at the American Museum of Natural History, New York, USA.

**Blue:** Original fossil material from the spine and the front part of the synsacrum of the extinct bird called the *Moa* (Dinornithidae) from New Zealand. Material is curated at the Institute for Geography and Geology at the University of Greifswald and the Senckenberg Research Institute and Nature Museum in Frankfurt (Main).

## 7. Building the reconstructed skeletons



Obwohl nicht alle Knochen direkt digitalisiert werden konnten, diente das nahezu vollständige Skelett von *Boverisuchus* (GMH Leo X-8001-1938) aus dem Geiseltal als Basis, um die richtige Größe und die korrekte Anatomie herauszufinden. Diese Skizze zeigt sämtliche Knochen dieses einen Individuums von *Boverisuchus* aus dem Geiseltal (orange). Die übrigen Knochen wurden von anderen Individuen und vom heutigen Nilkrokodil hinzugenommen. Zeichnung: A. Hastings, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Although the bones could not be digitized directly, the nearly complete skeleton of *Boverisuchus* (GMH Leo X-8001-1938) from Geiseltal was instrumental to making sure all the reconstructed bones were the right size and had the correct anatomy. This diagram shows all the bones preserved from just this one individual of *Boverisuchus* from Geiseltal (orange). All other bones were supplemented from other individuals and from a modern Nile Crocodile. Illustration: A. Hastings, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen

### Digitalisierung

Von jedem der Knochen wurde ein digitales Modell erstellt. Dabei wurden unterschiedliche Methoden zur Herstellung der etwa 100 bis 200 Knochen pro Skelett angewendet. Für die großen Objekte wurde ein Artec 3D-Scanner eingesetzt, der mit einem Computer und entsprechenden Programmen verbunden, digitale Modelle in Echtzeit herstellen kann. Die Methode funktioniert sehr schnell, bei kleinen Knochen (unter 10 cm) sind die Ergebnisse allerdings nicht so exakt. Die Knochen von *Gastornis* sind derartig groß, so dass es keine Probleme gab. Bei *Boverisuchus* hingegen ist das teilweise anders. Bei den kleinen Knochen aus dessen Handgelenk wird stattdessen die Fotogrammetrie-Methode eingesetzt, d. h. es werden etwa 70 Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen und ein Computerprogramm setzt diese in ein 3D-Modell zusammen. Für die ungewöhnlichen Merkmale von *Boverisuchus* wurde noch eine weitere Digitalisierungsmethode angewendet. Es handelt sich um die hochauflösende „Phoenix X-ray Nanotom microCT-Methode“, die im medizinischen Bereich zur Erkennung von inneren Verletzungen praktiziert wird. Wir haben sie benutzt, um z. B. die internen Strukturen der Zehenknochen (Endphalangen) von *Boverisuchus* sichtbar zu machen. Alle 3D-Kopien von diesen Knochen dienten der Herstellung des *Boverisuchus*-Skelettes, das in Kapitel 3 abgebildet ist. Die Knochen von *Gastornis* wurden analog maßstabsgerecht berechnet, so dass sie ein zusammenpassendes Skelett eines Individuums ergeben.

Michael Stache digitalisiert den Schädel von *Gastornis* mit dem Artec 3D-Scanner. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Michael Stache using the Artec 3D scanner to digitize a skull of *Gastornis*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 7. Building the reconstructed skeletons

### Digitizing

A digital model was needed for each bone of the skeleton. Three different methods were applied to accomplish this task for the 100 to 200 bones of each skeleton. For larger bones, the Geiseltal workers used an Artec 3D scanner that connects to a computer and creates a digital model in real time. These can then be edited as necessary within the computer software. This method works quite quickly, but does not have the sensitivity needed for smaller bones (less than 10 cm). For *Gastornis*, nearly all bones were large enough to digitize with this method. For *Boverisuchus*, however, there were numerous bones in the skeleton that were not large enough to use the Artec 3D scanner. For these smaller bones, like the bones of the wrist, a method called photogrammetry was used instead. This method involves taking around 70 pictures of the bone from many different angles. A computer program can then turn those images into a 3D digital model. Following this application, the rest of the skeleton could be filled in. One other method was also used to digitize the bones of *Boverisuchus*. Researchers were interested in the unusual characteristics of the feet of *Boverisuchus*, and as part of this study, certain bones from the feet were scanned with incredibly high resolution using a Phoenix X-ray Nanotom microCT scanner. The microCT scanner follows essentially the same principles of a CT scan used in most hospitals, when doctors need to scan for internal injuries. This is instead applied on a very small scale, and enabled researchers to visualize the internal structures of these strange bones of the feet. All three of these methods created 3D digital files that were then used to generate high-resolution copies featured in the skeletal reconstruction. In the case of *Boverisuchus*, restoration was intended to be of the well-preserved skeleton of *Boverisuchus* seen in Chapter 3. For this reason, all digital bones for the skeletal reconstruction were scaled to this individual. Bones of *Gastornis* also had to be scaled to the appropriate size, so that they fit as bones of a single individual.

Dr. Alexander K. Hastings digitalisiert einen Schädel und einen Unterkiefer des Krokodils *Boverisuchus* mit einem 3D-Scanner. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Dr. Alexander K. Hastings digitizing a skull and lower jaw of *Boverisuchus* with the Artec 3D scanner. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen

Oben, links: Dr. Alexander K. Hastings digitalisiert einen Schwanzwirbel von *Boverisuchus*. Er wendet hierzu eine Methode an, die Fotogrammetrie genannt wird. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Top, left: Dr. Alexander K. Hastings digitizing a tail vertebra of *Boverisuchus* using the method called photogrammetry. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

Oben, rechts: Für die Skelett-Rekonstruktionen von *Boverisuchus* und *Gastornis* wurden einige hundert Einzelknochen in 3D digitalisiert, um so exakte digitale Modelle zu erstellen, wie z. B. diesen Wirbel des Krokodils.

Top, right: Hundreds of bones were digitized in 3D for the *Boverisuchus* and *Gastornis* skeletal reconstructions, creating accurate digital models like this crocodylian vertebra.

### Fräsen der rekonstruierten Knochen

Die digitalisierten Daten werden nachbearbeitet und können auf die passende Größe eingestellt werden. Diese Objekte werden mit einer computergesteuerten Fräse aus Polyurethan-Schaumplatten herausgeschnitten. Die Maschine wurde auch zur Herstellung der „Mini-Dioramen“ eingesetzt. Die hergestellten Produkte sind sehr leicht und sie lassen sich problemlos nachbearbeiten und anpassen. Diese als Grundlage zu haben, ist sehr hilfreich, wenn man entsprechende Objekt in der richtigen Größe und mit den passenden Merkmalen für Rekonstruktionen benötigt.

