

Dem Andenken meines Lehrers und Freundes Herbert Stradner (1925–2022) gewidmet.

Hans Egger

Ostalpen-Saga

**Die Biografie
eines Gebirges**

VERLAG ANTON PUSTET

Im Osten enden die Alpen am Wiener Becken. Diese 50 km breite Ebene ist die einzige Unterbrechung des Alpen-Karpaten-Gebirges zwischen Südfrankreich und dem Schwarzen Meer. Anders als diese klare Ostgrenze, ist die geografische Abtrennung der Ost- von den Westalpen nur eine gedachte Linie, die vom Bodensee südwärts durch das Rheintal und dann über den Splügenpass zum Comer See verläuft. Die geologischen Einheiten queren diese Linie unbeeindruckt. Um Zusammenhänge besser darstellen zu können, wird deshalb in diesem Buch auch dann und wann mit einem Auge über den Rhein nach Westen „geschickt“, wie hier auf die Alpstein-Gruppe im Ostschweizer Kanton Appenzell. Die Felswände und wuchtigen Berge, im Hintergrund der Altmann (2.436 m), bestehen vorwiegend aus Gesteinen, die in der frühen Kreide-Zeit (145–100 Millionen Jahre vor heute) entstanden sind.



Inhalt

Vorwort9

1. Teil Einleitung 10

1•1	Die Außerirdischen.....	13
1•2	Steinalt?.....	15
1•3	Versteinertes Leben.....	18
1•4	Deckengebirge.....	24
1•5	Unser rastloser Planet.....	28

2. Teil Präkambrium bis Trias 34 1.400–201 Millionen Jahre vor heute

2•1	Präkambrium- bis frühe Karbon-Zeit.....	40
2•2	Späte Karbon- bis Trias-Zeit.....	50

3. Teil Jura bis mittleres Eozän 76 201–40 Millionen Jahre vor heute

3•1	Frühe Jura- bis frühe Kreide-Zeit.....	80
3•2	Späte Kreide-Zeit.....	110
3•3	Paläozän- bis mittlere Eozän-Zeit.....	142

4. Teil Spätes Eozän bis Pliozän 168 40–2,6 Millionen Jahre vor heute

4•1	Späte Eozän- bis frühe Miozän-Zeit.....	173
4•2	Mittlere Miozän- bis Pliozän-Zeit.....	194

5. Teil Pleistozän und Holozän 224 2,6–0 Millionen Jahre vor heute

5•1	Pleistozän-Zeit.....	230
5•2	Holozän-Zeit.....	246

Danksagung.....	267
Glossar.....	268
Orts- und Personenregister.....	273
Literaturauswahl.....	277
Geologische Zeittafel.....	285



Vorwort

An amerikanischen Universitäten werden bei vielen Lehrveranstaltungen sogenannte Trigger-Warnungen ausgesprochen, um zu verhindern, dass die Studierenden mit Inhalten konfrontiert werden, die ihre Gefühle verletzen könnten. Vielleicht sollte ich an den Anfang dieses Buches auch so eine Warnung setzen. Denn auch heutzutage glauben viele Menschen wortwörtlich den biblischen Schöpfungsbericht. So waren nach einer Umfrage des Gallup-Instituts (gallup.com) 40% der Bewohner der USA im Jahr 2019 der Ansicht, dass vor ein paar tausend Jahren irgendein göttlicher Zauberkünstler den Himmel, die Erde und die Lebewesen nacheinander aus seinem Zylinder gezogen hätte. Ganz zuletzt, als Höhepunkt und Krone des ganzen Hokuspokus, wäre dann noch der Mensch als Gottes Ebenbild aus dem Hut gekrochen. Seit damals wäre die göttliche Schöpfung unverändert und alles noch so wie am sechsten Tag.

Wer das glauben will, soll es ruhig glauben, aber dann besser nicht weiterlesen. Denn hier geht es um das geologische Weltbild, in dem Götter und Wunder keinen Platz haben und der Mensch nur eine von vielen Säugetierarten ist. Dieses Weltbild beruht auf Beobachtungen und Fakten, die von Naturwissenschaftlern in den letzten 200 Jahren gesammelt wurden und zeigt eine dynamische Erde, auf der nichts unverrückbar und ewig gültig ist. Die Lage der Kontinente und Ozeane und die Umweltbedingungen auf der Erde ändern sich ständig, genauso wie die Tier- und Pflanzenwelt, die sich an die neuen Gegebenheiten anpassen muss.

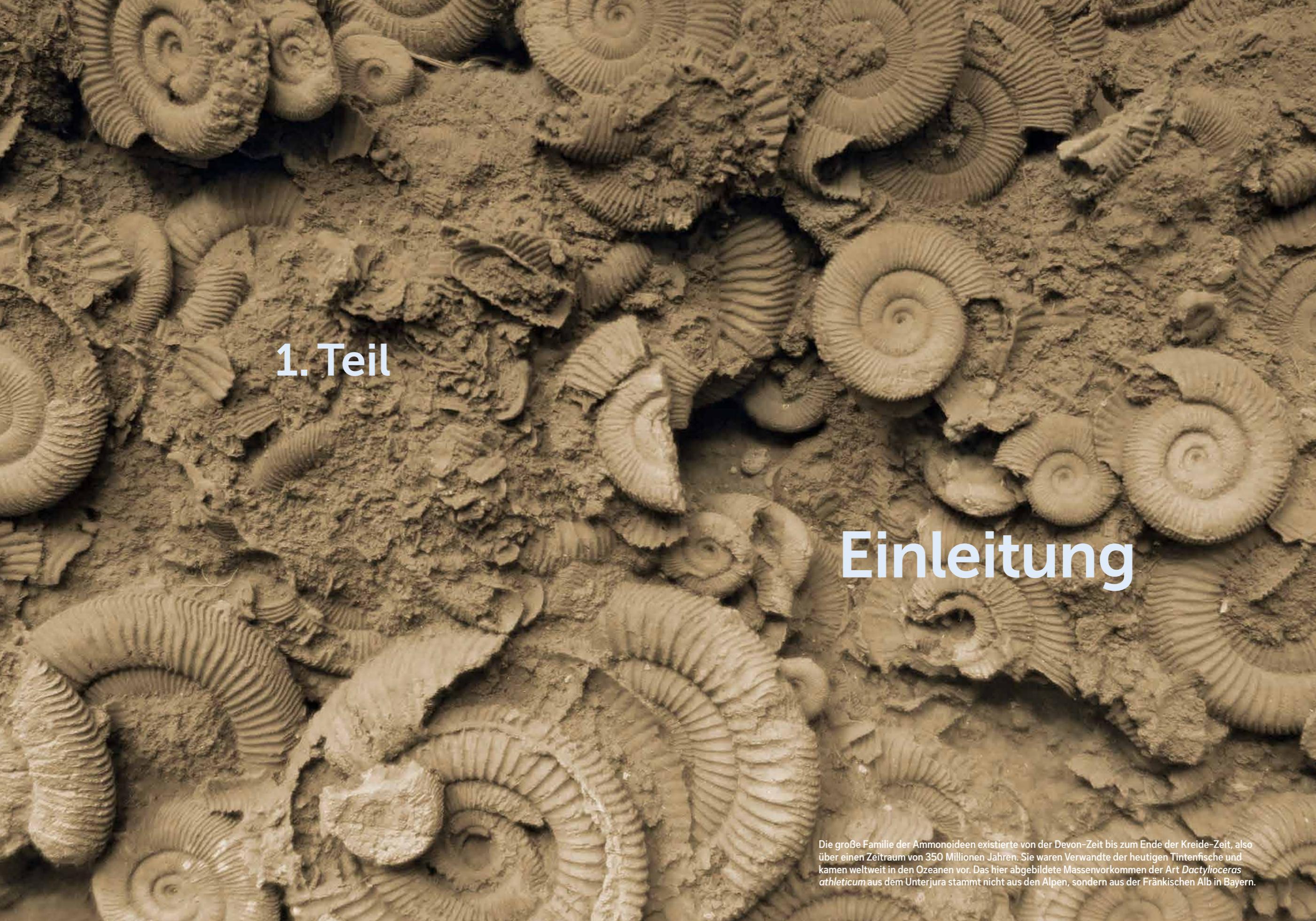
Ebenso haben auch Gebirge ein Haltbarkeitsdatum und bestehen nicht für alle Ewigkeit. Sie bilden sich dort, wo Erdkrustenplatten zusammenstoßen. Verwitterung und Abtragung sorgen dafür, dass selbst das höchste Gebirge wieder von der Landkarte verschwindet. Was wir heute als Gebirge sehen, ist nur das, was die Erosion vorerst übriggelassen hat. Mit der Oberfläche dieser Erosionsrelikte beschäftigt sich die Geografie (boshafte Geologen spotten daher manchmal, dass die Geografie die oberflächliche Betrachtung der Erdoberfläche sei), während die Geologie den Innenbau des Gebirges, die beteiligten Gesteine und die Ursachen und den Ablauf der Gebirgsbildung untersucht.

Das Gebiet des heutigen Österreich wurde schon vor rund 330 Millionen Jahren von einem Hochgebirge durchzogen. Letzte bescheidene Reste dieses Variszischen Gebirges sind die Hügellandschaften des Mühl- und Waldviertels. Variszische Gesteine setzen sich aber weit in den Untergrund der Alpen hinein fort, an deren Aufbau sie massiv beteiligt sind. Sie wurden in diesem jüngeren Gebirge, das sich vor rund 40 Millionen Jahren langsam zu heben begann, „recycelt“ und buchstäblich wieder aufgewärmt.

