

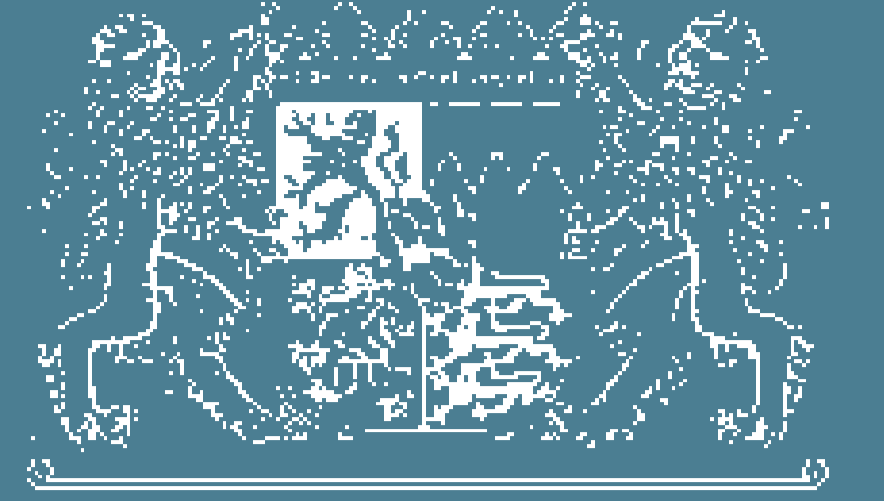


Geologische Wanderung durch Bayern

eine Sonderschau des
Bayerischen Landesamtes für Umwelt

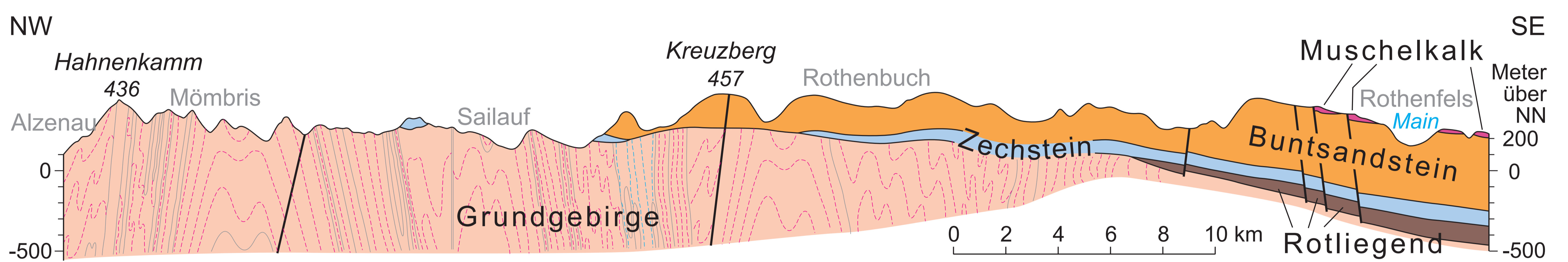
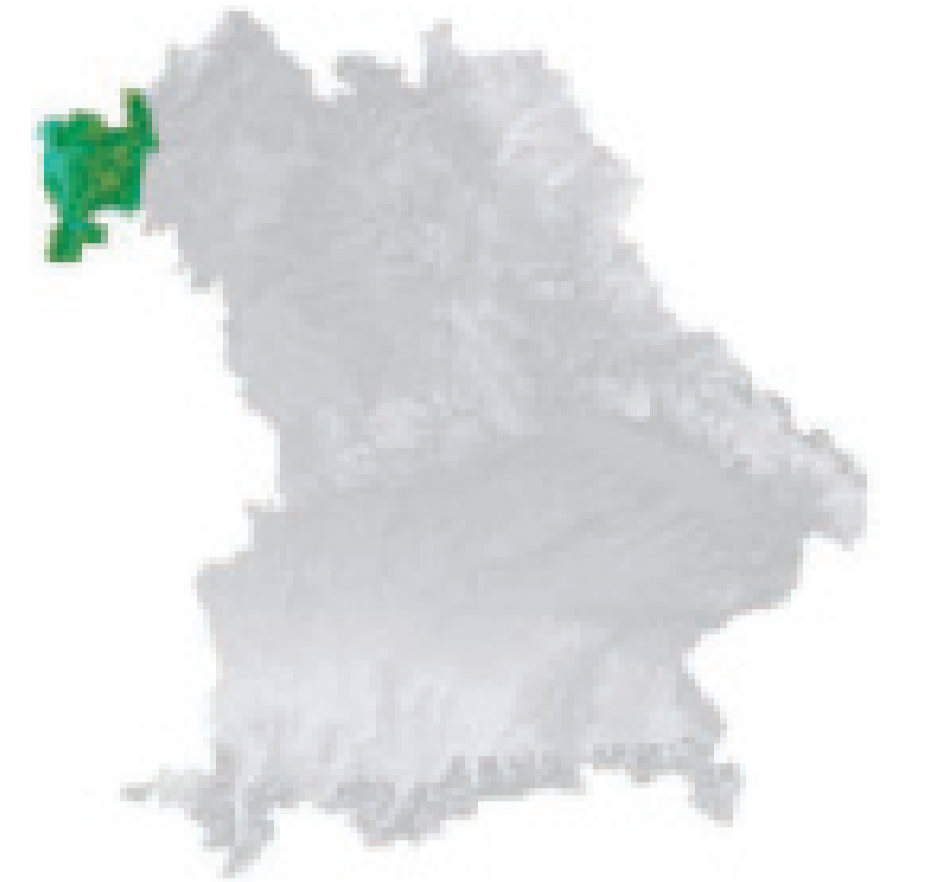


Teil 3: Vom Spessart ins Allgäu



Spessart

Hochgebirge, Strand und Wüste – willkommen im Spessart !



Im nordwestlichen Spessart stehen – wie in weiten Teilen Ostbayerns – Gesteine des kristallinen Grundgebirges zutage an. Nach Süden und Osten hin sind diese von jüngeren Sedimentgesteinen überlagert.

Vor über 300 Millionen Jahren war Europa Schauplatz gewaltiger tektonischer Prozesse. Im Rahmen einer Gebirgsbildung wurden großräumig Gesteine in die Tiefe versenkt. Hitze und Druck ließen manche Gesteine schmelzen, andere wurden umgewandelt („metamorph“). Weite Teile des entstandenen Gebirges wurden aber rasch wieder abgetragen,