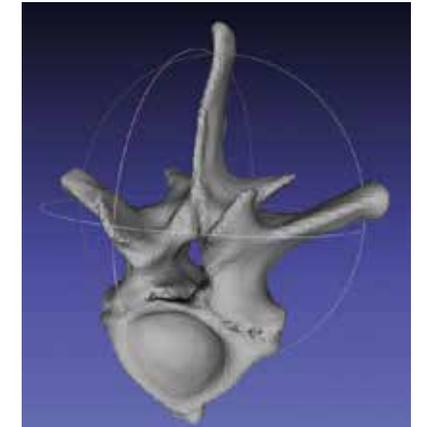
Unten, links: Michael Stache nutzt die CNC-Fräse, um mit Hilfe der digitalisierten Dateien Kopien von Knochen herzustellen. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Bottom, left: Michael Stache using the CNC-milling machine to produce physical copies of the digital files. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

Unten, rechts: Die Kopien der Knochen werden mit einer CNC-Fräse aus Polyurethan-Schaumplatten herausgeschnitten. Das Beispiel zeigt Knochen vom Hals des *Boverisuchus*. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

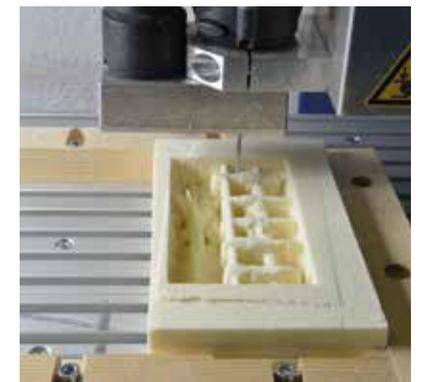
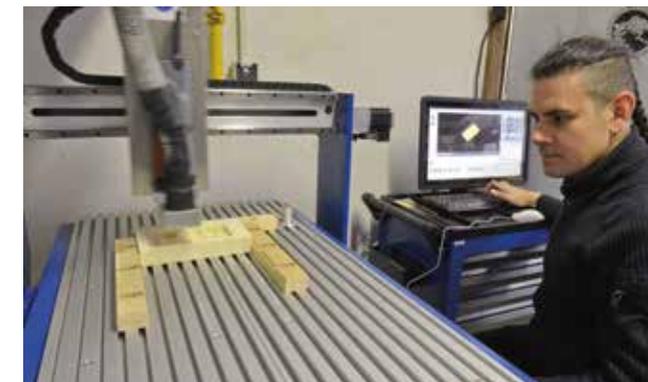
Bottom, right: The CNC-milling machine is shown here carving out the 3D surface from polyurethane foam, for several bones of the neck of *Boverisuchus*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 7. Building the reconstructed skeletons



### Carving the reconstructed bones

Because the files are digital, they can first be scaled to the appropriate size for restoring the fossil animal. Each digital file was transferred to a computer connected to a 3D carving machine. This device carves 3D digital files into polyurethane foam using a fine-tipped drill bit. This machine was also used to produce the mini-dioramas. The machine can print several bones at a time. The resulting reconstructed “bone” is light-weight and easy to shape as needed to match the anatomy of the fossil animal. Having this base model is incredibly helpful for making the final product at the right size and with the right features the bones should have.



## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen

### Nachbearbeiten und Kolorieren

Nach dem Ausfräsen der rekonstruierten „Knochen“ werden diese auf ihrer Oberfläche nachbearbeitet, bis sie den Originalknochen morphologisch völlig entsprechen. Dazu wird der Polyurethanschaum mit mehreren Schichten von Modelliermasse überzogen. Diese dringt u. a. in den Polyurethanschaum ein und macht das Ganze für die spätere Montage stabiler. Kleine Ergänzungen und Anpassungen sind dann immer noch möglich. Nach dem Trocknen werden die Objekte in mehreren aufeinanderfolgenden Schichten koloriert, damit sie den Originalfossilien aus dem Geiseltal möglichst genau entsprechen. Abschließend werden sie noch mit einem Überzug von dunkel eingefärbtem Epoxidharz überzogen.



Jeder der rekonstruierten Knochen wird der Anatomie des originalen Fossilmaterials exakt angepasst. Dr. Alexander K. Hastings zeigt dies an einem Knochen aus dem Fußskelett des *Boverisuchus*. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Each of the reconstructed bones needs to be shaped to match the anatomy of the fossil material. Dr. Alexander K. Hastings is shown here shaping the bones of the feet of *Boverisuchus*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Nahaufnahme: Rekonstruierter Zehenknochen von *Boverisuchus* im Vergleich mit dem Original. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Close-up view of a reconstructed end toe bone of *Boverisuchus* being shaped to match a genuine fossil from Geiseltal. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Nach dem Ausfräsen der „Knochen“ werden diese mit einer Modelliermasse überzogen. Christoph Koehn ist dabei, eine Rippe zu bearbeiten. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Christoph Koehn adding modelling clay to a reconstructed rib of *Gastornis*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 7. Building the reconstructed skeletons

### Strengthening and Coloring

After each reconstructed bone is modified to match the original fossil, the foam was coated in several layers of modeling clay. This soaked into the foam to give it much more strength, so that it can withstand the pressure and weight of being mounted on a wire frame. The clay also allowed for additions to the foam when features of the reconstructed bones needed to be larger to match the fossil material. After the layers of clay dried, each bone was painted brown. This layer of paint is only the first of three layers of color that would be added to make the reconstructed bones appear more like the original fossils. Given the dark color of the Geiseltal fossils, it takes several layers of color to bring the reconstruction from its white color to the dark brown that is characteristic of Geiseltal fossils. Once this paint dried, a layer of epoxy resin mixed with a dark dye was added to each “bone” to give it even more strength and a darker color. After this stage, the reconstructed bones are stronger and much closer in color to the original fossils.



Dr. Alexander K. Hastings bearbeitet einen Halswirbel von *Boverisuchus* mit einem elektrischen Spezialwerkzeug. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Dr. Alexander K. Hastings shaping a reconstructed neck vertebra of *Boverisuchus* using a fine-tipped drill. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Michael Stache koloriert die Schwanzwirbelsäule von *Gastornis*. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Michael Stache painting the reconstructed tail bones of *Gastornis*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



Kathryne Hastings trägt Epoxidharz auf die ausgefrästen Halswirbel von *Boverisuchus* auf. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Kathryne Hastings adding epoxy resin to reconstructed bones of the neck of *Boverisuchus*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 7. Herstellung der Skelettrekonstruktionen

### Zusammenbau der Skelettrekonstruktionen

Eine wichtige Basis war es zunächst, alle an den Skeletten beteiligten Knochen ihrer jeweilig korrekten Position zuzuordnen. Dazu waren vorausgehende, detaillierte Studien zur Anatomie und zum Verhalten ihrer heutigen Verwandten sowohl in Ruhestellung als auch in einer bestimmten Bewegung nötig. So kommt man zu einer dynamischen und exakten Wiedergabe des betreffenden Tieres. Für *Boverisuchus* heißt das, genau auf die leicht gewinkelte Stellung der Wirbel zu achten und darauf, wie z. B. das Körpergewicht von der einen auf die andere Seite verlagert wird. In manchen Fällen konnten die Knochen mit Draht verbunden werden, in anderen wurden sie miteinander verklebt. Nachdem das Skelett vollständig zusammengesetzt war, wurde die endgültige dunkelbraune Kolorierung vorgenommen.

Die Herstellung solcher Skelettrekonstruktionen verlangt einen großen zeitlichen Aufwand, aber dieser lohnt sich, um den Ausstellungsbesuchern die Skelette in einer Lebendposition näher zu bringen. Aufgrund der Tatsache, dass die rekonstruierten Skelette von Tieren stammen, die einmal im Gebiet der heutigen Stadt Halle (Saale) gelebt haben, stellen sie auch einen Teil des Naturerbes für die Bevölkerung Sachsen-Anhalts dar.

Michael Stache und Christoph Koehn sind dabei, das rekonstruierte Skelett von *Gastornis* aufzubauen. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Michael Stache and Christoph Koehn mounting the reconstructed skeleton of *Gastornis*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 7. Building the reconstructed skeletons

### Mounting the skeletal reconstructions

A complex frame was then carefully crafted for each skeleton to support all the bones in an accurate posture for the animal. This involved detailed study of the anatomy and behavior of modern relatives so that all features would match how the animal would have stood, as if for one instant during motion. This creates a dynamic and accurate representation of the original animal. For *Boverisuchus*, this means paying attention to subtle details like the slight angle to the vertebrae, as weight would have been shifted from one side of the body to the other. In some cases, bones could be wired directly to each other. In other cases, bones were glued to each other instead. Finally, once all the bones were in place, the glossy color was covered by painting each of the bones with a final layer of dark brown paint.