Mehr als tausend Millionen Jahre waren nötig, um alle Bestandteile der großartigen Gebirgslandschaft der Ostalpen zu bilden, die unübersehbar Teil des österreichischen Nationalstolzes sind. Das kommt nicht nur in der gern gebrauchten Bezeichnung „Alpenrepublik“ zum Ausdruck, sondern auch in der Bundeshymne, die gleich in der ersten Zeile das „Land der Berge“ würdigt. Jenseits von Aberglauben, Kitsch, Pathos und Heimat-tümelei will dieses Buch die Ostalpen als das zeigen, was sie sind: ein geologisch hochkompliziertes Gebirge mit einer immens langen und abwechslungsreichen Biografie. Diese gibt uns eine Vorstellung, was auf der Erde alles möglich ist, jenseits der kurzen Spanne der menschlichen Überlieferung und verdeutlicht die Statistenrolle, die uns bei diesen Vorgängen zukommt.

Die Existenz des modernen Menschen begann vor rund 300.000 Jahren und macht nur ein paar Tausendstel Prozent der gesamten bisherigen Erdgeschichte aus, die vor rund 4.600.000.000 Jahren einsetzt. Ungefähr genauso lange wird die Erde nach uns noch durch das All eiert, und die Existenz unserer Art wird schlussendlich nur ein ganz winziger und unwichtiger Teil der Erdgeschichte gewesen sein. Doch für die kurze Zeitspanne seines eigenen Lebens hat jeder von uns das Privileg, als denkendes Wesen die ungeheure Vielfalt unseres Planeten zu bestaunen und zumindest ansatzweise zu verstehen. Die großartige Landschaft der Alpen ist ein guter Platz, dieses Privileg zu nützen.

Eines der erstaunlichsten geologischen Naturdenkmale der Alpen ist die sagenumwobene Steinernes Agnes im Lattengebirge bei Bad Reichenhall. Aus einem rund 200 Millionen Jahre alten Dolomitgestein aus der späten Trias-Zeit hat die Erosion eine einzigartige 15 m hohe Skulptur geschaffen. Dem Volksglauben nach soll diese eine zu Stein erstarrte Sennerin sein, eine Art bayerische Frau Lot, die von Gott für ihren unmoralischen Lebenswandel bestraft wurde (aus: Egger 2017).

The image shows a vast number of ammonite fossils embedded in a reddish-brown, sandy matrix. The shells are mostly circular or slightly flattened, showing clear spiral patterns. Some are complete, while others are broken or partially obscured by the surrounding sediment. The overall appearance is that of a rich fossiliferous rock face.

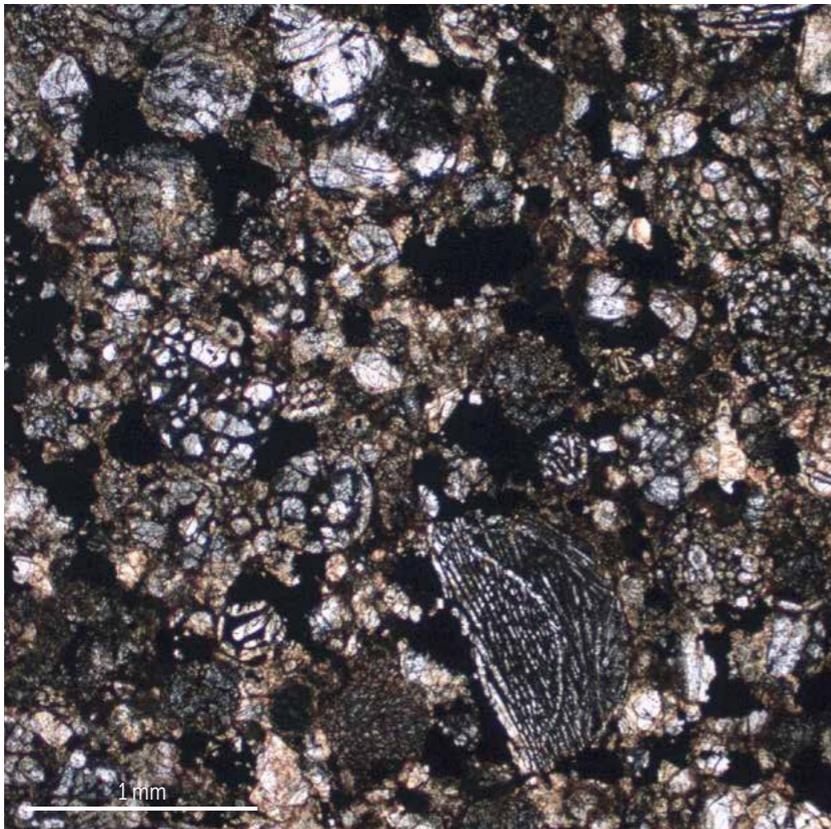
1. Teil

Einleitung

Die große Familie der Ammonoitiden existierte von der Devon-Zeit bis zum Ende der Kreide-Zeit, also über einen Zeitraum von 350 Millionen Jahren. Sie waren Verwandte der heutigen Tintenfische und kamen weltweit in den Ozeanen vor. Das hier abgebildete Massenvorkommen der Art *Dactyloceras athleticum* aus dem Unterjura stammt nicht aus den Alpen, sondern aus der Fränkischen Alb in Bayern.



Mit acht anderen Meteoriten gehört der 15 kg schwere Ybbsitz-Meteorit (hier ein originalgetreuer Abguss) zu den ältesten in den Ostalpen gefundenen Steinen.



Um den Aufbau von Gesteinen zu untersuchen, werden nur wenige Hundertstel Millimeter dicke, durchsichtige Gesteinsplättchen (Dünnschliffe) im Mikroskop betrachtet. Oft erinnern diese Dünnschliffe an abstrakte Bilder. Der Dünnschliff des Ybbsitz-Meteoriten zeigt Querschnitte winziger Kugeln aus Silikatmineralen. Diese Kügelchen werden Chondren genannt und sind typisch für Steinmeteorite, die deshalb auch Chondrite heißen (Foto: Ludovic Ferrière, Naturhistorisches Museum Wien).

1.1 Die Außerirdischen

„Jessas-Marant-Josef!“, wird der Arbeiter Franz Pittrich auf dem Heimweg vom Wirtshaus entsetzt aufgeschrien haben, als die nebelige Nacht plötzlich sekundenlang taghell erleuchtet war. Danach wieder Finsternis, Geknatter wie von Gewehrschüssen, Gedröhne und Getöse wie von einem nahenden Flugzeug, schließlich ein dumpfer Aufprall, der den Spuk beendete. Das alles geschah am 5. November 1932, einem Samstag, in Prambachkirchen, einem kleinen Ort etwa 30 Kilometer westlich von Linz. Franz Pittrich war um 21:55 Uhr Zeuge von etwas geworden, das nur wenigen Menschen zu erleben vergönnt ist: dem Fall eines Meteoriten. Der etwa zwei Kilogramm schwere, vom Himmel gefallene Stein wurde am nächsten Tag in einem Acker gefunden, wo er ein 30 cm tiefes Loch geschlagen hatte. Heute ist dieser aufsehenerregende Besucher aus dem All im oberösterreichischen Landesmuseum in Linz zu bewundern.

Noch spektakulärer war ein anderer Meteoritenfall in Oberösterreich, der sich am Nachmittag des 20. November 1768 in Mauerkirchen ereignete, zehn Kilometer südöstlich von Braunau am Inn. Hier schlug ein 21 kg schwerer Brocken auf, der größte Meteorit, der bis jetzt auf dem Gebiet des heutigen Österreich entdeckt wurde. Augenzeugen berichteten von einer Art Kanonendonner, bevor sich der extraterrestrische Gast einen Dreiviertelmeter tief in den Acker des Kleinhäuslers Georg Bart bohrte. Da das Innviertel damals zu Bayern gehörte, wird der größte Teil dieses Meteoriten als besonderes Prunkstück im Museum „Reich der Kristalle“ der Münchner Mineralogischen Staatssammlung aufbewahrt.

Dass abstürzende Meteore beobachtet und die vom Himmel gefallenen Steine anschließend auch gefunden werden, ist die Ausnahme. Aus den Ostalpen sind nur sieben solcher Fälle dokumentiert. Zwei weitere Meteorite wurden zufällig entdeckt, einer sogar von einem Geologen, der im Jahr 1977 am Nordhang des Prochenbergs in den niederösterreichischen Kalkalpen bei Ybbsitz buchstäblich über einen dieser Außerirdischen stolperte. Neidische Kollegen – eh schon wissen – erinnerten damals natürlich sofort an das Sprichwort von den Bauern, die

angeblich die größten Kartoffeln ernten. Aber wer hätte schon damit gerechnet, dass der rostig-braune Stolperstein ausgerechnet ein Meteorit ist? Der gute Mann erkannte die Bedeutung seines Funds nicht, nahm aber eine kleine Probe des seltsamen Steins mit. Zwei Jahre später gelangte dieses Bruchstück durch einen Zufall zu der Salzburger Mineralogin Elisabeth Kirchner, die anhand von Dünnschliffuntersuchungen schnell herausfand, was es damit auf sich hatte. Natürlich machte sich der Kollege, der die Probe gesammelt hatte, sofort wieder auf zum Fundort, jedoch – Himmel-Herrgott-Sakrament! – ausgerechnet dort war eine neue Forststraße gebaut worden. Doch wieder winkte ihm das Glück: Der fast 15 kg schwere Meteorit lag noch an Ort und Stelle, nämlich auf

der Böschung des neuen Wegs. Hätte man diesen einen Meter weiter in den Hang hineingebaut, wäre der Meteorit von Ybbsitz für immer verloren gewesen. So aber fand er nach einer Reihe schier unglaublicher Zufälle seinen Ehrenplatz im Naturhistorischen Museum in Wien, das eine der bedeutendsten Meteoriten-Sammlungen der Welt beherbergt.