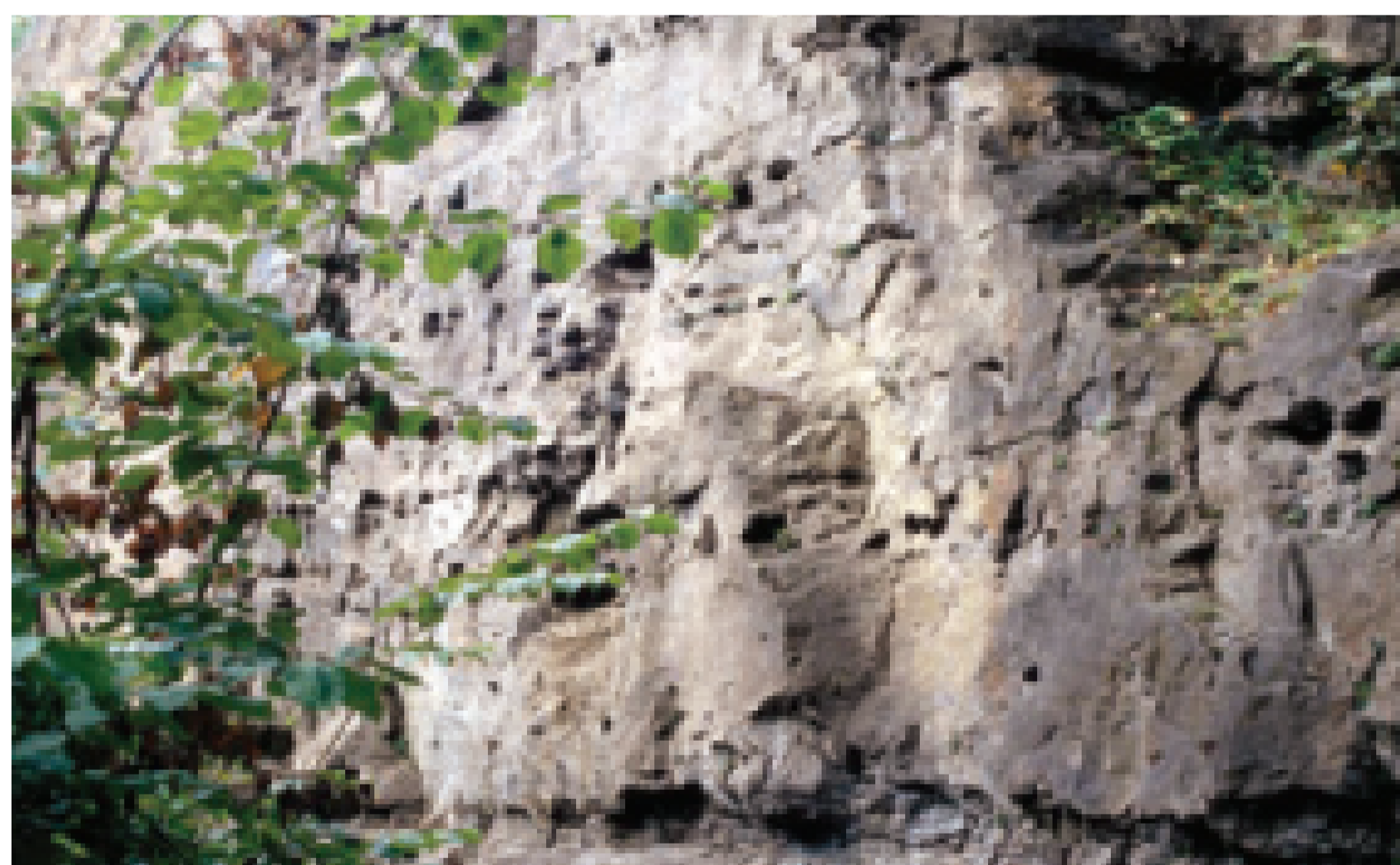
wodurch die in der Tiefe aus Magmen erstarrten oder metamorphen Gesteine an die Erdoberfläche gelangten.

Die Abtragungsreste des Gebirges blieben als „Rotliegend“ in manchen Senken erhalten, z. B. am Nordwestrand des Spessarts. Örtlich findet man auch Ablagerungen des flachen Zechsteinmeers,

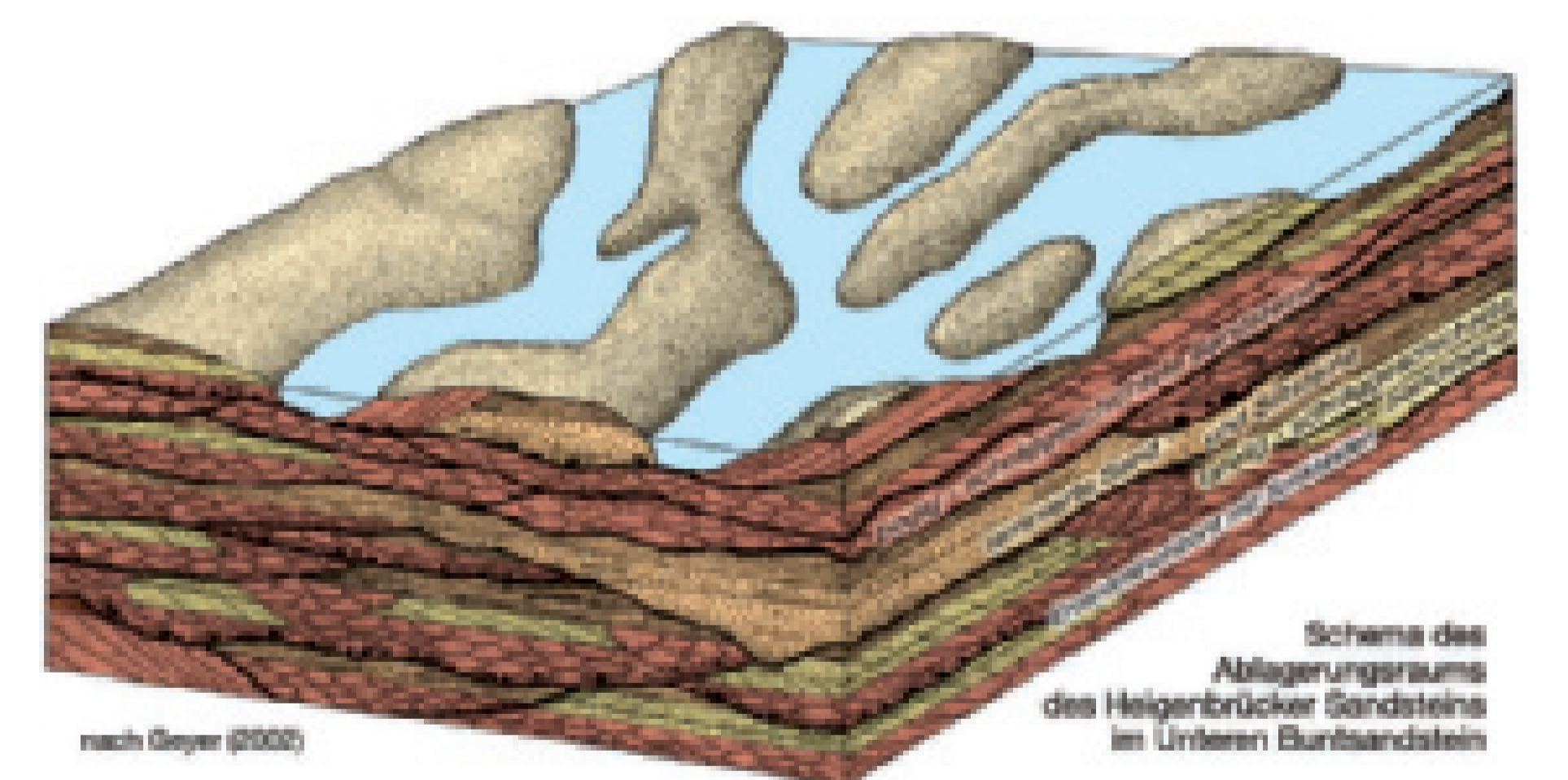
das vor etwa 255 Millionen Jahren über das nun völlig verschwundene Gebirge vorstieß. Spätestens mit Beginn der Trias vor etwa 250 Millionen Jahren erstreckte sich in der Mitte Deutschlands ein flaches wüstenhaftes Festland. Gelegentliche Hochwässer brachten aus den umliegenden Hochgebieten viel Sand in dieses Becken, den heutigen Buntsandstein.