The reconstructed skeletons represent a very large amount of time and energy, but were well worth the effort to show visitors what these skeletons would have looked like, restored to their life positions. Given both of these animals once roamed what is today very near the city of Halle (Saale), these reconstructions show some of the natural heritage for the people of Saxony-Anhalt.

In einem frühen Stadium der Skelettmontage von *Boverisuchus* hält Dr. Alexander K. Hastings einen Teil des Schultergürtels an die Wirbelsäule. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

In the early stages of mounting for the *Boverisuchus* reconstructed skeleton, Dr. Alexander K. Hastings is shown here holding part of the shoulder next to the spinal column. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.



## 8. Literaturauswahl

Die nachfolgenden Literaturzitate beziehen sich sowohl auf den Text des Begleitbandes als auch auf die Geschichte der Fossilagerstätte Geiseltal und deren reichhaltige Lebewelt.

- Aguilar, J.-P., Legendre, S. & Michaux, J. (eds.) (1997): Actes du Congrès BiochroM'97, Mémoires et Travaux d'Ecole Pratique des Hautes Etudes. - Institut de Montpellier, **21**, 1–818.
- Barnes, B. (1927): Eine eozäne Wirbeltier-Fauna aus der Braunkohle des Geiseltales. - Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze, Neue Folge **6**, 5–24. *Allererste Publikation zu Wirbeltieren aus dem Geiseltal [very first paper on Geiseltal vertebrates]*
- Bilkenroth, K.-D. (1993): 300 Jahre Geiseltal - tertiäre Lebenswelt, Braunkohlengewinnung und Folgelandschaft. - Braunkohle Tagebautechnik, **45** (8), 4–9.
- Brochu, C. A. (2013): Phylogenetic relationships of Paleogene ziphodont eusuchians and the status of *Pristichampsus* Gervais, 1853. - Earth and Environmental Science, Transactions of the Royal Society of Edinburgh, **103**, 1–30.
- Erfurt, J. (1995): Taxonomie der eozänen Artiodactyla (Mammalia) des Geiseltales mit besonderer Berücksichtigung der Gattung *Ragatherium*. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B **17**, 47–58.
- Erfurt, J. (2000): Rekonstruktion des Skelettes und der Biologie von *Anthracobunodon weigelti* (Artiodactyla, Mammalia) aus dem Eozän des Geiseltales. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, Beiheft **12**, 57–141.
- Erfurt, J. & Haubold, H. (1989): Artiodactyla aus den eozänen Braunkohlen des Geiseltales bei Halle (DDR). - Palaeovertebrata, **19** (3), 131–160.
- Fischer, K.-H. (1962): Der Riesenlaufvogel *Diatryma* aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales. - Hallesches Jahrbuch für Mitteldeutsche Erdgeschichte, **4**, 26–33.
- Fischer, K.-H. (1967): Ein neuer Großlaufvogel aus dem Eozän des Geiseltals bei Halle. - Berichte der Deutschen Gesellschaft für geologische Wissenschaften A, **12** (5), 601–605.
- Fischer, K.-H. (1978): Neue Reste des Riesenlaufvogels *Diatryma* aus dem Eozän des Geiseltals bei Halle (DDR). - Mitteilungen Zoologisches Museum Berlin Supplement 54: Annalen für Ornithologie, **2**, 133–144.
- Franzen, J. L. (1995): Die Equoidea des europäischen Mitteleozäns (Geiseltalium). - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B **17**, 31–45.
- Franzen, J. L. (1999): *Lophiotherium sondaari* n. sp. (Mammalia, Perissodactyla, Equidae) aus der oberen Unterkohle des Geiseltales bei Halle (Saale). - DEINSEA, **7**, 187–194.
- Franzen, J. L. (2006): *Eurohippus* n. g., a new genus of horses from the Middle to the late Eocene of Europe. - Senckenbergiana lethaea, **86** (1), 97–102.
- Franzen, J. L. & Haubold, H. (1986 a): Revision der Equoidea aus den eozänen Braunkohlen des Geiseltales bei Halle (DDR). - Palaeovertebrata, **16** (1), 1–34.
- Franzen, J. L. & Haubold, H. (1986 b): The Middle Eocene of European mammalian stratigraphy. Definition of the Geiseltalium. - Modern Geology, **10**, 159–170.

## 8. Selected References

The following are the references referred to in the main text of this catalogue, as well as additional publications about the history of the Geiseltal fossil site and its incredible diversity of ancient life.

- Franzen, J. L. & Haubold, H. (1987): The biostratigraphic and palaeoecological significance of the Middle Eocene locality Geiseltal near Halle (German Democratic Republic). - Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A), **10**, 93–100.
- Franzen, J. L., Haubold, H. & Storch, G. (1993): Relationships of the mammalian faunas from Messel and the Geiseltal. - Kaupia, **3**, 145–149.
- Gallwitz, H. (1955): Kalk, Kieselsäure und Schwefeleisen in der Braunkohle des Geiseltales und ihre Bedeutung für die Fossilisation. - Paläontologische Zeitschrift, **29** (1/2), 33–37.
- Hastings, A. K. & Hellmund, M. (*In review a*): Rare *in situ* preservation of adult crocodylian with eggs from the Middle Eocene of Geiseltal, Germany: implications for parental care in archosaurs. - Palaios.
- Hastings, A. K. & Hellmund, M. (*In review b*): Evidence for prey preference partitioning in the Middle Eocene high-diversity crocodylian assemblage of the Geiseltal-Fossilagerstätte, Germany, utilizing skull shape analysis. - Geological Magazine.
- Haubold, H. (1987): Geiseltalium: ein neues Landsäugetier-Zeitalter im Paläogen. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, **12**, 120–121.
- Haubold, H. (1989): Die Referenzfauna des Geiseltalium, MP Levels 11 bis 13 (Mitteleozän, Lutetium). - Palaeovertebrata, **19** (3), 81–93.
- Haubold, H. (1995): Wirbeltiergrabung und -forschung im Geiseltaleozän. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **17**, 1–18.
- Haubold, H. & Krumbiegel, G. (1984): Typenkatalog der Wirbeltiere aus dem Eozän des Geiseltals. - 50 Jahre Geiseltalmuseum an der Martin-Luther-Universität Halle - Wittenberg, 1–67.
- Haubold, H. & Thomae, M. (1990): Stratigraphische Revision der Wirbeltierfundstellen des Geiseltaleozäns. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **15**, 3–20.
- Haubold, H. & Hellmund, M. (1997): Contribution of the Geiseltal to the Paleogene Biochronology and the actual perspective of the Geiseltal district. - in: Actes du Congrès BiochroM' 97, Aguilar, J. P., Legendre, S. & Michaux, J. (eds.): Mémoires et Travaux d'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Institut de Montpellier - **21**, 353–359.
- Haubold, H. & Hellmund, M. (1998 a): Das Geiseltalmuseum am Institut für Geologische Wissenschaften - Veröffentlichungen der Akademischen Sammlungen und Museen der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, 2nd edition, **1**, 39 pp.
- Haubold, H. & Hellmund, M. (1998 b): The Geiseltalmuseum of the Institute of Geological Sciences, University Halle-Wittenberg. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **6**, 11–18.
- Hellmund, M. (1997): Letzte Grabungsaktivitäten im südwestlichen Geiseltal bei Halle (Sachsen-Anhalt, Deutschland) in den Jahren 1992 und 1993. - Hercynia Neue Folge, **30** (2), 163–176.
- Hellmund, M. (2000): Erstnachweis von *Plagiolophus cartieri* Stehlin (Palaeotheriidae, Perissodactyla) in der unteren Mittelkohle (uMK, MP12) des Geiseltales bei Halle (Sachsen-Anhalt, Deutschland). - Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte, **2000** (4), 205–216.