Elisabeth Kirchner (1935–2023), Professorin für Mineralogie an der Universität Salzburg, erkannte im Jahr 1979 als Erste die Bedeutung des Ybbsitzer Funds.



Die häufigsten Fossilien von Schuppen- und Siegelbäumen aus der späten Karbon-Zeit sind Abdrücke der Stammoberfläche, wie hier von der Turracher Höhe (Steiermark). Sie zeigen rautenförmige Blattnarben, die nach dem Abfallen der Blätter auf dem Stamm zurückblieben. Bei den Schuppenbäumen (links) erinnern diese Blattnarben an Fischschuppen, daher der Name. Schuppen- und Siegelbäume gehörten zu den Bärlappgewächsen (Lycopsiden), die sich mit Sporen ausbreiteten. Sammlung des Stiftes St. Peter (Salzburg).

Späte Karbon- und Perm-Zeit

Seltsame Wälder

Vor 300 Millionen Jahren, in der späten Karbon-Zeit, waren die großen Landgebiete im Umkreis des Südpols weitflächig vergletschert. Trotz des kühlen globalen Klimas wuchsen rund um den Äquator und in den anschließenden gemäßigten Breiten die ersten großen Wälder der Erdgeschichte. Sie bestanden aus Bäumen, die völlig anders aussahen als jene, die wir heute kennen: bis zu 20 m hohe, mit den Farnen verwandte Schachtelhalme und doppelt so hohe Schuppen- und Siegelbäume waren die vorherrschenden Baumtypen. Anders als die Nadelbäume, von denen es damals nur wenige urtümliche Vertreter gab, und die Laubbäume, die erst viel später in der Erdgeschichte erschienen, gehörten die Schuppen- und Siegelbäume nicht zu den



Neuropteris sp. von der Stangalpe (Steiermark) sind die Blätter von Farnsamern. Diese waren neben den Nadelbäumen in der späten Karbon-Zeit die ersten Samenpflanzen der Erdgeschichte. Haus der Natur (Salzburg).

Samenpflanzen, sondern zu den Bärlappgewächsen (Lycopsiden), die sich mit Sporen ausbreiteten. Die bis zu 2 m dicken Baumstämme bestanden aus Holz. Was denn sonst, werden jetzt manche denken. Doch Holz war eine großartige neue Innovation der Natur, ein völlig neuer Baustoff, der das Höhenwachstum der Bäume erst möglich machte.

Die karbonzeitlichen Sumpfwälder bildeten die Grundlage für die Entstehung eines großen Teils der weltweiten Steinkohlevorkommen. Vermutlich spielte dabei aber nicht nur das üppige Pflanzenwachstum eine Rolle, sondern auch hervorragende Erhaltungsbedingungen für das neue Material Holz. Dieses verdankt seine Härte und Stabilität dem Stoff Lignin, der nur von Weißfäulepilzen zersetzt werden kann. Vermutlich gab es diese Pilze in der Karbon-Zeit noch nicht, sondern sie entstanden erst in der weiteren Evolutionsgeschichte des Lebens. Dimitrios Floudas und sein Team vermuten als wichtigste Ursache für die Bildung der riesigen Steinkohlevorkommen der Karbon-Zeit, dass Totholz damals nicht verrottete, weil es noch keine Spezialisten gab, die Holz zersetzen konnten.

Pflanzenfossilien

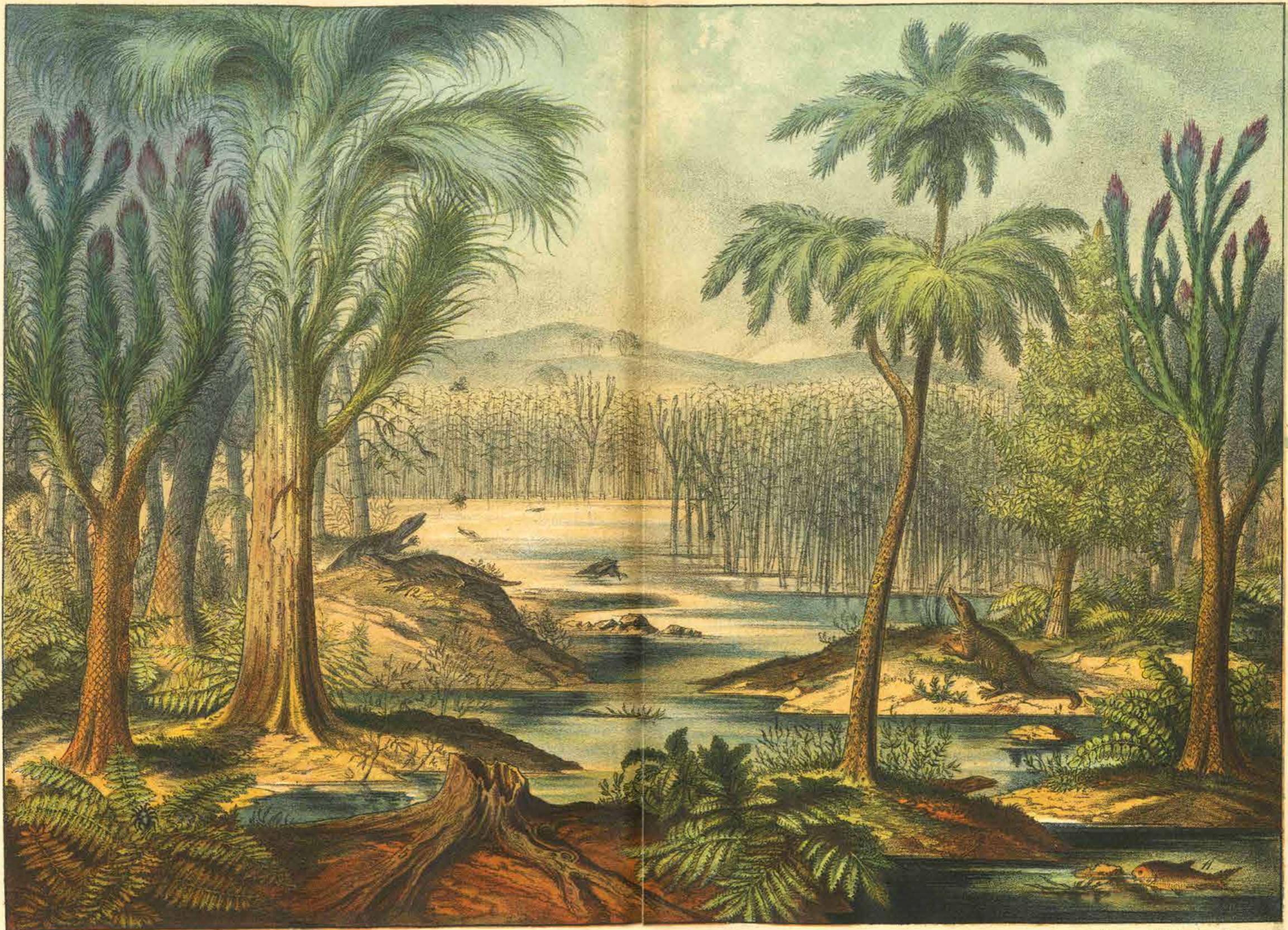
In den Ostalpen wurden Pflanzen und Kohlen aus der späten Karbon-Zeit an mehreren Stellen gefunden und manchmal auch bergmännisch abgebaut, beispielsweise rund um den Königsstuhl (2.336 m) im Grenzbereich der heutigen Bundesländer Salzburg, Kärnten und Steiermark. Aus den Bergwerken bei der Stangalpe und auf der Turracher Höhe stammen

Pflanzenfossilien wie die verholzten Stämme von Schuppen- und Siegelbäumen, die gemeinsam mit riesigen Schachtelhalmen in Sumpfwäldern wuchsen. Auf benachbarten trockeneren Standorten fühlten sich dagegen die bis zu 7 m hohen Farnsamern oder Samenfarne wohl, eine heute längst ausgestorbene Gruppe der Samenpflanzen, die eine Krone aus bis zu 5 m langen gefiederten Blattwedeln besaßen.

Etwas jünger als diese Vorkommen sind die Pflanzenfossilien aus der frühen Perm-Zeit, die in den Gailtaler Alpen nördlich von Kötschach-Mauthen in Kärnten entdeckt wurden. Darunter das größte bisher in den Ostalpen gefundene Pflanzenfossil, ein fast 9 m langer Stamm eines Nadelbaums, eines sogenannten Cordaiten, der als Naturdenkmal oberhalb des Turbinenhauses des Kraftwerks Laas besichtigt werden kann. Er ist einer von mehreren Baumstämmen und Pflanzenabdrücken, die darauf hinweisen, dass das Klima vor 280 Millionen Jahren hier noch feucht genug war für das Überleben einer spärlichen Vegetation mit einzelnen bis zu 30 m hohen Nadelbäumen. Deren Stämme liegen heute kreuz und quer im Sandsteinfels, Karl Krainer von der Universität Innsbruck zufolge ein Hinweis auf Starkregen, deren Wassermassen die Stämme mitrissen, ablagerten und schnell in Sand eingebetteteten. Das waren am Südrand Pangäas nicht die einzigen Naturkatastrophen in der frühen Perm-Zeit, vielmehr gab es zwischen 285 und 275 Millionen Jahre vor heute auch heftigen explosiven Vulkanismus, der in Südtirol den bräunlichen Bozener Quarzporphyr hinterlassen hat. Die heftigen Ausbrüche haben damals sicher auch das unmittelbar

Das größte Fossil der Ostalpen ist der fast 9 m lange Stamm eines urtümlichen Nadelbaums aus der frühen Perm-Zeit beim Kraftwerk Laas (Kärnten). Foto: Wiki commons (Raul de Chissota, ID He04)





Lith. von J. P. Schreiber in Esslingen.