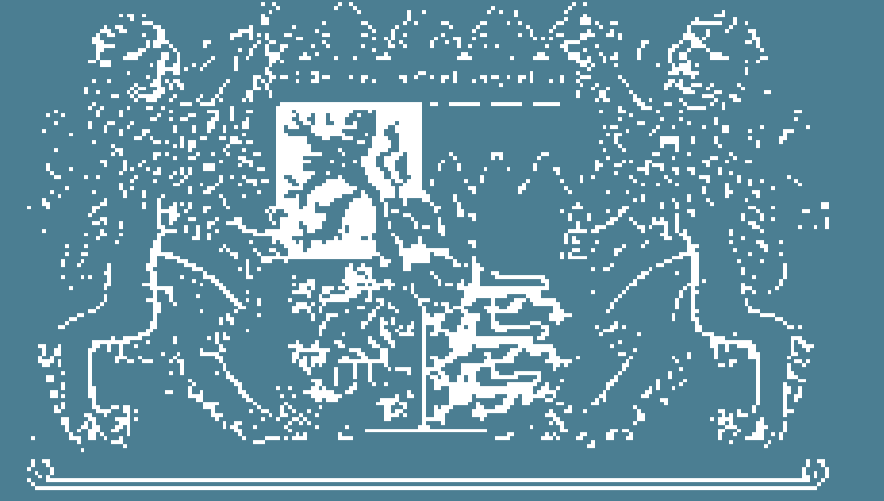
Der Diorit, der bei Dörmorsbach abgebaut wird, ist ein Gestein, das vor etwa 330 Millionen Jahren tief in der Erdkruste aus glutflüssigem Magma erstarrt ist. Großräumige tektonische Hebungsvorgänge und die parallel ablaufende Abtragung der überlagernden Gesteine brachten den Diorit und andere kristalline Gesteine aus großer Tiefe im Nordwestteil des Spessarts an die Erdoberfläche.



Zwischen dem kristallinen Grundgebirge und den weit verbreiteten und mächtigen Buntsandsteinablagerungen kommt im Spessart stellenweise der nur selten aufgeschlossene Zechstein-Dolomit zu Tage. Er dokumentiert eine zeitweise Meeresüberflutung des ansonsten festländischen Ablagerungsraumes vor etwa 255 Millionen Jahren.



Während der Zeit des Buntsandsteins, vor etwa 250 Millionen Jahren, lag Nordbayern im Bereich eines großen kontinentalen Beckens. Verzweigte Flusssysteme und gelegentliche Hochwässer brachten vor allem viel Sand aber auch Ton und Geröll aus umliegenden Gebirgen in das Becken. Das vorherrschende wüstenhafte Klima führte zur Oxidation von Eisen und damit zur typischen Rotfärbung der Gesteine.



Spessart

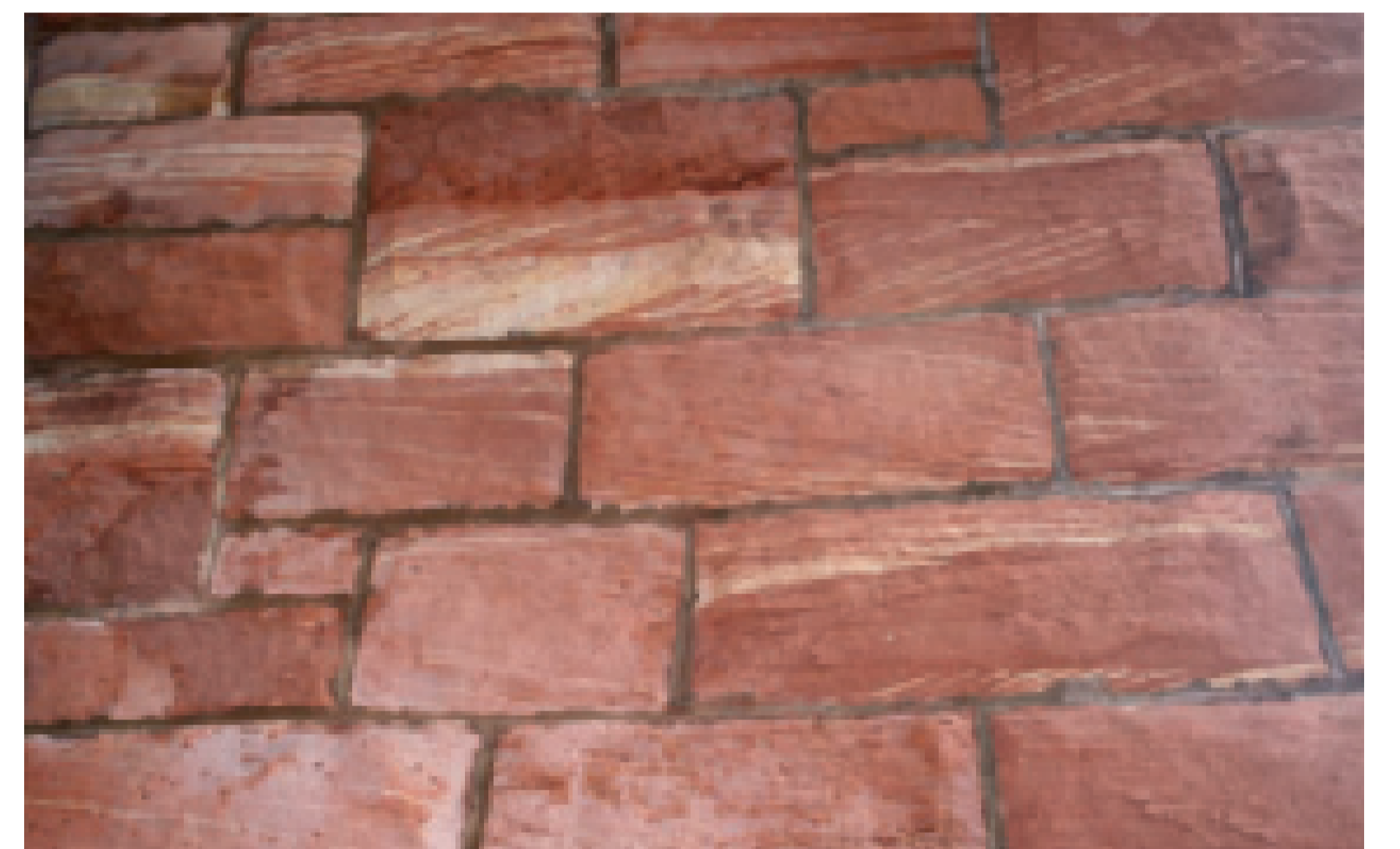
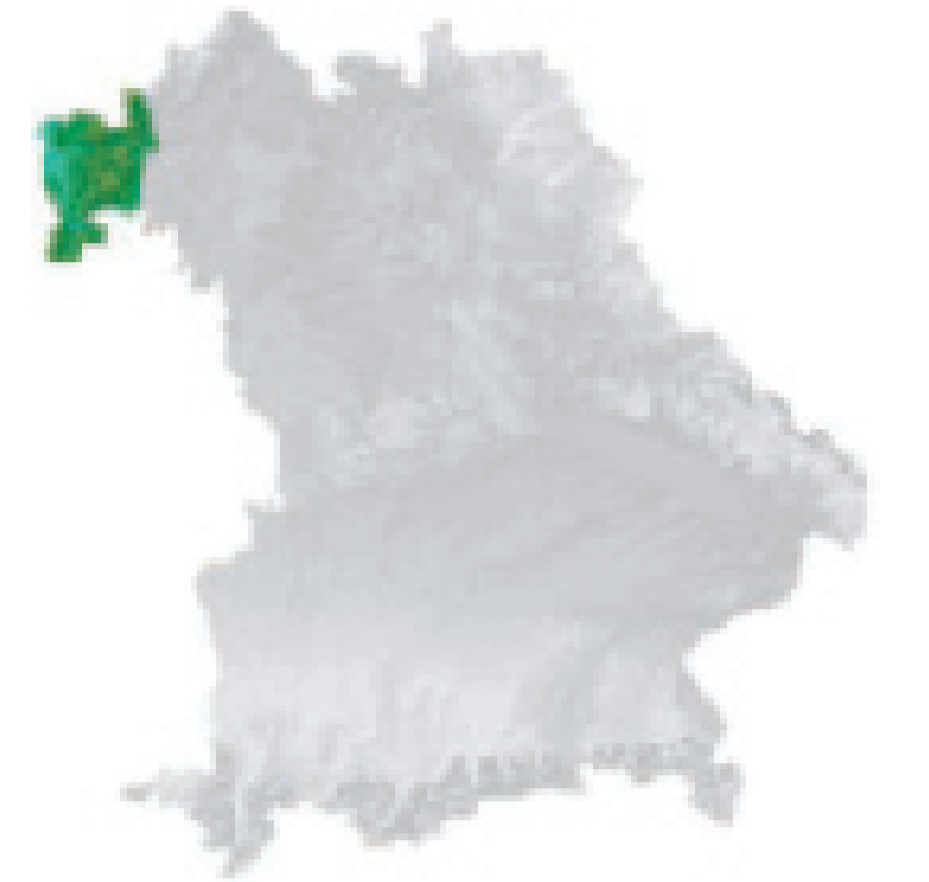
Ja im Wald da sind die ~~Räuber~~ Steine...