## 8. Literaturauswahl

- Hellmund, M. (2001): Magensteine von Crocodyliern in der mitteleozänen Grundmassenkohle des ehemaligen Tagebaues „Mücheln-Westfeld“ (Geiseltal, Sachsen-Anhalt, Deutschland). - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **13**, 77–99.
- Hellmund, M. (2004): Smithers Lake in Texas - Johannes Weigelt's Aktuo-Feldlabor für die eozäne Geiseltalforschung. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **26**, 135–138.
- Hellmund, M. (2005): A three-dimensional skeletal reconstruction of the Middle Eocene *Propalaeotherium hassiacum* Haupt 1925 (Equidae, Perissodactyla, Mammalia) and a modern synoptic painting of some individuals within their habitat. - Kaupia (Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte), **14**, 15–20.
- Hellmund, M. (2007): Exkursion: Ehemaliges Geiseltalrevier, südwestlich von Halle (Saale). - Aus der Vita des eozänen Geiseltales, in: Erfurt, J. & Maul, L. Ch. (eds.): 34. Tagung des Arbeitskreises für Wirbeltierpaläontologie der Paläontologischen Gesellschaft, 16.03. bis 18.03.2007, in Freyburg/Unstrut - Programm und wissenschaftliche Beiträge. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, **23**, 1–16.
- Hellmund, M. (2012): Fossile Froschhaut aus dem Geiseltal, p. 38–39, - in: Martin, T., v. Koenigswald, W., Radtke, G. & Rust, J. (eds.): Paläontologie - 100 Jahre Paläontologische Gesellschaft, 192 pp. (Publisher: F. Pfeil).
- Hellmund, M. (2013 a): Odontological and osteological investigations on propalaeotheriids (Mammalia, Equidae) from the Eocene Geiseltal Fossilagerstätte (Central Germany) - a full range of extraordinary phenomena. - Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, **267** (2), 127–154.
- Hellmund, M. (2013 b): Reappraisal of the bone inventory of *Gastornis geiselensis* (Fischer 1978) from the Eocene "Geiseltal Fossilagerstätte" (Saxony-Anhalt, Central Germany). - Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, **269** (2), 203–220.
- Hellmund, M. (2013 c): Die eozänen Urpferde aus Mitteldeutschland, die „Stars“ unter den Geiseltalfossilien, p. 35–54, in: Becker, P.-R. & Beichle, U. (eds.): Pferde Geschichten, vom Urpferd zum Sportpferd. - Schriftenreihe Landesmuseum für Natur und Mensch, Heft **92**, 138 pp. (Publisher: Isensee).
- Hellmund, M. (2013 d): Das eozäne Geiseltal – eine Fossilagerstätte von Weltgeltung in Mitteldeutschland, p. 194–196, in: Storch, V., Welsch, U. & Wink, M. (eds.): Evolutionsbiologie, 3rd Edition (Publisher: Springer Spektrum).
- Hellmund, M. & Koehn, C. (2000): Skelettrekonstruktion von *Propalaeotherium hassiacum* (Equidae, Perissodactyla, Mammalia), basierend auf Funden aus dem eozänen Geiseltal (Sachsen-Anhalt, Deutschland). - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **12**, 1–55.
- Hellmund, M. & Wilde, V. (eds.) (2001): Das Geiseltal-Projekt 2000 - erste wissenschaftliche Ergebnisse. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B, **13**, 1–99.
- Hellmund, M., & Wilde, V. (2009): Der „Mageninhalt“ von *Propalaeotherium isselanum* aus dem Geiseltal (Sachsen-Anhalt, Deutschland). - Hercynia Neue Folge, **42**, 167–175.
- Hooker, J. J. (2013): Origin and Evolution of the Pseudorhynchocyonidae, a European Paleogene family of insectivorous placental mammals. - Palaeontology, **56** (4), 807–835.
- Hooker, J. J. & Thomas, K. M. (2001): A new species of *Amphiragatherium* (Choeropotamidae, Artiodactyla, Mammalia) from the Late Eocene Headon Hill Formation of southern England and phylogeny of endemic European "anthracotherioids". - Palaeontology, **44** (5), 827–853.

## 8. Selected References

- Knochenhauer, G. (1989): Die Geschichte des Braunkohlenbergbaues im Geiseltal. - Volkseigener Betrieb Braunkohlewerk Geiseltal, Technische Kurzinformationen, **25**, 20–28.
- Koehn, C. & Hellmund, M. (2001): Zur Skelettrekonstruktion des „Urpferdes“ *Propalaeotherium hassiacum* Haupt aus dem unteren Mitteleozän Deutschlands. - Der Präparator, **47** (3), 127–140.
- Krumbiegel, G. (1959 a): 25 Jahre Geiseltalsammlung (1934–1959) des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. - Wissenschaftliche Zeitschrift Universität Halle, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, **8** (6), 1041–1052.
- Krumbiegel, G. (1959 b): Die tertiäre Pflanzen- und Tierwelt der Braunkohle des Geiseltales. - Die neue Brehm-Bücherei, **237**, 156 pp. (Verlag Ziemsen).
- Krumbiegel, G. (1962): Die Fossilfundstellen der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales. - Wissenschaftliche Zeitschrift Universität Halle, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, **XI/6**, 745–762.
- Krumbiegel, G. (1977): Genese, Palökologie und Biostratigraphie der Fossilfundstellen im Eozän des Geiseltales. - Kongreß und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge, **1977/2** (P5), 113–138.
- Krumbiegel, G. & Hellmund, M. (2012): Zur wissenschaftlichen Entwicklung des Geiseltalmuseums und zu den Geländeaktivitäten im Geiseltalrevier. - Mauritanica, **22**, 16–42.
- Krumbiegel, G., Rüffle, L. & Haubold, H. (1983): Das eozäne Geiseltal. - Neue Brehm Bücherei, **237**, 227 pp. (Publisher: Ziemsen).
- Kurz, C. (2002): Die Didelphimorphia und Peradectida aus dem Eozän der Grube Messel und dem Geiseltal - Ökomorphologie, Diversität und Paläogeographie. - unpublished Ph.D. dissertation, Universität Bonn.
- Kurz, C. (2005): Ecomorphology of opossum-like marsupials from the Tertiary of Europe and a comparison with selected taxa. - Kaupia (Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte), **14**, 21–26.
- Lambrecht, K. (1928): *Palaeotis weigelti* n. g. n. sp. eine fossile Trappe aus der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales. - Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze, Bodenschätze Neue Folge, **7**, 1–10.
- Lange-Badré, B. & Haubold, H. (1990): Les Créodontes (Mammifères) du gisement du Geiseltal (Eocène moyen, RDA). - Géobios, **23** (5): 607–637.
- Mania, D., Seifert, M. & Thomae, M. (1993): Spät- und Postglazial im Geiseltal (mittleres Elbe-Saalegebiet). - Eiszeitalter und Gegenwart, **43**, 1–22.
- Matthew, W. D. & Granger, W. (1917): The skeleton of *Diatryma*, a gigantic bird from the lower Eocene of Wyoming. - Bulletin of the American Museum of Natural History, **37**, 307–326.
- Mayr, G. (2002): Avian Remains from the Middle Eocene of the Geiseltal (Sachsen-Anhalt, Germany), 77–96 - in: Zhonghe Zhou & Fucheng Zhang (eds.): Proceedings of the 5th Symposium of the Society of Avian Paleontology and Evolution (Science Press).
- Mayr, G. (2007): Synonymy and actual affinities of the putative Middle Eocene "New World vulture" *Eocathartes* Lambrecht, 1935 and "hornbill" *Geiseloceros* Lambrecht, 1935 (Aves, Ameghinornithidae). - Paläontologische Zeitschrift, **81** (4), 457–462.
- Mertz, D.F., Swisher, C.C., Franzen, J.L., Neuffer, F.O. & Lutz, H. (2000): Numerical dating of the Eckfeld maar fossil site, Eifel, Germany: A calibration mark for the Eocene time scale. - Naturwissenschaften, **87**, 270–274.