Im Jahr 1872 bestimmte das Kaiserhaus den Geologen Ferdinand Hochstetter, damals Professor an der Technischen Hochschule in Wien, zum Privatlehrer des Kronprinzen Rudolf. Möglicherweise war das der Anstoß für ein neues Buch Hochstetters, das 1873 „zum Anschauungs-Unterricht und zur Belehrung in

Schule und Familie“ erschien. Aus diesem Werk „Geologische Bilder der Vorwelt und Jetztwelt“ stammt die Darstellung eines Kohlesumpfs aus der Karbon-Zeit. Sie zeigt verschiedene Arten von Siegel- und Schuppenbäumen, Schachtelhalme, Farne, Farnsamer, Ganoidfische und Panzerlurche.



Ein Pachypleurosaurier (*Neusticosaurus* sp.) aus den Gailtaler Alpen in Kärnten. Originalgröße, Foto: Karl Weiss.

bisher in den Ostalpen nicht bekannt waren. Da waren zum einen die Überreste von Pfeilschwanzkrebsen aus der Ordnung der Schwertschwänze, die seit mindestens 440 Millionen Jahren das flache Wasser vor tropischen Sandküsten bewohnen. Zum andern waren es fossile Würfelquallen, die an den Strand gespült und dort rasch mit Sediment bedeckt worden waren, sonst hätten sich die Abdrücke der schwabbeligen Körper dieser Nesseltiere, die hauptsächlich aus Wasser bestehen, nicht erhalten können.

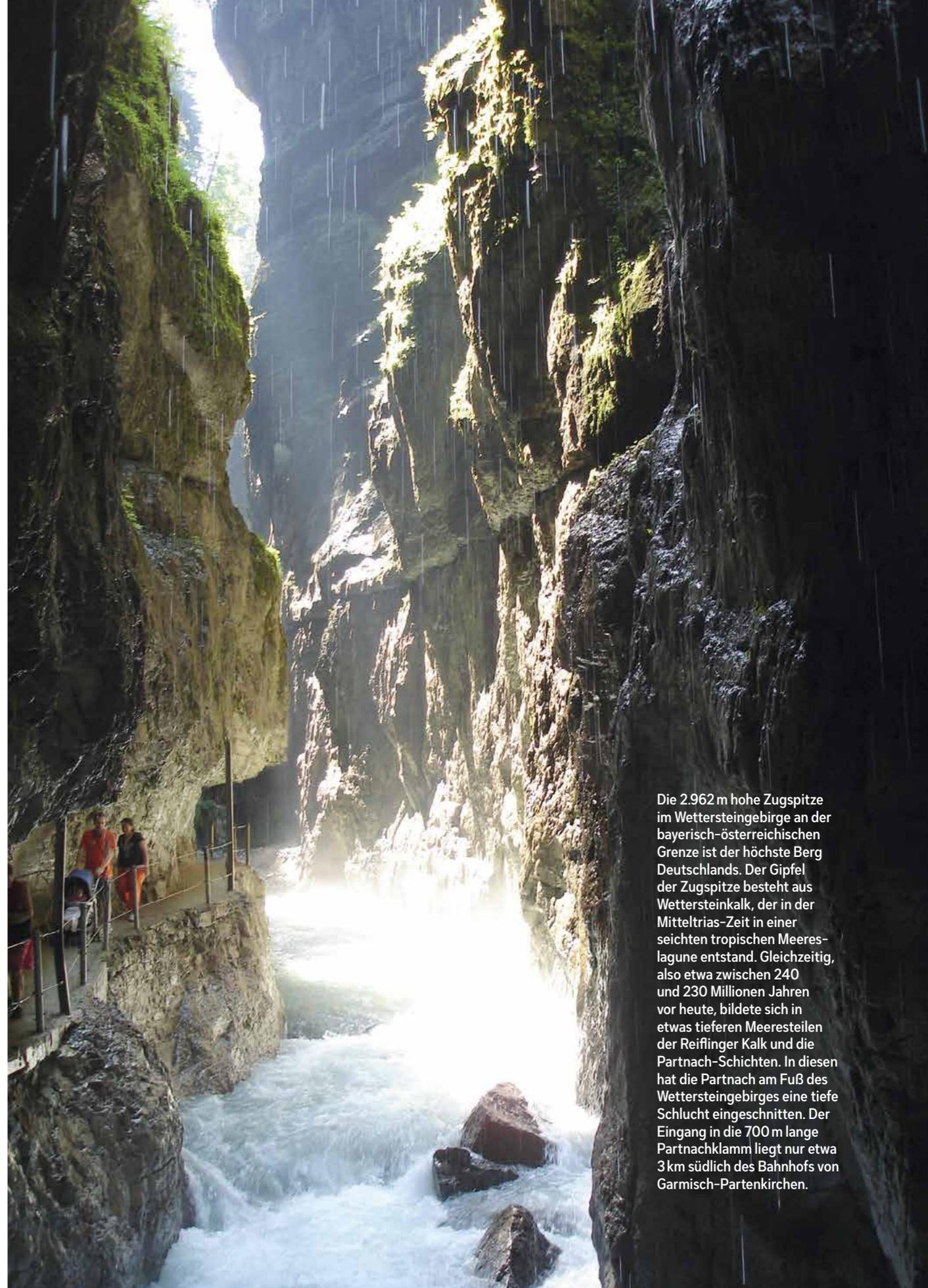
Abstecher ins Tessin

Durch die weitere Absenkung der Erdkruste vertiefte sich das Meer etwas und die Sedimentation änderte sich dadurch. Vom Festland eingespülter Sand und Ton verloren stark an Bedeutung, stattdessen wurden ab der mittleren Trias-Zeit vor allem Kalk und Dolomit auf dem Boden dieses flachen Meeres abgelagert. Wo Meeresströmungen für ein reiches Nahrungsangebot sorgten, wuchsen Korallenriffe, dazwischen lagen bis zu 100 m tiefe Becken mit eingeschränkter Wasserzirkulation. Am Grund dieser Becken war das Wasser sauerstoffarm, weswegen organische Substanz nur unvollständig verweste. Daher sind die dort gebildeten Kalke bitumenreich und dunkel gefärbt. Durch den Sauerstoffmangel können auf solchen Meeresböden auch keine Aasfresser leben, genauso verhinderte das Fehlen von Strömungen, dass auf den Boden gesunkene Kadaver auseinandergerissen und zerstört werden. Solchen idealen Bedingungen für die fossile Erhaltung von Tierleichen verdankt eine der weltweit bedeutendsten Fundstellen mitteltriassischer Fische und im Meer lebender Saurier ihre Entstehung. Das Gebiet um den Monte San Giorgio am Südufer des Luganer Sees wurde deshalb sogar von der UNESCO zum Welterbe erklärt. Viele der Originalfunde sind im paläontologischen Museum in Zürich ausgestellt.

Ähnliche Verhältnisse, wie sie bei der Ablagerung der Gesteine des Monte San Giorgio herrschten, gab es zeitgleich auch andernorts am Rand der Tethys. Sogar aus dem südlichen China sind zahlreiche Fossilien von Wirbeltieren bekannt, die zwischen 245 und 230 Millionen Jahren vor heute lebten und mit den Formen des Monte San Giorgio nahe verwandt waren. Womöglich entwickelten sich sogar einige der aus Europa bekannten mitteltriassischen Reptilien- und Fischarten in der östlichen Tethys und breiteten sich von dort 6.000 km weit nach Westen bis in die Gegend des künftigen Monte San Giorgio aus.

Flossenechsen aus Kärnten

Die ersten Knochen mitteltriassischer Meeresreptilien wurden in Kärnten bereits 1844 in den Gailtaler Alpen westlich von Villach entdeckt. Dank dem Engagement mehrerer Sammler, allen voran von Karl Weiss aus Berg an der Drau, konnten in den letzten Jahren aus den Partnach-Schichten etliche neue und sogar fast vollständige Skelette solcher Tiere geborgen werden. Wie am Monte San Giorgio handelt es sich um die Überreste von Flossenechsen (Sauropterygia), vor allem aus der Familie der Pachypleurosaurier, die sich ähnlich wie



Die 2.962 m hohe Zugspitze im Wettersteingebirge an der bayerisch-österreichischen Grenze ist der höchste Berg Deutschlands. Der Gipfel der Zugspitze besteht aus Wettersteinkalk, der in der Mitteltrias-Zeit in einer seichten tropischen Meereslagune entstand. Gleichzeitig, also etwa zwischen 240 und 230 Millionen Jahren vor heute, bildete sich in etwas tieferen Meeresteilen der Reiflinger Kalk und die Partnach-Schichten. In diesen hat die Partnach am Fuß des Wettersteingebirges eine tiefe Schlucht eingeschnitten. Der Eingang in die 700 m lange Partnachklamm liegt nur etwa 3 km südlich des Bahnhofs von Garmisch-Partenkirchen.