Zahlreiche historische Steinbrüche entlang des Mains erschließen den Buntsandstein.

Die kargen Böden auf Buntsandstein eignen sich meist nicht für die landwirtschaftliche Nutzung. Dies ist der Grund dafür, dass im Spessart ein riesiges zusammenhängendes Waldgebiet erhalten blieb. Immerhin konnten die früheren Bewohner durch Gesteinsabbau etwas Geld verdienen, dann der Buntsandstein war ein beliebtes Baumaterial. Heute liegen fast alle Steinbrüche still.

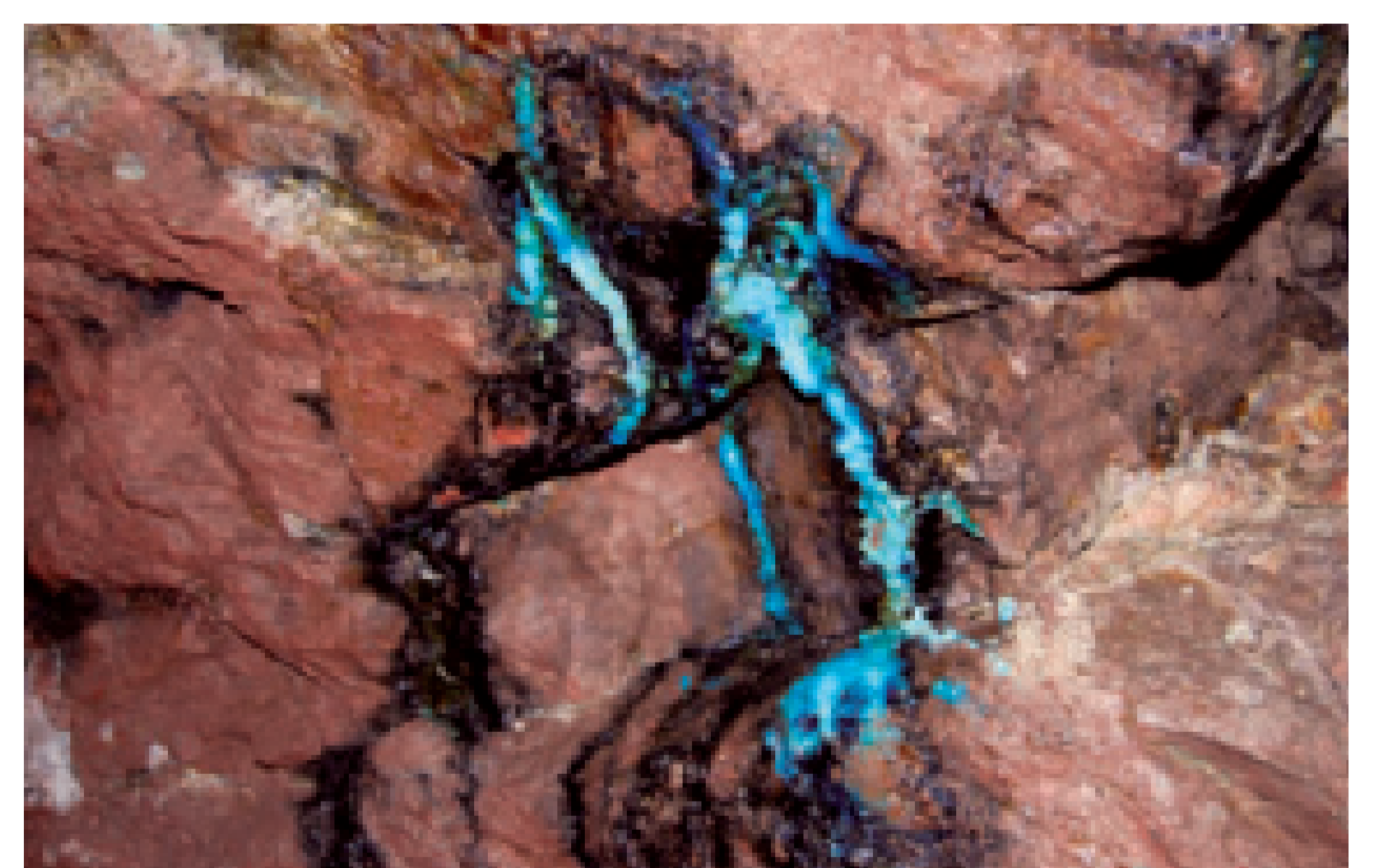
Deutlich weniger bewaldet ist der Nordwestteil des Spessarts um Aschaffenburg, Hösbach, Schöllkrippen und Mömbris. Auf den vielfältigen kristallinen Gesteinen, die hier den Untergrund bilden, entstanden mineralreiche Böden, die auch Landwirtschaft ermöglichen. Der hier vorkommende Zechsteindolomit wird aufgrund seines hohen Magnesiumgehalts sogar als Düngemittel gewonnen.