## 8. Literaturauswahl

- Mertz, D.F., & Renne, P. R. (2005): A numerical age for the Messel deposit (UNESCO World Heritage Site) derived from <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating on a basaltic rock fragment. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **255**, 67–75.
- Morlo, M. (1999): Niche structure and evolution in creodont (Mammalia) faunas of the European and North American Eocene. - *Géobios*, **32** (2), 297–305.
- Morlo, M. Schaal, S., Mayr, G. & Seiffert, C. (2004): An annotated taxonomic list of the Middle Eocene (MP 11) Vertebrata of Messel. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **252**, 95–108.
- Müller, J. (2001): Osteology and relationships of *Eolacerta robusta*, a lizard from the Middle Eocene of Germany (Reptilia, Squamata). - *Journal of Vertebrate Paleontology*, **21** (2), 261–278.
- Rauhe, M. & Rossmann, T. (1995): News about fossil crocodiles from the Middle Eocene of Messel and Geiseltal, Germany. - *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B*, **17**, 81–92.
- Rieppel, O., Conrad, J. L. & Maisano, J. A. (2007): New morphological data for *Eosaniwa koehni* Haubold, 1977 and a revised phylogenetic analysis. - *Journal of Paleontology*, **81** (4), 760–769.
- Rossmann, T. (2000 a): Osteologische Beschreibung von *Geiseltaliellus longicaudus* Kuhn, 1944 (Reptilia, Squamata) aus dem Eozän der Fossilagerstätten Geiseltal und Grube Messel (Deutschland), und eine Revision der Gattung *Geiseltaliellus* und verwandter Formen. - *Palaeontographica, Abteilung A*, **258** (4-6), 117–158.
- Rossmann, T. (2000 b): Skelettanatomische Beschreibung von *Pristichampsus rollinatus* (Gray) (Crocodilia, Eusuchia) aus dem Paläogen von Europa, Nordamerika und Ostasien. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **221**, 1–107.
- Schmidt-Kittler, N. (ed.) (1987): International Symposium on Mammalian Biostratigraphy and Paleogeology of the European Paleogene - Mainz, February 18th - 21st 1987. - *Münchener Geowissenschaftliche Abhandlungen (A)*, **10**, 312 pp.
- Smith, K. T., Lehmann, T., Hellmund, M. & Hastings, A. K. (eds.) (2014): Messel and Geiseltal Highlights of the Cenozoic, “Excursion Guide”, 46 pp., Senckenberg World of Biodiversity, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen.
- Stanley, S. M. (2001): *Historische Geologie*, 710 pp., 2nd translated edition (Spektrum Akademischer Verlag).
- Steinheimer, F., Hellmund, M., Schafberg, R. & Schneider, K. (2012): National wertvolles Kulturgut in Halle/S. unter staatlichem Schutz - Fünf Einzelsammlungen des Zentralmagazins Naturwissenschaftlicher Sammlungen (ZNS) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg als national wertvolles Kulturgut eingestuft. - *Fakultätsbote, Gesellschaft zur Förderung der Agrar- und Ernährungswissenschaften an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg eingetragener Verein*, **1** (2012), 8–17.
- Steininger, F. F. (1999): Chronostratigraphy, Geochronology and Biochronology of the Miocene “European Land Mammal Mega-Zones” (ELMMZ) and the Miocene “Mammal-Zones (MN-Zones)”, 9–24. - in: Rössner, G. E. & Heissig, K. (eds.): *The Miocene Land Mammals of Europe*, 515 pp. (Publisher: Dr. F. Pfeil).
- Storch, G. 1986. Die Säuger von Messel: Wurzeln auf vielen Kontinenten. *Spektrum der Wissenschaften*, **6**, 48–65.
- Storch, G. (1995): Kleinsäugetiere aus dem Geiseltal und Messel im Kontext alttertiärer Faunenentfaltungen. - *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B*, **17**, 59–64.

## 8. Selected References

- Thalmann, U. (1994): Die Primaten aus dem eozänen Geiseltal bei Halle/Saale (Deutschland). - *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **175**, 1–161.
- Tütken, T., Held, P., Hellmund, M. & Galer, S. J. Artikel in Vorbereitung [Article under preparation]: Calcium isotope analysis of fossil bones: The giant bird *Gastornis* was an herbivore, not a top predator in Eocene food webs.
- Voigt, E. (1933): Die Übertragung fossiler Wirbeltierleichen auf Zellulose-Filme, eine neue Bergungsmethode für Wirbeltiere aus der Braunkohle. - *Paläontologische Zeitschrift*, **15**, 72–78.
- Voigt, E. (1934): Die Fische aus der mitteleozänen Braunkohle des Geiseltales. - *Nova Acta Leopoldina, Neue Folge*, **2**, 22–142.
- Voigt, E. (1936): Weichteile an Säugetieren aus der eozänen Braunkohle des Geiseltales. - *Nova Acta Leopoldina, Neue Folge*, **4**, 301–310.
- Voigt, E. (1988): Preservation of Soft Tissues in the Eocene Lignite of the Geiseltal near Halle/S. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **107**, 325–343.
- Walther, J. & Weigelt, J. (1932) Die eozäne Lebewelt in der Braunkohle des Geiseltales. - in: Abderhalden, E. (eds.): *Die Wirbeltierfundstellen im Geiseltal*. - *Nova Acta Leopoldina, Neue Folge*, **1** (1), 1–27.
- Weigelt, J. (1927): *Rezente Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung*, 227 pp. (Verlag: M. Weg).
- Weigelt, J. (1931): Über ein Leichenfeld in der Mittelkohle der Braunkohlengrube Cecilie im Geiseltal (Mitteleozän). - *Palaeobiologica*, **4**, 49–78.
- Weigelt, J. (1933): Die Biostratonomie der 1932 auf der Grube Cecilie im mittleren Geiseltal ausgegrabenen Leichenfelder. - *Nova Acta Leopoldina, Neue Folge*, **1**, 157–174.
- Weigelt, J. (1934): Die Geiseltalgrabungen des Jahres 1933 und die Biostratonomie der Fundschichten. - *Nova Acta Leopoldina, Neue Folge*, **1**, 552–600.
- Weigelt, J. (1935): Some Remarks on the Excavations in the Geisel Valley. - *Quarterly Review of German Science*, **1** (4), 155–159.
- Weigelt, J. (1989): *Recent Vertebrate carcasses and their paleobiological implications*, 188 pp. (University of Chicago Press).
- Wilde, V. (1995): Die Makroflora aus dem Mitteleozän des Geiseltalgebietes, kurze Übersicht und Vergleiche. - *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B*, **17**, 121–138.
- Wilde, V. (2001): Ein Farnhorizont aus dem Mitteleozän des Geiseltales (Sachsen-Anhalt, Germany). - in: Hellmund, M. & Wilde, V. (eds.): *Das Geiseltal-Projekt 2000 – erste wissenschaftliche Ergebnisse*. - *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Reihe B*, **13**, 69–75.
- Wilde, V. & Hellmund, M. (2006): Neue Geländearbeiten im ehemaligen Braunkohlenrevier Geiseltal. Aspekte der Kooperation zwischen dem Forschungsinstitut Senckenberg in Frankfurt (Main) und dem Geiseltalmuseum am Institut für Geologische Wissenschaften in Halle (Saale). - *Natur und Museum*, **136** (7/8), 162–173.
- Wilde, V. & Hellmund, M. (2010): First record of gut contents from a middle Eocene equid from the Geiseltal near Halle (Saale), Sachsen-Anhalt, Central Germany. - *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, **90** (2), 153–162.
- Wilde, V. & Riegel, W. (2010): “Affenhaar” revisited - Facies context of in situ preserved latex from the Middle Eocene of Central Germany. - *International Journal of Coal Geology*, **83** (2-3), 182–194.