3•1

Frühe Jura- bis frühe Kreide-Zeit



Frühe Jura- bis mittlere Jura-Zeit

Die Geburt des Penninischen Ozeanbeckens wurde durch das Aufreißen eines Hunderte Kilometer langen Grabens eingeleitet, der den südlichen Schelf Pangäas von Westen nach Osten durchschnitt. Bald nach Beginn der Jura-Zeit vor etwa 180 Millionen Jahren, es können auch ein paar mehr oder weniger gewesen sein, war dieser Graben bereits so ausgeprägt, dass er eine deutliche Grenze zwischen Gebieten mit völlig verschiedener Sedimentation bildete.

Der Nordrand des Grabens

Im Norden lag ein Gebiet, das stark vom benachbarten Böhmischem Massiv beeinflusst wurde, von dem ein großes Stück als Festland aus dem Meer ragte. Dieses Hügelland (Vindelizisches Land) lieferte Geröll, Sand und Ton in das angrenzende Küstengebiet, wo in Sümpfen eine reichhaltige Vegetation spross. Die abgestorbenen Reste der jurassischen Sumpfpflanzen sind in den kohleführenden Grestener Schichten der ober- und niederösterreichischen Voralpen erhalten, wo sie an mehreren Orten bergmännisch abgebaut wurden. Südlich von St. Pölten befand sich ein solches Steinkohlebergwerk bei Bernreith im Gölsental, südöstlich der Stadt Steyr versorgte das Bergwerk im Pechgraben bei Großraming das Sensenwerk in Laussa und die Messingfabrik in Reichraming mit Steinkohle. Im Pechgraben waren zeitweilig bis zu 160 Bergmänner beschäftigt, die zwischen 1832 und 1882 in mehreren kilometerlangen Stollen insgesamt 7.500 t Steinkohle abbauten. Eine ganze Menge, wenn man bedenkt, dass die Lagen reiner Kohle, also die Flöze, dort maximal nur einige Dezimeter dick werden. Die Steinkohle der Flöze ist so stark umgewandelt, dass darin kaum noch

Dieser Farnwedel (*Dictyophyllum* sp.) aus den Grestener Schichten wurde kurz nach seinem Absterben von Schlamm bedeckt. Erst rund 180 Millionen Jahre später kam er beim Steinkohleabbau im Pechgraben wieder ans Tageslicht.

Der Einfluss des nahen Festlands zeigt sich auch in den aus Kristallinkomponenten aufgebauten Konglomeraten der Grestener Schichten.



Fossilien erkennbar sind. Gut erhaltene Pflanzenfossilien kommen insbesondere in den „Kräuterschiefern“ vor, so bezeichneten die Bergleute die sandigen Sedimentgesteine zwischen den einzelnen Flözen. Durch den Anstieg des Meeresspiegels wurden die Sumpflandschaften überflutet und darauf Meeressedimente abgelagert. Typisch für diese Flachmeerablagerungen sind fossile Austern, wie sie auch im westlichsten Vorkommen der Grestener Schichten, im

Gschlifgraben bei Gmunden, vorkommen. Diese Meeresablagerungen zeigen bereits starke Ähnlichkeiten mit den berühmten fossilreichen Ablagerungen des schwäbischen und fränkischen Jura in Süddeutschland, mit denen sie im Westen in Verbindung standen. Ähnlichkeiten bestehen auch zu den fossilführenden metamorphen Unterjura-Gesteinen der zentralen Ostalpen, die aus dem Tiroler Paznauntal als „Steinsberger Lias“ bekannt sind.



Dieser Unterjura-Ammonit stammt aus dem metamorphen „Steinsberger Lias“ bei Ischgl im Paznauntal (Nordtirol).



Die Meeresmuschel *Gryphaea arcuata* wurde im westlichsten Vorkommen der Grestener Schichten, im Gschlifgraben bei Gmunden (Oberösterreich) entdeckt. Die gebogenen Muschelklappen werden umgangssprachlich „Teufelsklauen“ genannt.



Die Turbidite der Rhenodanubischen Zone lassen sich stark vereinfacht in drei Gruppen unterteilen: in quarzreiche Sandsteinturbidite, kalkreiche Schlammurbidite und Formationen, für die rotgefärbte Tonsteine kennzeichnend sind.

Das Material der quarzreichen Turbidite setzt sich aus vom damaligen Europäischen Kontinent erodierten Sand, Silt und Ton zusammen, wurde durch Flüsse ins Meer geschüttet und dort von Trübeströmen hinunter in die Tiefsee verfrachtet. Durch den hohen Meeresspiegel der späten Kreidezeit wurde die Anlieferung von Sand unterbrochen, weil die Flussmündungen weit vom Kontinentalrand entfernt waren. Dadurch kam die Ablagerung von Turbiditen weitgehend zum Erliegen und statt grobkörnigem Sand wurde nun roter Ton abgelagert. Ganz langsam, Tonblättchen für Tonblättchen, jedes nur wenige Tausendstel Millimeter groß, bauten sich diese Sedimentschichten am Tiefseeboden auf. In einem Jahrtausend entstand so eine Tonschicht von weniger als einem Zentimeter.

Die Rotfärbung ist eine Folge der sehr langsamen Ablagerung, weil dabei die Tonblättchen lange dem im Meerwasser enthaltenen Sauerstoff ausgesetzt sind, der das immer in winzigen Mengen vorhandene Eisen „verrosten“ lässt. Da der hohe Meeresspiegel der späten Kreidezeit ein globales Phänomen war, ist es auch die Rotfärbung von Sedimentgesteinen aus dieser Zeit. Ein internationales Projekt unter chinesischer Führung untersuchte diese Zusammenhänge von den Alpen bis zum Himalaya, wo ich Gelegenheit hatte, rote Kreide-Ablagerungen in Tibet mit altersgleichen ostalpinen Vorkommen zu vergleichen.

Abgesehen von den roten Tiefseetonen sind aus der Zeit des hohen Meeresspiegels in der Rhenodanubischen Supergruppe stark kalkhaltige Turbidite überliefert. Der Kalkschlamm der Turbidite wurde durch Trübeströme von höhergelegenen Teilen des Penninischen Ozeanbeckens tiefer hinunter bis zum Hangfuß verfrachtet. Der Schlamm besteht aus den winzigen Hartteilen von Plankton-Organismen. Ähnliche Sedimente kamen in der späten Kreidezeit weltweit in vielen Meeren zur Ablagerung, wie im Gebiet der schon vorher erwähnten weißen Klippen von Dover.

Dicke Bänke quarzreicher Sandsteine vom Beginn der späten Kreidezeit im Rosental im Westen von Wien (aus Egger & Wessely, 2014).

Rote Tonsteine mit dünnen Turbiditbänken liegen vielerorts, wie hier bei Grünau im Almtal in Oberösterreich, über den grobkörnigen Sandsteinen.



Auch helle Kalkschlammurbidite, wie hier am Leopoldsberg bei Wien, sind Ausdruck des Meeresspiegelanstiegs in der späten Kreidezeit.

Die Kalkschlammurbidite sind besonders schön im Röthenbachtal bei Füssen in Bayern aufgeschlossen, das daher namensgebend für diese Gesteine (Röthenbach-Subgruppe) in der ganzen Rhenodanubischen Zone ist (Egger & Schwerd 2008).





Wirfel- und Futsteine

Nicht wegen ihrer stratigrafischen Bedeutung, die eher gering ist, sondern wegen ihres häufigen Vorkommens in den Gosau-Schichten und ihrer Rolle als magische Objekte im Volksglauben werden hier noch zwei weitere Fossilgruppen erwähnt: die Schneckengattung *Trochactaeon* und die Einzelkorallengattung *Cunnilites*.

Hie und da treten Schalen von *Trochactaeon* in solchen Massen auf, dass sie gesteinsbildend sind. Das bekannteste Vorkommen und einer der bekanntesten Fossil-Fundpunkte der Ostalpen überhaupt ist das Naturdenkmal Schneckenwand, wohin von der Kirche im salzburgischen Rußbach am Pass Gschütt ein ausgeschilderter Wanderweg führt. Massenvorkommen von Fossilien, die sich aber nur aus einer oder wenigen Tierarten zusammensetzen, deuten auf besondere Umweltbedingungen hin, die nur für diese Arten ideal waren, sodass sie sich von keiner Konkurrenz gestört vermehren konnten. Die immense Häufigkeit von *Trochactaeon* hängt vermutlich mit dem Salzgehalt des Meerwassers zusammen. Glaubte man lange Zeit, die Tiere hätten in der Umgebung von Flussmündungen gelebt, wird jetzt auch die Meinung vertreten, dass der Lebensraum dieser Tiere eine Lagune mit erhöhtem Salzgehalt war. Die Antwort darauf, welche dieser beiden Interpretationen richtig ist, muss ich hier schuldig bleiben.

Der Querschnitt der Schneckengehäuse hat die Form einer weißen Spirale, die sich von der grauen Sedimentfüllung der dazwischen liegenden Hohlräume farblich deutlich abhebt. Im Volksglauben galten solche Steine als Heilmittel gegen die vom Schafbandwurm ausgelöste Drehkrankheit (Coenurose) und wurden als „Wirfelsteine“ in die Futtertröge von Schafen gelegt. Auch heute kann man im Salzburg und Oberösterreich noch gelegentlich hören, dass sich jemand „wirfelig“ fühlt, wenn er oder sie unter Drehschwindel leidet.