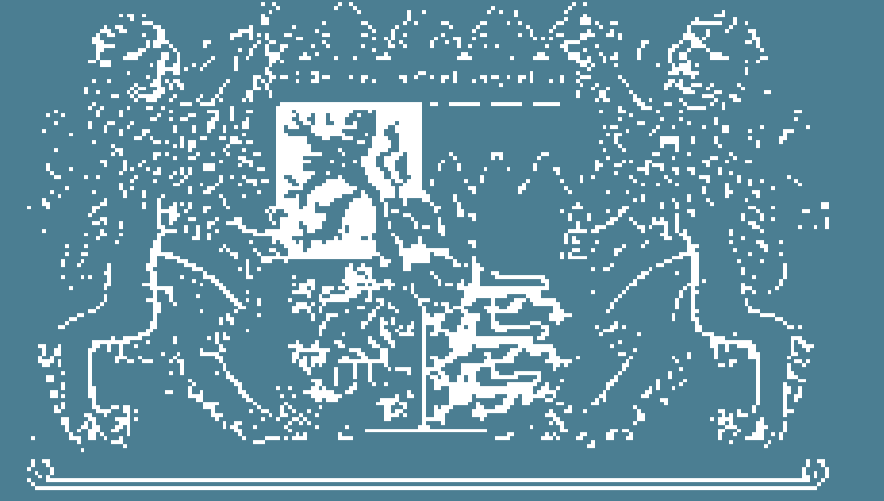
Der Buntsandstein war jahrhundertlang ein beliebtes Baumaterial und prägt viele historische Gebäude wie z. B. die Mainbrücke in Miltenberg. An den Bausteinen erkennt man verschiedene Varianten von horizontaler, schräger oder Kreuzschichtung.



Die liebliche Landschaft des Spessarts ist – wie hier bei Oberbessenbach – von großen Waldgebieten geprägt.

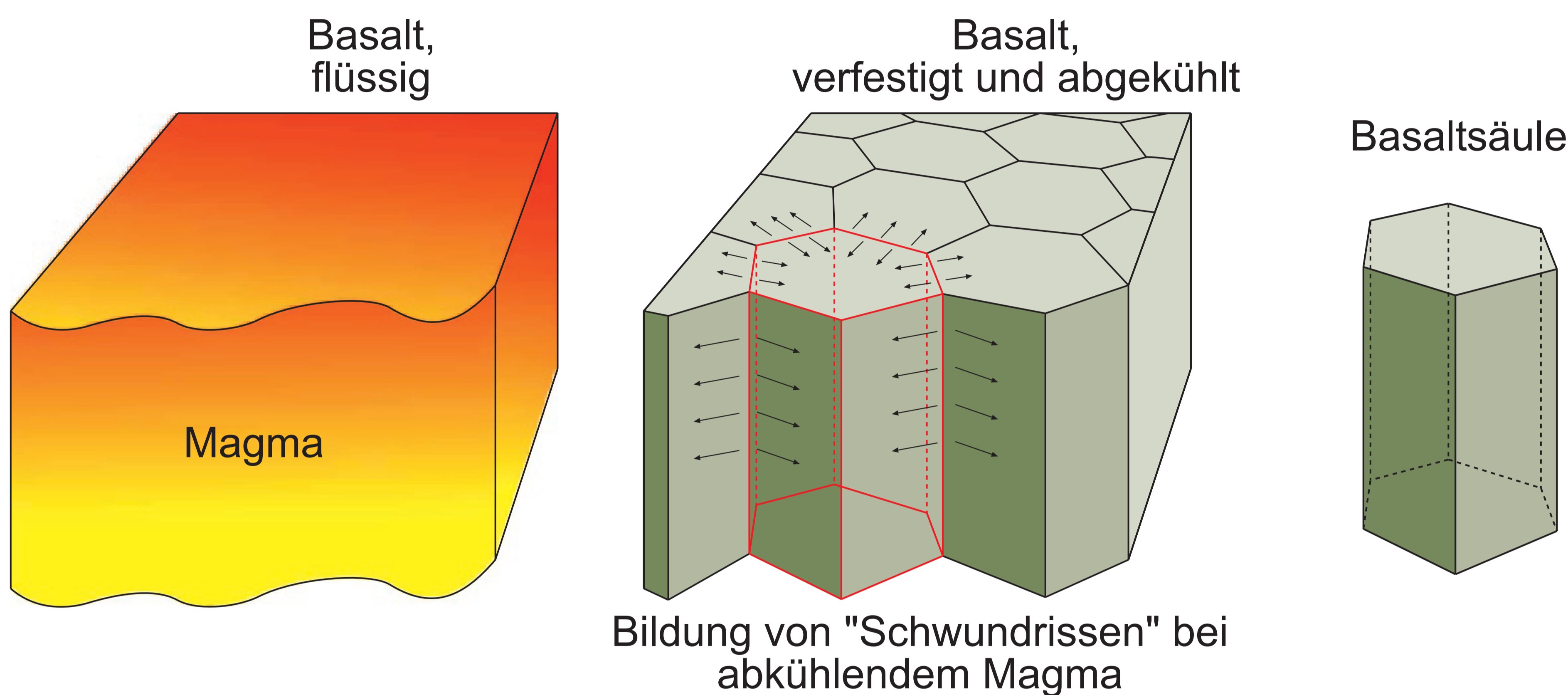


Die Kristallingesteine im Nordwesten des Spessarts enthalten oft interessante Mineralien, wie z. B. Kupfervitriol (Kupfersulfat). Mancherorts, wie etwa in der ehemaligen Grube Wilhelmine bei Sommerkahl, wurden die Kupfererze in Bergwerken gewonnen.