## 9. Danksagung

### Finanzielle und logistische Unterstützung

Die finanziellen Mittel für die Realisierung der Sonderausstellung und des vorliegenden Begleitbandes wurden von der Kulturstiftung des Bundes mit einem Eigenmittelanteil von Seiten der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg bereitgestellt. Weiterhin unterstützten uns die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und das Landesmuseum für Vorgeschichte, Halle (Saale). Wir sind den genannten Institutionen für ihre Unterstützung dankbar verbunden. Dr. Frank D. Steinheimer warb die Erstfinanzierung für eine Fellowship Internationales Museum bei der Kulturstiftung des Bundes ein. Er koordinierte im laufenden Ausstellungsprojekt die Finanzen sowie viele der logistischen Angelegenheiten und rezensierte die meisten Ausstellungs- und Katalogtexte. Arila-Maria Perl entwarf das gesamte Erscheinungsbild aller Druckwerke zur Ausstellung, einschließlich des Begleitbandes und der Werbematerialien sowie das museumspädagogische Begleitprogramm zur Ausstellung. Frau Dr. Monika Hellmund rezensierte die Ausstellungs- und Katalogtexte. Auf der Seite der „Leopoldina“ unterstützten uns Katharina Schmidt, Dr. Danny Weber, Toni Klisch und Torsten Thielemann beim Ausstellungsaufbau und in der Öffentlichkeitsarbeit. Dr. Marie Haff und Hanna Saur begleiteten das Projekt seitens der Kulturstiftung des Bundes.

### Wissenschaftliche Unterstützung

Für die Unterstützung durch Ausleihe von relevantem Knochenmaterial bzw. von Abgüssen, sowohl von Krokodilen als auch von Vögeln, sind wir Herrn PD Dr. Alexander Kupfer und Frau Christine Zeitler (beide Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart) sowie dem Scientific Assistenten Carl Mehling (American Museum of Natural History Museum, New York) dankbar verbunden. Ferner ermöglichten uns Frau Dr. Karla Schneider (Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen, Zoologische Sammlung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) und Herr Dr. Stephan Meng (Institut für Geographie und Geologie, Greifswald) dankenswerterweise den Zugang zu weiterem Knochen- und Skelettmaterial, das sich unter deren wissenschaftlicher Obhut befindet. Prof. Dr. Kenneth D. Rose (Center for Functional Anatomy and Evolution, Johns Hopkins University, Baltimore, USA) hat uns einige Wirbel von *Gastornis* aus einer Fundstelle in Wyoming ausgeliehen und uns gestattet, eine Probe von Knochenmaterial für die Ca-Isotopenanalyse zu entnehmen. Um die Nahrung des ausgestorbenen, flugunfähigen Großlaufvogels an Hand von Ca-Isotopen zu ermitteln, entstand eine enge Forschungskooperation mit den folgend genannten Kollegen, denen M. H. insbesondere dankt: Dr. Thomas Tütken und Dipl. Biol. Petra Held (beide Institut für Angewandte und Analytische Paläontologie, Mainz) sowie Dr. Stephen Galer (Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz). Dr. Christian Wirkner (Institut für Biowissenschaften, Universität Rostock) führte die MicroCT-Analysen der Fußknochen

## 9. Acknowledgements

### Financial and Logistical Support

This exhibition and catalogue are funded by the Kulturstiftung des Bundes (German Federal Cultural Foundation), with additional support from Martin-Luther-University Halle-Wittenberg and the Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (National Academy of Science). Lighting equipment was loaned from the Landesmuseum für Vorgeschichte (Museum for Prehistory) here in Halle (Saale). We are much indebted to each of these institutions for their kind sponsorship. Dr. Frank D. Steinheimer secured the initial funding for the International Museum Fellowship of the German Federal Cultural Foundation. He coordinated the financial issues and many of the logistical issues concerning both the current exhibition as well as the catalogue and reviewed most of the catalogue and exhibition text. Arila-Maria Perl arranged the layout and design of the exhibit panels, catalogue and the education program. Dr. Monika Hellmund proof-read all catalogue and exhibition text. At the “Leopoldina” Katharina Schmidt, Dr. Danny Weber, Toni Klisch and Torsten Thielemann helped with the exhibition set-up and public relations. Dr. Marie Haff and Hanna Saur accompanied the project for the Cultural Foundation.

### Scientific Support

Additional support was given in the form of loans of fossils, casts, and recent bones of crocodiles and birds from PD Dr. Alexander Kupfer and Christine Zeitler (both from the Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart) and from Carl Mehling (American Museum of Natural History, New York). Additional thanks to Dr. Karla Schneider (ZNS, Zoological Collection of Martin-Luther-University Halle-Wittenberg) and Dr. Stephan Meng (Institut für Geographie und Geologie, Greifswald University) who provided access to further osteological material under their care. Prof. Dr. Kenneth D. Rose (Center for Functional Anatomy and Evolution, Johns Hopkins University, Baltimore, USA) was kind enough to loan vertebrae from *Gastornis* for our study and isotopic sampling. Assessing the diet of the extinct giant flightless bird *Gastornis* by Ca isotope analysis was done with the following collaborators: Dr. Thomas Tütken and Dipl. Biol. Petra Held (both from the Institut für Angewandte und Analytische Paläontologie, Mainz) and Dr. Stephen Galer (Max Planck Institute for Chemistry, Mainz). M. H. thanks all of them for their successful collaboration. Dr. Christian Wirkner (Institut für Biowissenschaften, Universität Rostock) conducted the microCT analysis of foot bones, which were utilized in the skeletal reconstruction of *Boverisuchus*. Thanks also go to the participants of the course “Scientific preparation techniques and their application to Geiseltal material”, presented by Dr. Meinolf Hellmund (with assistance from Christoph Koehn and Michael Stache, at Martin-Luther-University Halle-Wittenberg). The students contributed in establishing a model template of the mandible on the basis of two incomplete original fossils. This model was later used as the basis for 3D scanning and was incorporated into the final skeleton assembly.

## 9. Danksagung

aus, die für die Skelettrekonstruktion von *Boverisuchus* Verwendung fanden. Unser Dank richtet sich auch an die Teilnehmer der Lehrveranstaltung „Wissenschaftliche Präparationstechniken und ihre Anwendung an Geiseltalmaterial“, durchgeführt von Dr. Meinolf Hellmund (Assistenz Christoph Koehn bzw. Michael Stache), an der Martin-Luther-Universität für ihren Beitrag zur Rekonstruktion und zur Herstellung einer Modellvorlage eines Unterkiefers von *Gastornis* auf der Basis zweier unvollständiger Originalobjekte. Dieses Modell diente später als Grundlage für das 3D-Scanning und wurde in die Skelettmontage übernommen.