Warme, seichte, tropische Meeresgebiete sind seit der mittleren Trias-Zeit auch der bevorzugte Lebensraum von Steinkorallen, die große Riffe bilden

Quer- und Längsschnitte von Meeresschnecken (*Actaeonellen*) aus der späten Kreide-Zeit. Massenvorkommen dieser Fossilien aus den unteren Gosau-Schichten sind in den Nördlichen Kalkalpen von vielen Vorkommen bekannt. Die hier gezeigte Platte stammt aus Windischgarsten in Oberösterreich und ist dort beim Aussichtsturm am Wurzbauerkogel ausgestellt (Bildlänge ca. 1 m).



Unter- und Oberseite von *Cunnilites macrostoma* aus Rußbach in Salzburg (Sammlung St. Peter, Originalgröße).

können, falls auch die übrigen ökologischen Voraussetzungen gegeben sind. Dazu zählen ein normaler Salzgehalt des Meerwassers und Wassertemperaturen von durchschnittlich etwa 25 °C. Diese Bedingungen waren in dem seichten Meer gegeben, von dem das Gebiet der künftigen Ostalpen in der späten Kreide-Zeit teilweise bedeckt war, trotzdem existierten dort keine großen Riffe. Vermutlich, weil das Wasser durch Sand und Schlamm getrübt war, die von Flüssen aus den umliegenden Landgebieten eingespeist wurden. Statt großer Riffe entwickelten sich nur kleine Riffknospen und auf dem schlammigen Meeresboden lagen Einzelkorallen, von denen besonders Exemplare der Gattung *Cunnilites* häufig waren.

Der Name *Cunnilites* ist vom lateinischen Wort *Cunnius* hergeleitet. Diese medizinische Bezeichnung für das weibliche Geschlechtsorgan war früher auch in vornehmen Kreisen üblich. Die Äpler hatten die gleichen Assoziationen, waren aber weniger vornehm und nannten die seltsamen Steine einfach „Futsteine“. Sexshops, in denen man Futsteine hätte besorgen können, brauchten die Alpenbewohner nicht, denn im Verbreitungsgebiet der unteren Gosau-Schichten liegen die Dinger bisweilen massenhaft in den Bachbetten herum und müssen nur aufgeklaut werden. Bevor sich jemand in der Hoffnung auf ein erfüllteres Sexualleben auf den Weg zum Bachbett macht, sollte er oder sie zumindest wissen, dass die Futsteine kein Sexspielzeug sind, sondern ausschließlich dem Fruchtbarkeitszauber dienen. Kinderlose Frauen trugen sie als Amulette in der Hoffnung, dass sich so der ersehnte Nachwuchs einstellen würde.

Spurenfossilien

In allen Lebensräumen der Erde hinterlassen Tiere und Pflanzen ihre Spuren in weichen Sedimenten. Die vielfältigsten Funde solcher Fossilien stammen in den Ostalpen aus der Kreide- und Paläogen-Zeit, von denen wir in diesem Kapitel einige bemerkenswerte Vertreter vorstellen wollen. An und für sich ist es ja erstaunlich, dass sich Spuren überhaupt erhalten können, sind doch Spuren im Sand geradezu eine Metapher für Vergänglichkeit. Oft werden sie tatsächlich rasch zerstört, ein Regenguss oder eine Welle reichen aus, um sie zu verwischen.

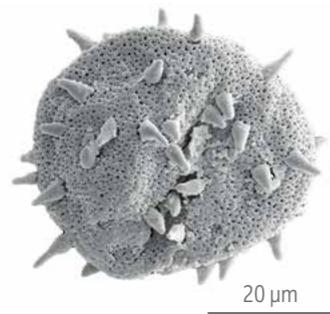
Umso erstaunlicher, dass Lebensspuren, wenn das Drumherum stimmt, sich fossil über viele Jahrmillionen hinweg erhalten und manchmal sogar eine leichte Metamorphose des Gesteins überstehen können. Als besonders ergiebig in dieser letzten Hinsicht erwies sich das Gebiet der „Drei Brüder“ östlich von Fusch an der Glocknerstraße im Bundesland Salzburg. Dort, in den Bündner Schiefer der Hohen Tauern, entdeckte ein Salzburger Student, mein Studienkollege Josef Sägmüller, im Jahr 1979 Fossilien aus der frühen Kreide-Zeit. Eine kleine Sensation! Leider starb „Sägi“ bald darauf bei einem Fahrradunfall. Bei einer späteren Nachsuche wurden in den Schutthalde Gesteinsplatten mit verschiedenen Spurenfossilien entdeckt. Wie meist in solchen Fällen, übernahm Alfred Uchman von der Universität Krakau, einer der weltweit führenden Experten für Spurenfossilien, die Bearbeitung der Funde. Alfred konnte etliche der Spuren identifizieren. Die vorkommenden Arten belegen einen tiefmarinen Lebensraum innerhalb des Penninischen Ozeanbeckens.



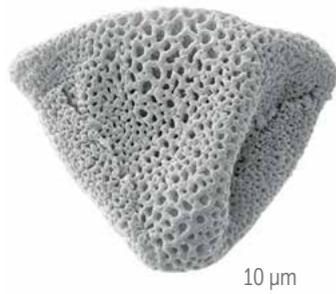
Nypa-Palmen an einer Flussmündung in Indonesien. So ähnlich sah es zu Beginn der Eozän-Zeit in Kärnten aus.



In einer Senke zwischen den Granithügeln, wo sie von der Erosion verschont wurde, liegt die Mühlviertler Kaolin-Lagerstätte.



20 μm



10 μm

Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Pollenkörnern der Nypa-Palme (oben) und einer weiteren Palmenart aus dem unteren Eozän des Krappfelds in Kärnten (Fotos: Christa-Charlotte Hofmann).

Tropisches Land

Festlandablagerungen aus der Eozän-Zeit sind in den Ostalpen nur sehr spärlich an den ehemaligen Küsten des Penninischen Ozeans erhalten. Diese wenigen Vorkommen sprechen eine deutliche Sprache, die eindrücklich auf die Entstehung dieser Gesteine in tropischen Gefilden hinweist.

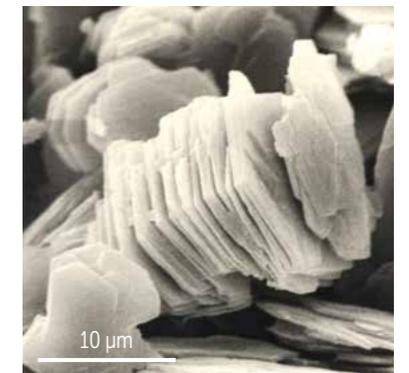
Kohle und Pflanzen

Vom Südrand des Penninischen Ozeans stammen die Gosauschichten des Krappfelds nördlich von Klagenfurt in Kärnten. Dort wurde bis zum Jahr 1939 Kohle abgebaut, die ihre Existenz dem reichen Pflanzenwuchs verdankt, der während der frühesten Eozän-Zeit in einer Sumpflandschaft gedieh. Die Pflanzenarten lassen sich mit den Pollenkörnern bestimmen, die in den Begleitsedimenten der Kohle überaus reichhaltig und gut erhalten vorkommen. Christa Hofmann und Reinhard Zetter vom Institut für Paläontologie der Universität Wien haben diese Pollenflora eingehend untersucht. Viele der von ihnen nachgewiesenen Pflanzengattungen existieren heute nur noch in den Feuchttropen in unmittelbarer Nähe zum Äquator. So ist beispielsweise das gemeinsame Vorkommen von Nypa-Palmen und Mangroven typisch für die Ufer vieler Flussmündungen in Südostasien. Ähnliche Umweltbedingungen wie sie dort heute herrschen, prägten in der frühen Eozän-Zeit weite Teile Europas, wie die Verbreitung der tropischen Nypa-Palmen zeigt, die nach Norden zumindest bis England vorkamen.

Kaolin

Es verwundert also nicht, dass auch unmittelbar nördlich des Penninischen Ozeans im Eozän tropisches Klima herrschte, für das die Vorkommen von Kaolin einen deutlichen Beweis liefern. Kaolin oder „Porzellanerde“ ist nach dem chinesischen Ort Gao Ling in der Provinz Jiangxi im Südosten Chinas benannt, wo im 7. Jahrhundert die Kunst der Porzellanherstellung entdeckt wurde. Der Rohstoff dafür kam direkt vor der Haustür gebrauchsfertig vor. Es ist ein blendend weißer Ton, der hauptsächlich aus dem Mineral Kaolinit mit geringen Beimengungen von Quarz und Feldspat besteht. Marco Polo, der als erster Europäer China besuchte, brachte im 14. Jahrhundert das Porzellan nach Europa, wo das Geheimnis der Porzellanherstellung erst viel später gelüftet wurde. Die erste europäische Porzellanmanufaktur wurde im Jahr 1710 in Meißen gegründet, acht Jahre später folgte die Eröffnung einer weiteren Manufaktur in Wien.

Kaolin entsteht, wenn an Feldspat reiche Gesteine wie Granit unter feuchttropischen Klimabedingungen verwittern. Kaolin ist also nichts anderes als ein tropischer Boden, der unter den gleichen Bedingungen wie der schon vorher besprochene Bauxit entsteht, allerdings nicht auf karbonatischem, sondern auf granitischem Untergrund, wie er in der Böhmisches Masse im südlichen Mühlviertel vorkommt. Dort, nur wenige Kilometer östlich von Linz, in Kriechbaum bei Schwertberg („Schwertberger Ton“), wird seit dem 19. Jahrhundert das größte Kaolin-Vorkommen im Umkreis der Alpen abgebaut. Der hier gewonnene Rohstoff wird neben der keramischen Industrie vor allem in der Papierindustrie verwendet. Vor Ort gibt es ein kleines, aber feines Museum (www.kaolinum.at), in dem die Geschichte des Bergbaus



Erst im Elektronenmikroskop sind im Schwertberger Kaolin die sechseckigen Kaolinitkristalle erkennbar, die ziehharmonikaförmig angeordnet sind (Foto: Rouben Surelian).