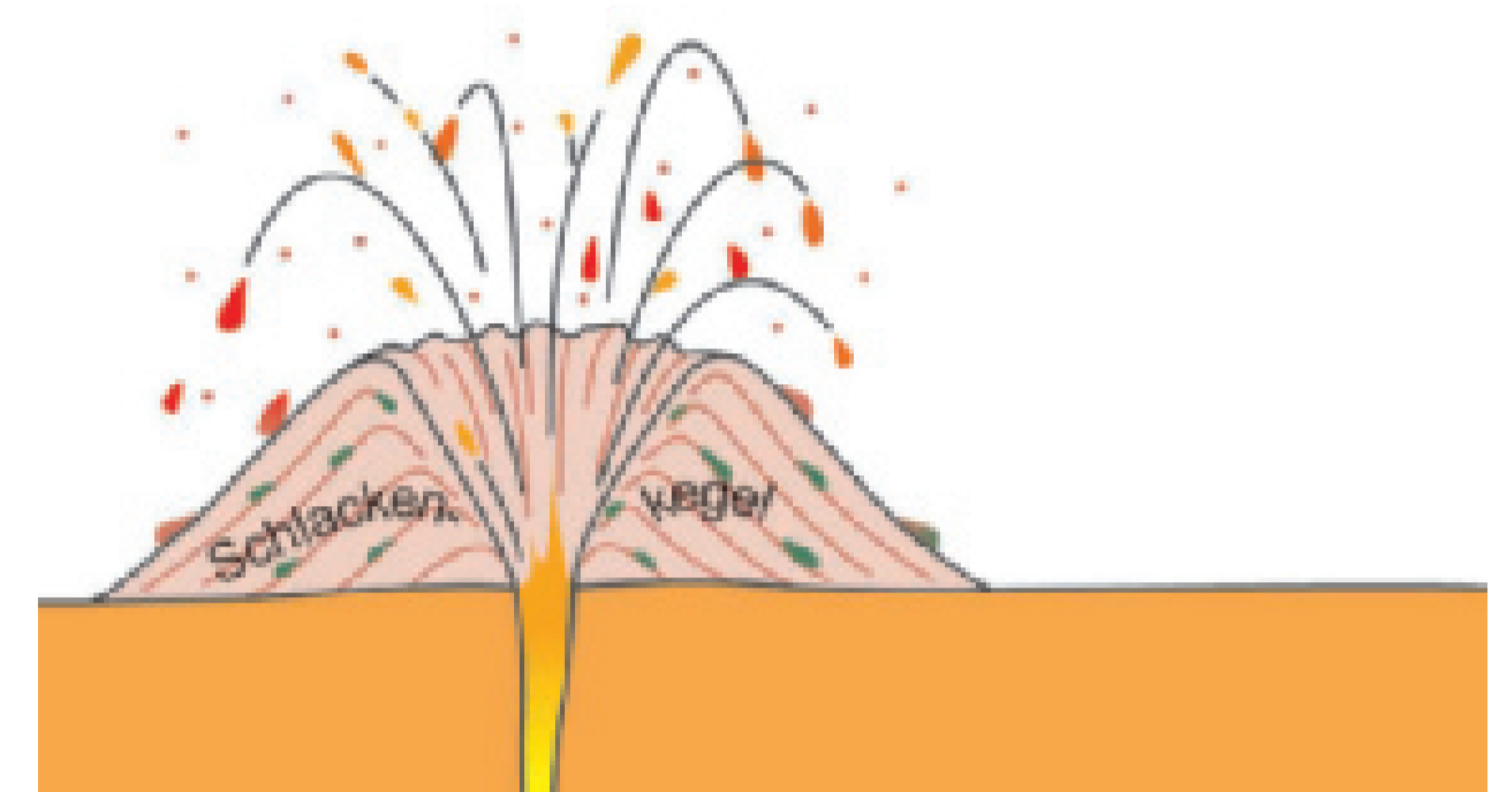


Rhön

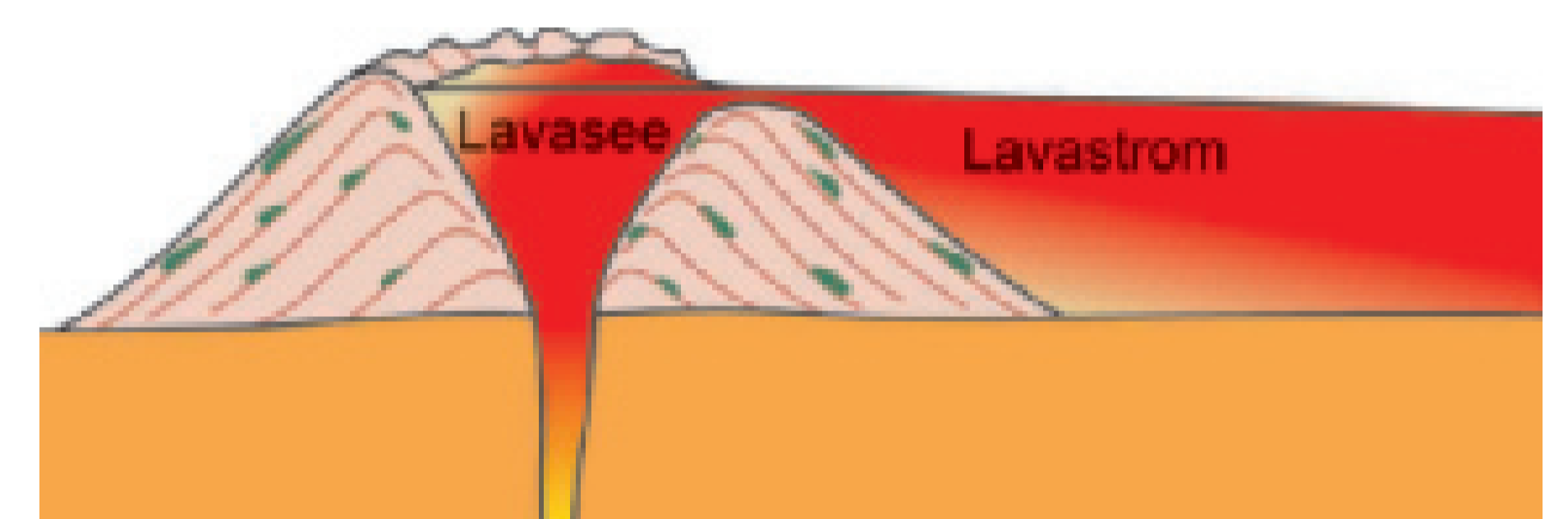
Vorsicht Vulkane !



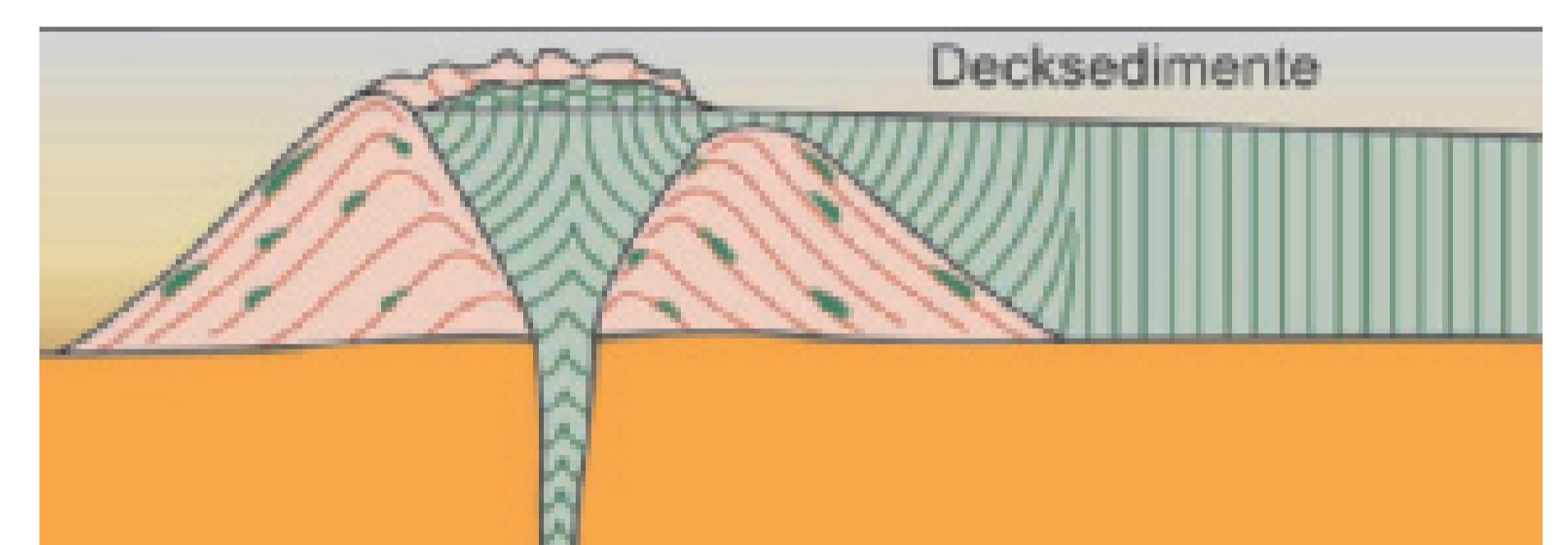
Bildung von "Schwundrissen" bei abkühlendem Magma