### Unterstützung bei der Skelettrekonstruktion

Wissenschaftlicher Erfolg und die Präsentation von Ausstellungsobjekten wie zum Beispiel Skelettrekonstruktionen in höchster Perfektion verlangen eine sehr enge Zusammenarbeit aller beteiligten Personen, hohes Engagement, professionelle Kompetenz und nicht zuletzt auch ein Stück Enthusiasmus. Die Rolle des involvierten Präparators, der eine große Verantwortung für den Erfolg einer Ausstellung mitträgt, ist hierbei besonders hoch einzuschätzen. Herr Michael Stache, geowissenschaftlicher Präparator am Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen, Geiseltalsammlung, hat diese Aufgaben hervorragend erfüllt und dafür danken wir ihm sehr herzlich. Unser Dank gilt auch dem im Ruhestand lebenden früheren Präparator Christoph Koehn (ehemals Institut für Geowissenschaften und Geiseltalmuseum, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), auf dessen lange Berufserfahrung wir jederzeit bei technischen Fragestellungen zurückgreifen konnten und der während seiner beruflichen Tätigkeit an der Skelettrekonstruktion des ausgestellten fossilen Pferdes beteiligt war. Die beiden Zoologischen Präparatoren Peter Mildner (Museum der Natur, Gotha) und Marco Fischer (Naturkundemuseum Erfurt) berieten uns und gaben uns wertvolle Hinweise zu Fragen hinsichtlich der definitiven Skelettmontagen. Der erstere modellierte zudem die Urpferdplastik für das Mini-Diorama. Dafür bedanken wir uns. Schließlich danken wir auch Kathryne Hastings, die an der Herstellung der *Boverisuchus*-Knochen für die Skelettmontage intensiv mitgewirkt hat.

### Fotografische Arbeiten und Bildnutzung

Herr Markus Scholz (Halle/Saale) hat die ihm übertragenen fotografischen Arbeiten in gewohnt sorgfältiger und professioneller Weise sowohl für die Ausstellung als auch für den Begleitband zur Sonderausstellung ausgeführt. Dafür sind wir ihm verbunden. Wir bedanken uns auch bei Herrn Sönke Simonsen (Bielefeld) für die Erlaubnis der kostenfreien Wiedergabe einiger historischer Fotos aus dem Geiseltal der 1930er Jahre, die aus dem Nachlass seines verstorbenen Großvaters Karl Boy Simonsen (1914–1994) stammen.

## 9. Acknowledgements

### Skeletal Reconstruction Assistance

The skeletal reconstructions required a large amount of cooperation, commitment, professionalism, and enthusiasm among all of the people involved. Michael Stache deserves a very large amount of credit for the successful completion of these skeletons, but especially his care and attention to that of *Gastornis*. Our thanks also go to the former preparator of the Geiseltal Collection, Christoph Koehn, who came from retirement to lend his experience and technical expertise to the exhibition, especially for the *Gastornis* reconstruction. Thanks also go to Peter Mildner (Museum der Natur, Gotha) and Marco Fischer (Naturkundemuseum Erfurt), who provided helpful advice in the final mounting of the *Gastornis* skeleton and the *Propalaeotherium* mini-diorama. Finally, thanks to Kathryne Hastings for helping to produce the reconstructed bones of the *Boverisuchus* skeletal reconstruction.

### Photo Assistance and Permission

Thanks to Markus Scholz, Halle (Saale), for preparing photos for this catalogue. Mr. Sönke Simonsen (Bielefeld) was kind enough to allow us to reproduce some of his historical photos from the 1930s of Geiseltal in this publication, free of charge. He inherited the photos from his late grandfather Karl Boy Simonsen (1914–1994).



MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT  
HALLE-WITTENBERG



gefördert im Programm Fellowship  
Internationales Museum der



## 10. Geiseltalsammlung: Das Team

Dr. Alexander K. Hastings...

ist internationaler Fellow (Stipendiat der Kulturstiftung des Bundes) und seit Juni 2013 an der Geiseltalsammlung wissenschaftlich tätig. Er präsentiert in diesem Begleitband erstmalig Ergebnisse aus seinen Studien. In seiner Dissertation hat er sich bereits mit fossilen krokodilverwandten Reptilien aus Südamerika befasst. Die dabei angewendeten Forschungsmethoden hat er schließlich auf die Geiseltalfossilien übertragen, um so ein besseres Verständnis über deren Ökologie und die Entwicklung altertümlicher Krokodile zu erlangen. An der Geiseltalsammlung arbeitet er eng mit Dr. Hellmund (s. u.) zusammen, unter anderem auch an allgemeinen Fragestellungen zur Fossilagerstätte Geiseltal.

Hastings wurde im Jahre 2012 an der University of Florida am Department of Geological Sciences promoviert, während er zugleich am Florida Museum of Natural History in Gainesville arbeitete. Er lehrte als Gastwissenschaftler an der Georgia Southern University am Department of Geology and Geography.

Dr. Alexander K. Hastings untersucht das fossile Skelett des Krokodils *Boverisuchus*. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Dr. Alexander K. Hastings studiert das Skelett des fossilen Krokodylians *Boverisuchus*. Foto: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 10. Geiseltal Collection: The Staff

Dr. Alexander K. Hastings...

is an international museum fellow funded by the Kulturstiftung des Bundes (German Federal Cultural Foundation). Since June 2013, he has worked at the Geiseltalsammlung (Geiseltal Collection), which is part of the Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen, ZNS (Center for Natural History Collections) at Martin-Luther-University Halle-Wittenberg. He now presents results from his studies in the Geiseltalsammlung for the first time in this catalogue. His doctoral dissertation subject was fossil crocodile-relatives from South America, and he has applied the research methods he has learned during his Ph.D. to the fossils of Geiseltal to better understand the ecology and evolution of ancient crocodylians. He now also works together with Dr. Hellmund (below) regarding general aspects of the Geiseltal fossil site.

Dr. Hastings received his Ph.D. at the University of Florida in 2012 at the Department of Geological Sciences, while working at the Florida Museum of Natural History in Gainesville, Florida. Following his graduation, he taught introductory geology as a Visiting Instructor at Georgia Southern University within the Department of Geology and Geography.



## 10. Geiseltalsammlung: Das Team

Dr. Meinolf Hellmund...

ist Wirbeltierpaläontologe mit Forschungsschwerpunkt Zahn- und Knochenmorphologien tertiärer Paarhufer, z. B. Altwelt- und Neuweltschweine und Unpaarhufer, z. B. Pferdeartige. In Kooperation mit dem Präparator Michael Stache haben die beiden das ausgestellte rekonstruierte Skelett des flugunfähigen großen Laufvogels *Gastornis geiselensis* erarbeitet, dessen Realisierung ganz wesentlich mit dem einzigartigen und sehr außergewöhnlichen Knocheninventar aus der Geiseltalsammlung in Zusammenhang steht.

Hellmunds wissenschaftlicher Werdegang begann an der Universität Bonn (Diplom Abschluss), gefolgt von einer Dissertation (Dr. rer. nat.) an der Universität Mainz. Daran anschließend erhielt er eine Volontärsstelle als Wirbeltierpaläontologe am Staatlichen Museum für Naturkunde in Stuttgart und dann am Rheinischen Amt für Bodendenkmalpflege in Bonn. Seit Juni 1992 ist er als Kustos am Geiseltalmuseum bzw. an der Geiseltalsammlung am ZNS tätig. Er übt außerdem eine regelmäßige Lehrtätigkeit am Institut für Geowissenschaften und Geographie (Allgemeine Geologie) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg aus.