Pfaffenstein
(1.871 m)

Kaltmauer
(1.929 m)

Kohlerscharte
(1.830 m)

Brandstein
(2.003 m)

Frauenmauer
(1.827 m)



Blick vom Polster auf das westliche Hochschwabmassiv in der Steiermark. Graue Kalke, die vorwiegend in der Mitteltrias-Zeit in einem flachen tropischen Meer entstanden sind, bilden die Gipfel und steilen Felswände. Darunter liegen wasserundurchlässige tonreiche Schichten aus der frühen Trias-Zeit. Sie stauen das durch die verkarsteten Kalke zufließende Wasser.

Die Grenzfläche zwischen Kalken und Tonsteinen ist nach Norden geneigt, daher fließt das Karstwasser unterirdisch in diese Richtung ab und tritt am Nordrand des Hochschwabmassivs in üppig sprudelnden Quellen aus. Ein Teil ihres Wassers wird seit 1910 in die II. Wiener Hochquellen-Wasserleitung eingespeist und vom Ort Wildalpen 200 km weit nach Wien transportiert.

Wasserwege

Auch wenn sie nicht in Höhlen herumkriechen oder endlose Wanderungen über kahle Felsplateaus machen, so kommen doch viele Bewohner des Ostalpenraums täglich mit dem Karst in Körperkontakt. Schließlich stammt ungefähr die Hälfte des österreichischen Leitungswassers aus Karstgebieten und bringt von dort die Berge ins Haus, wenngleich nur in winzigster Dosierung. Kalk wird von chemisch reinem Wasser kaum auflöst. Das ändert sich, sobald Kohlenstoffdioxid ins Spiel kommt, das mit dem Wasser zu Kohlensäure reagiert, wodurch die Löslichkeit von Kalk bis zum Hundertfachen erhöht werden kann. Das Kohlenstoffdioxid wird vom Regen aus der Luft aufgenommen, in viel größerem Maß aber aus dem Boden, wo Bakterien- und Pflanzenaktivität dieses Gas produzieren. Aber selbst mit reichlich Kohlenstoffdioxid liegt die Konzentration von

gelöstem Kalk nur bei höchstens 1,4 g pro Liter, sehr wenig im Vergleich zu den 360 g Kochsalz, die in einem Liter Wasser gelöst werden können.

In Deutschland und Österreich wird der Anteil von im Wasser gelösten Stoffen mit Härtegraden angegeben. Ein Grad deutscher Härte bedeutet, dass in einem Liter Wasser etwa 18 mg mineralischer Verbindungen gelöst sind. Das Münchner Leitungswasser enthält durchschnittlich rund 300 mg gelöster Stoffe, was knapp über 16 Grad deutscher Härte entspricht. Der durchschnittliche Wert des Wiener Leitungswassers ist nur etwa halb so hoch. Dass in München das Wasser hart ist und in Wien weich, hängt mit dem unterschiedlichen geologischen Aufbau der Quellgebiete zusammen.

Die Lebensadern beider Städte sind die bis zu 200 km langen Rohrleitungen, mit denen der Großteil

des Trinkwassers aus dem Süden herangeschafft wird. Für die Münchner wird das Grundwasser pleistozäner Schotter im Mangbachtal bei Tegernsee und im Loisachtal bei Garmisch-Partenkirchen angezapft, während die Wiener das Wasser aus Karstquellen in den niederösterreichischen und steirischen Kalkalpen trinken. Einmal Grundwasser, einmal Karstwasser. Das macht den Unterschied, denn das Karstwasser stammt aus hochgelegenen Einzugsgebieten, wo es kaum Vegetation und Böden gibt, sondern nackter Fels die Geländeoberfläche bildet. Das dort versickernde Wasser enthält nur das Kohlenstoffdioxid aus der Luft, aber keines aus dem Boden, daher ist es wenig aggressiv. Dennoch ist wegen der großen Wassermenge der Anteil an gelöstem Kalk beachtlich. Allein in den 75 Milliarden Litern Wasser, die von der II. Wiener Hochquellenleitung vom Hochschwab

jährlich nach Wien geliefert werden, sind rund 12.000 t Kalk gelöst! In der gleichen Menge Münchner Wasser ist etwa doppelt so viel Kalk drin, weil über dem Schotter und Sand des bayerischen Alpenvorlands Bodenschichten liegen, aus denen das einsickernde Wasser reichlich Kohlenstoffdioxid aufnehmen kann. Die entstehende Kohlensäure ätzt kalkige Sand- und Schotterkomponenten an und bringt so Kalk in Lösung.

Egal, ob München oder Wien. Egal, ob Porengrundwasser oder Karstwasser. Fast überall im Ostalpenraum ist das Leitungswasser billig, hygienisch einwandfrei und schmeckt dazu noch köstlich. Es bleibt ein unerklärliches Phänomen und spricht gegen die „Weisheit“ des *Homo sapiens*, dass in den Supermärkten dennoch Millionen Plastikflaschen mit fadem abgestandenem Wasser teuer gekauft werden.



Foto: Friedl Nussbaumer

Hans Egger

wurde 1960 in Elsbethen bei Salzburg geboren und beschäftigt sich seit mehr als 40 Jahren mit der Geologie der Ostalpen. Nach dem Abschluss des Studiums der Geologie und Paläontologie an der Universität Salzburg und beruflichen Aufenthalten in Ägypten und Bulgarien begann er 1990 seine Arbeit an der Geologischen Bundesanstalt in Wien, der er schon seit 1981 als freier Mitarbeiter angehörte. Seine Arbeitsschwerpunkte waren die geologische Kartierung großer Teile der nördlichen Ostalpen und die zeitliche Einstufung der dortigen Gesteine mit Nannofossilien. Später leitete er viele Jahre die Abteilung für Paläontologie und Stratigraphie. In mehreren Büchern und rund 200 weiteren Publikationen in Fachzeitschriften und Massenmedien sind die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Tätigkeit auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Bisher im Verlag Anton Pustet erschienen: „Lebensräume – Ausflüge in die Erdgeschichte von Salzburg und Oberbayern“, „Habitats – Excursions into the Earth History of Salzburg and Upper Bavaria“ und „Bunte Steine – Ausflüge in die Erdgeschichte zwischen Ybbs- und Trauntal“.

Danksagung

Dieses Buch hat eine so lange Entstehungsgeschichte, dass man beinahe von geologischen Zeiträumen sprechen könnte. Erst im Lauf vieler Jahre nahm das Manuskript nach und nach Form an. Entscheidend daran beteiligt war Markus Kogler, der schon früh einzelne Teile setzte und erste Abbildungen anfertigte. Die gelungene Gesamtform des Buches ist sein Verdienst, daher wird ihm hier an erster Stelle gedankt.

Mit den ersten Entwürfen in der Tasche wurde ich beim Verlag Anton Pustet vorstellig, wo mich Gerald Klonner und Anja Zachhuber ermutigten, mit dem Projekt weiterzumachen. Als Lektorin arbeitete Anja später den ganzen Text Passage für Passage durch und gab viele Anregungen. Ihr und dem ganzen Team vom Verlag gilt mein herzlicher Dank.

Ebenso herzlich bedanke ich mich bei Anna Bieniok, die wichtige Hinweise gab und die Abbildung zahlreicher Sammlungsobjekte aus dem wunderbaren Salzburger Museum „Haus der Natur“ ermöglichte, und bei Norbert Urban, der mir Zugang zu den Sammlungen des Salzburger Erzstifts St. Peter gewährte, die er ehrenamtlich betreut und hervorragend geordnet und inventarisiert hat. Auch Björn Berning vom Schlossmuseum Linz, Robert Darga vom Museum Siegsdorf und Johannes Weidinger vom Museum Gmunden danke ich vielmals für ihre Unterstützung beim Besuch der von ihnen betreuten Sammlungen. Sebastian Krutter danke ich herzlich für die Genehmigung, mehrere Objekte aus dem Museum Burg Golling fotografieren und publizieren zu dürfen.

Für zur Verfügung gestellte Abbildungen schulde ich aufrichtigen Dank Rainer Braunstingl (Salzburg), Johanna Brückl (Wien), Andrea Ebenhöfer (Universität Innsbruck), Ludovic Ferrière (Naturhistorisches Museum Wien), Christa-Charlotte Hofmann (Universität Wien), Thomas Hofmann (Geosphere Austria), Gerhard Mandl (Wien), Franz Pichorner (Kunsthistorisches Museum Wien), Matthias Scheffer (Sölker Marmor Bergbau GmbH), Alice Schumacher (Naturhistorisches Museum Wien), Rouben Surenian (Wien), István Szente (ELTE Tata Geological Garden) und Karl Weiss (Bleiburg).

Ulrich Haas und Klaus Schwerd vom Bayerischen Landesamt für Umwelt gilt mein Dank für fachliche Diskussionen und mehrere Exkursionsführungen in den bayerischen Alpen. Für ihren fachlichen Rat danke ich Rosemarie Baron-Szabo (Smithsonian Institution), Fred Rögl (Naturhistorisches Museum Wien) und Alfred Uchman (Universität Krakau). Raimund Sulz (Wien) wird gedankt für die Übersetzung eines lateinischen Textes und die Hinweise zu dessen Herkunft. Herzlicher Dank geht an Friedl Nussbaumer (Wien) für das Porträtfoto des Autors.