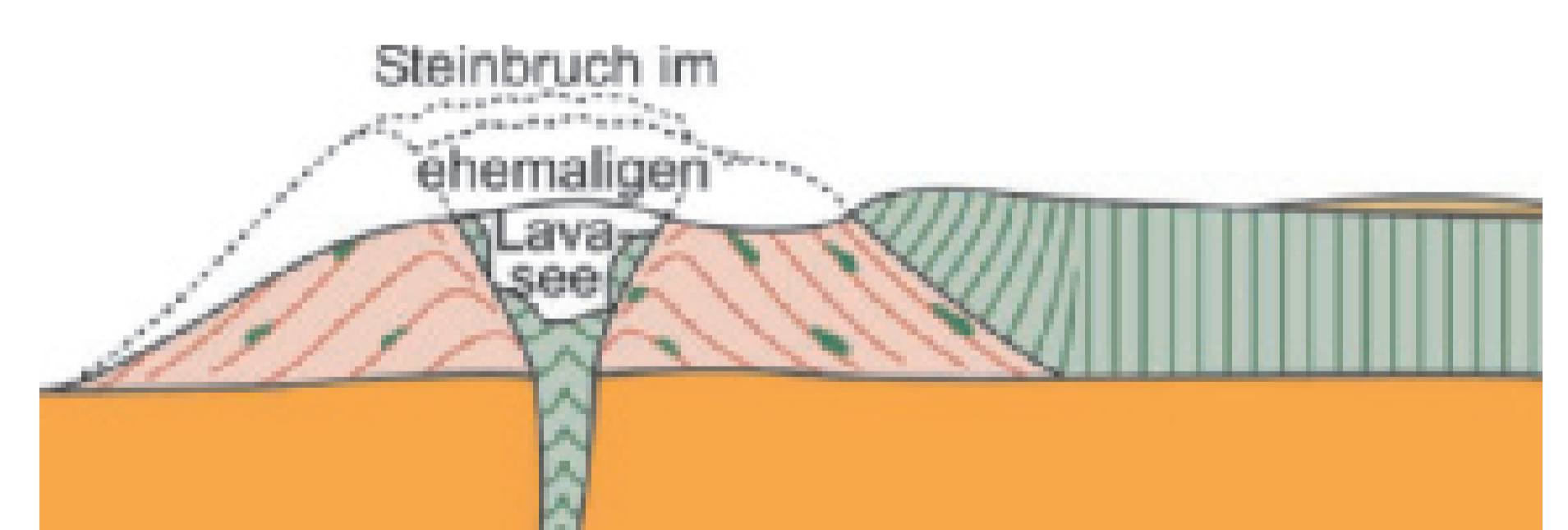
Vor etwa 30 Millionen Jahren begann in der Rhön ein aktiver Vulkanismus, bei dem sich unter anderem auch so genannte Schlackenkegel bildeten.



In den Schlackenkegeln entstanden teilweise Lavaseen, die zu Basalt erstarrten. Auch ergossen sich Lavaströme über weite Flächen und formten so genannte Basaltdecken.



Nach Ende der vulkanischen Aktivität vor etwa 10 Millionen Jahren überdeckten jüngere Sedimente das Gebiet.



In der jüngsten Erdgeschichte hob sich das Gebiet der Rhön und die jüngeren Deckschichten wurden großteils abgetragen, genauso wie Teile der Vulkangesteine. In Steinbrüchen gewinnt der Mensch den Basalt und legt dabei manchmal – wie z. B. am Gebirgsstein – den Krater eines Schlackenkegels wieder frei.

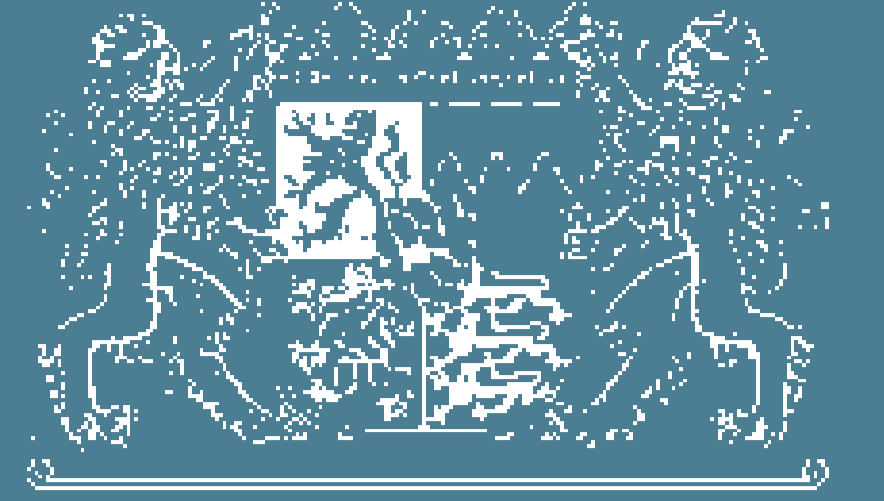


Die geologische Geschichte spiegelt sich in der heutigen Landschaft wieder: Im Bereich der „Langen Rhön“ schützen die noch erhalten gebliebenen Basaltdecken die unterlagernden weicheren Gesteine vor Abtragung. In der „Kuppenrhön“ ist die Abtragung schon weiter fortgeschritten: hier ragen nur noch einzelne Vulkanschlote als Härtlinge aus der Landschaft.

Das Vulkangestein Basalt findet sich in der Rhön häufig in Form von "polygonalen" (im Idealfall sechsseitigen) Säulen. Diese Absonderungsform ist nicht, wie häufig angenommen, eine vorgegebene Kristallstruktur. Sie entsteht vielmehr durch Volumen-Schrumpfung bei der Abkühlung: Das Basaltmagma bildet – ähnlich wie Schlamm in einer austrocknenden Pfütze – zunächst ein Netz von "Schwundrissen" an der Oberfläche bzw. am seitlichen und unteren Rand des flüssigen Magmas. Beim weiteren Erstarren setzen sich diese als "Schwundklüfte" ins Innere des Magmenkörpers fort und separieren dadurch die Säulen.

Während des Jungtertiärs, vor etwa 30 bis 10 Millionen Jahren, herrschte in vielen Regionen Mitteleuropas ein aktiver Vulkanismus. Die Rhön ist neben einem Gebiet in Nordostbayern das bedeutendste Vulkangebiet Bayerns. Aus einer Vielzahl von Eruptionszentren kamen große Mengen vulkanischer Tuff zutage. Insbesondere aber bedeckten dünnflüssige Lavaströme weite Flächen. Die so entstandenen Deckenbasalte prägen bis heute den Untergrund der Langen Rhön.