Dr. Meinolf Hellmund beim Vermessen eines Oberschenkelknochens des Pferdes *Propalaeotherium*. Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Dr. Meinolf Hellmund measuring a fossil femur of the horse *Propalaeotherium*. Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 10. Geiseltal Collection: The Staff

Dr. Meinolf Hellmund...

is a vertebrate paleontologist with a focus on odontology and osteology (teeth and bones) of Tertiary hoofed mammals such as artiodactyls (e.g. old world and new world pigs) and perissodactyls (e.g. horses). In cooperation with the preparator, Michael Stache, they both have worked out the exhibited skeleton of the large flightless bird, *Gastornis geiselensis*, made possible by the unique and outstanding bone inventory available at the Geiseltalsammlung.

Hellmund's scientific education started at the University of Bonn (diploma thesis) followed by his doctoral thesis at the University of Mainz (Doctor of Natural History). He then took a volunteer position at Staatliches Museum für Naturkunde in Stuttgart and at Rheinisches Amt für Bodendenkmalpflege in Bonn. Since June 1992, he has held the curator position at the Geiseltal Museum/Geiseltalsammlung, now part of ZNS at Martin-Luther-University Halle-Wittenberg (MLU). He regularly teaches General Geology at the Institute for Geological Sciences and Geography, also at MLU.



## 10. Geiseltalsammlung: Das Team

Michael Stache...

ist seit 01.02.2012 geowissenschaftlicher Präparator an der Geiseltalsammlung. Er übernimmt darüber hinaus aber auch präparatorische Aufgaben an der Haustierkundesammlung des ZNS der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Bereits 1994 hatte er im Rahmen eines Schülerpraktikums erste Kontakte zum Geiseltalmuseum an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg geknüpft. Von 1995–1998 durchlief er die Ausbildung zum staatlich geprüften Präparationstechnischen Assistenten für Geowissenschaften in Bochum. Anschließend arbeitete er von 1998–1999 am Landesmuseum in Hannover. Daran schloss sich die Ableistung des Zivildienstes an. Im Jahre 2000 übernahm er die Stelle eines Geowissenschaftlichen Präparators bei der Senckenberg Forschungsstation für Quartärpaläontologie in Weimar, die er bis zum Ende des Jahres 2011 innehatte. Herrn Staches Tätigkeitsschwerpunkte sind: Präparation, Konservierung und Restaurierung von känozoischem Fossilmaterial, Restaurierung von rezentem Skelettmaterial, Skelettrekonstruktionen, verschiedene Abgusstechniken sowie die Erstellung von Modellen. Neuerdings nehmen das 3D Scanning und die CNC-Frästechnik und die Unterstützung beim Erstellen einer Datenbank für die Geiseltalsammlung einen breiteren Raum ein. Es fallen aber auch Tätigkeiten im Hinblick auf präventive Konservierungsmaßnahmen an.

Michael Stache trägt nach dem Ausfräsen eine Paste zur Glättung der Oberfläche des jeweiligen Objektes auf, hier an einem Bein von *Gastornis* für das Mini-Diorama (s. Kapitel 6). Foto: M. Scholz, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Michael Stache adding texture to the reconstructed leg of *Gastornis*, featured in a mini-diorama (see Chapter 6). Photo: M. Scholz, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

## 10. Geiseltal Collection: The Staff

Michael Stache...

joined the staff of ZNS at Martin-Luther-University Halle-Wittenberg as a preparator at the beginning of 2012. He carries out his work in both the Geiseltal Collection and in the Domesticated Animals Collection (also in ZNS).

Michael Stache began working at the Geiseltal Museum in 1994 as a student volunteer. From 1995–1998 he was educated as a geoscientific preparator at the Walter Gropius Berufskolleg (Professional College) in Bochum, Germany. Afterward, he worked for one year at the Landesmuseum Hannover (State Museum of Hannover). From 1999–2000, he completed his community service requirement for Germany. From 2000–2011 he held the position of preparator at the Senckenberg Forschungsstation für Quartärpaläontologie (Senckenberg Research Station of Quaternary Palaeontology) in Weimar, Germany. Michael Stache's work focuses on the preparation, conservation, and restoration of Cenozoic fossils, including preventative measures to mitigate the effects of 'pyrite disease'. His work also involves skeletal reconstructions, making models, and methods for molding. Lately he has worked intensively with 3D scanning and carving for skeletal reconstructions and fossil support cradles. Another aspect of his work involves the development of the Geiseltal Collection's database.



Impressum [Imprint]

Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen (ZNS)

Center for Natural Science Collections  
Leiter [Head]: Dr. Frank D. Steinheimer  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Domplatz 4  
06108 Halle (Saale)  
Deutschland [Germany]



Geiseltalsammlung Geiseltal Collection  
Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg



Sonderausstellung: „Aus der Morgendämmerung: Pferdejagende Krokodile und Riesenvögel:  
Neueste Forschungsergebnisse zur eoänen Welt Deutschlands vor ca. 45 Millionen Jahren“  
Special Exhibition: "Gaining Ground: Horse-hunting Crocodiles and Giant Birds:  
New research results on the Eocene World of Germany ca. 45 Million Years Ago"

Ort [Location]: Hauptgebäude der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina  
Main Building of the National Academy of Science Leopoldina  
Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale)

Ausstellungszeitraum: 6. März bis 29. Mai 2015  
Exhibition Period: March 6th to May 29th 2015

Text [Text]: Dr. Alexander K. Hastings & Dr. Meinolf Hellmund,  
mit einem Vorwort von [with a Preface by] Dr. Frank D. Steinheimer  
sowie Grußworten von [and Welcome Addresses by] Hortensia Völckers & Alexander Farenholtz und  
[and] Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg  
Lektorat [Proofreading]: Dr. Monika Hellmund  
Abbildungen, sofern nicht anders erwähnt [Images, unless otherwise noted]: Dr. Alexander K. Hastings,  
Dr. Meinolf Hellmund & Michael Stache (Archiv Geiseltalsammlung/ZNS [Geiseltal Collection Archive/ZNS])  
Gestaltung und Satz [Layout and type-setting]: Arila-Maria Perl  
Druck [Printing]: Druckerei Druck-Zuck GmbH, Halle (Saale)  
Gefördert durch [Sponsored by]: Kulturstiftung des Bundes im Programm „Fellowship  
Internationales Museum“  
In Kooperation mit [In Cooperation with]: Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina  
National Academy of Science Leopoldina  
Auflage [Circulation]: 3000 Exemplare [Copies]

ISBN: 978-3-940744-61-6

Einband [Cover]:

Oberfläche eines Lackfilmes aus der Oberen Mittelkohle des ehemaligen Tagebaues „Mücheln-Westfeld“, Geiseltal.  
Die stückige Oberflächenstruktur des Profilausschnittes ist ein sekundäres Phänomen, das auf der sukzessiven Aus-  
trocknung des ursprünglich in der Braunkohle enthaltenen Porenwassers beruht. Foto: A. Hastings und M. Hellmund  
2014, Archiv Geiseltalsammlung/ZNS.

Lacquer film sample of the upper Middle Coal Formation (Oberen Mittelkohle) from the open pit "Mücheln-Westfeld"  
at Geiseltal. The cracked texture of the brown coal substrate seen here is a result of desiccation (loss of pore water)  
after the lacquer film was collected. Photo by A. Hastings and M. Hellmund 2014, Geiseltal Collection Archive/ZNS.