Glossar

A

Ablagerung, Ablagerungsgesteine

Gesteine, die durch die Ablagerung von mineralischem oder organischem Material an der Erdoberfläche entstehen. Die Ablagerung kann durch unterschiedliche Prozesse geschehen (chemische Ausfällung; biologische Entstehung; Ablagerung durch Wasser, Eis oder Wind; Ablagerung nach Transport durch die Schwerkraft).

Abtragung

Durch Wasser, Eis, Wind oder alleine durch die Schwerkraft wird Gesteinsmaterial auf der Erdoberfläche bewegt.

Adriatische Lithosphärenplatte

Ein Mikrokontinent, der sich während der Kreide-Zeit von der Afrikanischen Lithosphärenplatte löste. Nach der Schließung des Penninischen Ozeanbeckens kollidierten die Adriatische und die Europäische Platte in der mittleren Eozän-Zeit und als Folge dieses Zusammenstoßes entstanden die Alpen.

Ammoniten

Am Ende der Kreide-Zeit ausgestorbene Verwandte der Tintenfische. Fast alle Arten dieser Meeresbewohner hatten spiralförmig aufgerollte Gehäuse. Das größte bisher in Österreich gefundene Ammonitengehäuse wurde in der Nähe des Pass Gschütt entdeckt und hat einen Durchmesser von knapp einem Meter.

Anhydrit

Mineral (Kalziumsulfat), das bei Verdunstung von an Kalziumsulfat übersättigtem Meerwasser bei Wassertemperaturen von mehr als 35 °C entsteht. Unter Wasseraufnahme (und Zunahme des Volumens) wird aus Anhydrit Gips.

Asche

Vulkanische Asche ist kein Verbrennungsprodukt, sondern bezeichnet feinkörnige (<2 mm) vulkanische Ablagerungen, die bei explosiven Vulkanausbrüchen ausgeworfen worden sind.

Asteroid

Kleinplaneten mit Durchmessern zwischen 1 km und 1.000 km werden als Asteroiden bezeichnet. Über 600.000 solche die Sonne umkreisende Himmelskörper sind bekannt, ihre tatsächliche Anzahl ist vermutlich wesentlich größer.

Aufschluss

An der Erdoberfläche ist der Felsuntergrund oft mit Lockermaterial oder Boden bedeckt. Orte, an denen das Gestein zugänglich ist, werden Aufschlüsse genannt.

Austroalpin

Die von der Adriatischen Lithosphärenplatte stammenden alpinen Decken werden zum Austroalpin zusammengefasst.

Dieses ist die oberste tektonische Großeinheit des alpinen Deckenstapels und baut den Großteil der Fläche der heutigen Ostalpen auf. Unter dem Austroalpin liegen die Decken des Penninikums und darunter die Decken des Helvetikums.

B

Bankung

Ablagerungsgesteine zeigen oft eine deutliche Unterteilung in parallele Abschnitte, die als Bänke bezeichnet werden. Eine Bank kann zwischen einem Zentimeter und mehreren Metern dick sein. Innerhalb der Bänke können oft mm-dicke Lagen auftreten, die als Schichtung bezeichnet werden. Bankung und Schichtung deuten auf Änderungen in den Ablagerungsbedingungen hin.

Basalt

Dunkelgraues bis schwarzes, feinkörniges vulkanisches Gestein. Beim Abkühlen der dünnflüssigen basaltischen Lava bilden sich durch ein regelmäßiges Muster von Schrumpfungsrissen die typischen Basaltsäulen. Basalt ist das häufigste Gestein der Erdkruste, weil es den Großteil der Ozeanböden aufbaut.

Benthos

Alle Organismen, die am Boden von Gewässern leben.

Brekzie

Gestein, das zum überwiegenden Teil aus eckigen Bruchstücken besteht.

D

Decke

Ein ausgedehnter, oft Tausende Quadratkilometer großer Gesteinskörper, der durch tektonische Kräfte kilometerweit auf andere Gesteine überschoben wurde.

Dinoflagellaten

Eine Gruppe pflanzlicher Einzeller (Algen), die vorwiegend im Meer leben und dort in den oberen Wasserschichten einen Teil des Phytoplanktons bilden.

Diskordanz

Trennfläche, die eine Sedimentationsunterbrechung innerhalb einer Gesteinsabfolge belegt. Durch Hebungen der Erdkruste oder durch eine Senkung des Meeresspiegels setzte die Sedimentation aus, gleichzeitig kam es oft zur Abtragung vorher gebildeter Sedimente.

Dolomitstein

Eine Mischung aus Kalzium- und Magnesium-Karbonat.

Dünnschliff

Wenige Hundertstel Millimeter dickes, lichtdurchlässiges Gesteinsplättchen, mit dem der Gesteinsaufbau unter dem Mikroskop analysiert wird.

E

Erdfall

Einsturztrichter an der Erdoberfläche, der durch das Einbrechen eines Hohlraumes im Untergrund entstanden ist.

Erdkruste

Es gibt zwei unterschiedliche Erdkrustentypen. Im Bereich der Ozeanbecken ist die Erdkruste zwischen 5 und 7 km dick und zeigt vorwiegend basaltische Zusammensetzung. Im Bereich der Kontinente ist sie zwischen 30 und 60 km dick und zeigt granitische Zusammensetzung.

Erosion

s. Abtragung

Eruption

Je nach der chemischen Zusammensetzung und dem Gasgehalt des Magmas gibt es verschiedene Arten vulkanischer Eruptionen. Bei effusiven Eruptionen fließt dünnflüssige Lava aus dem Eruptionszentrum. Bei explosiven Eruptionen ist die Lava zähflüssig und hat einen hohen Gasgehalt, der sich durch die plötzliche Druckentlastung stark ausdehnt (ähnlich wie beim Öffnen einer Flasche Sekt der Gasdruck zuerst den gelockerten Korken aus dem Flaschenhals schießt und danach eine Sektfontäne „eruptiert“). Besonders heftige Ausbrüche entstehen, wenn Grundwasser mit dem heißen Magma in Kontakt kommt und schlagartig verdampft.

Exotischer Block

Fremdartig in Bezug auf die Gesteine der Umgebung.

F

Fenster

Tektonische Fenster sind Öffnungen oder Lücken in einer Decke. Innerhalb des Fensters sind von der Decke überschobene Gesteine aufgeschlossen.

Flysch

Historische Bezeichnung für mächtige Turbiditabfolgen. Da es keine gültige Definition des Begriffs gibt, sollte er besser nur im historischen Zusammenhang verwendet werden.

Foraminiferen

Tierische Einzeller, die fast ausschließlich im Meer vorkommen, wo sie sowohl als Benthos am Meeresboden als auch als Plankton in der Wassersäule leben können.

Formation

Eine definierte Gesteinsabfolge, die im Gelände gut erkennbar und verfolgbar ist. Eine Formation sollte solche Ausmaße haben, dass sie zumindest auf einer Karte im

Maßstab 1:10.000 darstellbar ist. Formationen können weiter in Sub-Formationen unterteilt sein.

Fossilien

Belege für Leben in der Erdgeschichte vor dem Holozän. Körperfossilien sind die Überreste von Lebewesen, Spurenfossilien entstanden durch die Tätigkeiten von Lebewesen. Der Größe nach kann zwischen Makrofossilien (mit freiem Auge sichtbar), Mikrofossilien (mit einer starken Lupe erkennbar) und Nannofossilien (bei starker Vergrößerung im Lichtmikroskop erkennbar) unterschieden werden.

G

Gips

Mineral (wasserhaltiges Kalziumsulfat), das bei Verdunstung von an Kalziumsulfat übersättigtem Meerwasser entsteht, wenn die Wassertemperatur weniger als 35 °C beträgt.

Gleitscholle

Gesteinskörper, der auf einem untermeerischen Hang abrutscht. Die größte Gleitscholle in den Ostalpen ist ungefähr 100 km² groß und bewegte sich in der späten Jura-Zeit. Sie baut heute das Gebiet des Hohen Raschbergs zwischen Bad Goisern und Altaussee auf.

Gneis

Hochmetamorphes Gestein mit einer deutlichen Bänderung, die durch die parallele Ausrichtung der Minerale entsteht. Dadurch zerbrechen Gneise bevorzugt in zentimeter- bis dezimeterdicke Platten. Ausgangsmaterial für einen Gneis können sowohl magmatische Gesteine (Orthogneis) als auch Sedimentgesteine sein (Paragneis).

Granit

Gestein, das in der Erdkruste durch das langsame Abkühlen und Erstarren einer Gesteinsschmelze (Magma) gebildet wird. Hauptbestandteile eines Granits sind die Minerale Quarz, Feldspat und Glimmer.

Grauwackenzone

Die zum Austroalpin gehörende Grauwackenzone besteht aus altpaläozoischen Vulkan- und Sedimentgesteinen. Während der Variszischen Gebirgsbildung in der Karbon-Zeit wurden sie deformiert und waren längere Zeit der Abtragung ausgesetzt. Ab der Perm-Zeit begann auf dieser Geländeoberfläche die Ablagerung der basalen Schichten der Nördlichen Kalkalpen.

H

Helvetikum

Tektonische Decken, die nach der Schließung des Penninischen Ozeans im Bereich des ehemaligen Schelfmeeres am europäischen Kontinentalrand abgeschert wurden. Die in den helvetischen Decken auftretenden Gesteine wurden zwischen dem Perm und dem späten Eozän gebildet.