Im Umland der Langen Rhön ist die Erosion schon weiter fortgeschritten. Die einstigen Vulkane, Lavaströme und Tuffablagerungen sind hier schon vollständig verschwunden. Nur noch die Förderschlote, durch die das Magma unter den Vulkanen Richtung Oberfläche aufstieg, ragen noch als Härtlinge aus der Landschaft. Buntsandstein und Muschelkalk aus der Triaszeit bilden hier den Untergrund.



Rhön

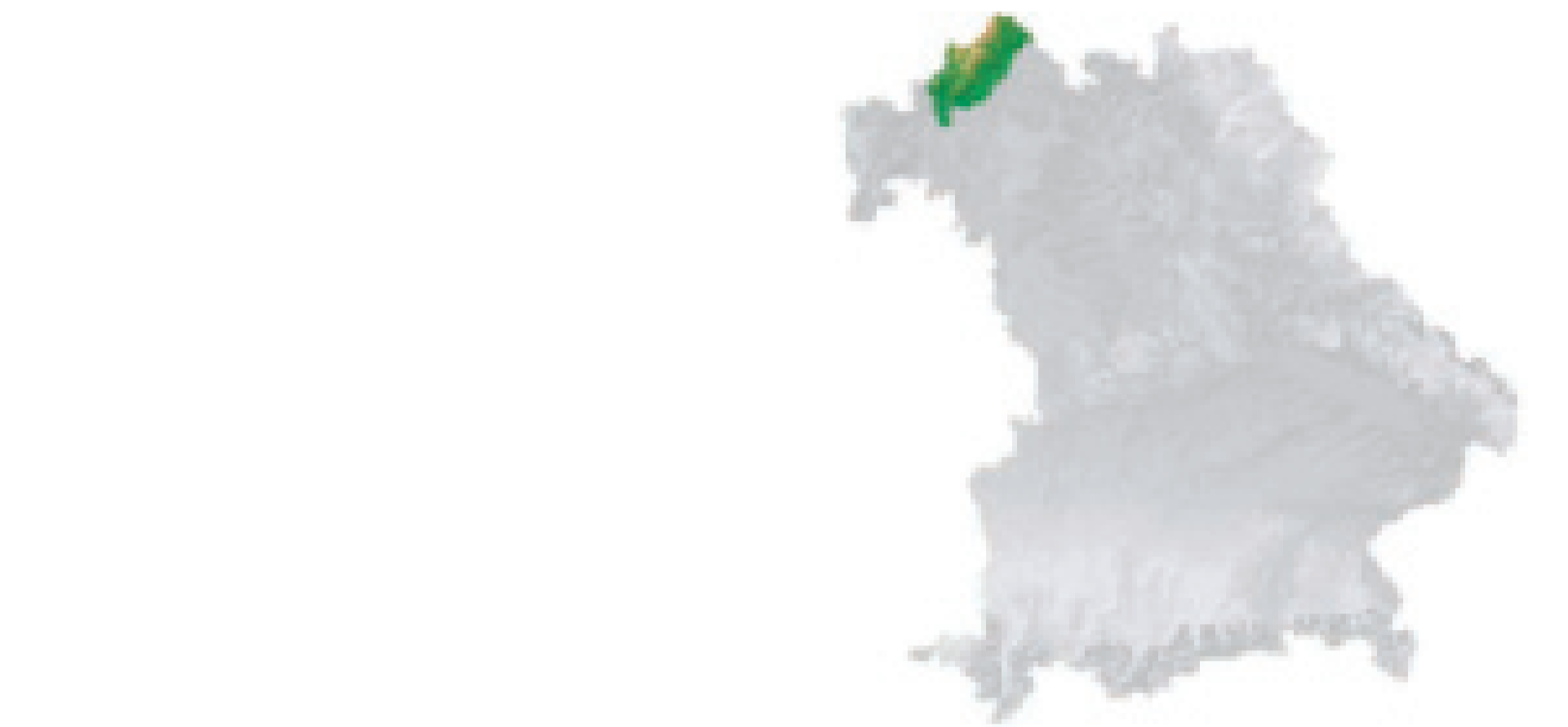
Früher heiß, heute kühl !



Der Lindenstumpf bei Schondra ist ein typischer Basalthärtling der Kuppenrhön. Ein ehemaliger Steinbruch erschließt sein Inneres: Basaltsäulen, erstarrt in der so genannten Meilerstellung.

Die Lange Rhön bildet nördlich Bischofsheim eine Kette von Gipfeln und Hochebenen auf etwa 700–900 m über dem Meer, die aufgrund des Basalt-Untergrundes und des rauen Klimas nur eine karge Vegetation trägt. Das Gebiet wurde daher eher extensiv genutzt. Insbesondere die hier gelegenen Hochmoore stellen wertvolle Lebensräume für seltene Pflanzenarten dar. Die Steilanstiege zu den Hochlagen der Rhön liegen dagegen überwiegend im Buntsandstein und sind typischerweise bewaldet.

Eine weitere Besonderheit sind die zahlreichen Blockhalden aus großen Basaltsteinen. Diese entstanden – wohl überwiegend während der Eiszeiten – beim Zerfall von Deckenbasalten oder Basaltkuppen. Manche solche Blockmeere erstrecken sich über große Hangbereiche, sind weitgehend unbewaldet und stellen daher sehr spezielle Lebensräume dar.



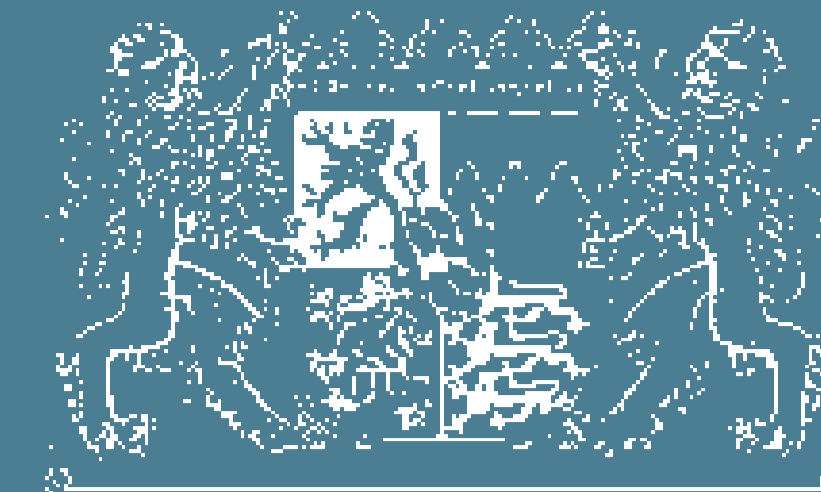
„Polygonale“ – meist fünf- bis siebenseitige – Säulen sind die typische Erstarrungsform der Rhönbasalte. Die Risse entstanden während der Erstarrung des Gesteins in Richtung des größten Temperaturgefälles.



Wenn Vulkankuppen oder Deckenbasalte von der Erosion abgetragen werden, entstehen aus den Säulenbasalten typische Blockmeere. Diese bilden besonders wertvolle Lebensräume für seltene Pflanzen- und Tierarten.



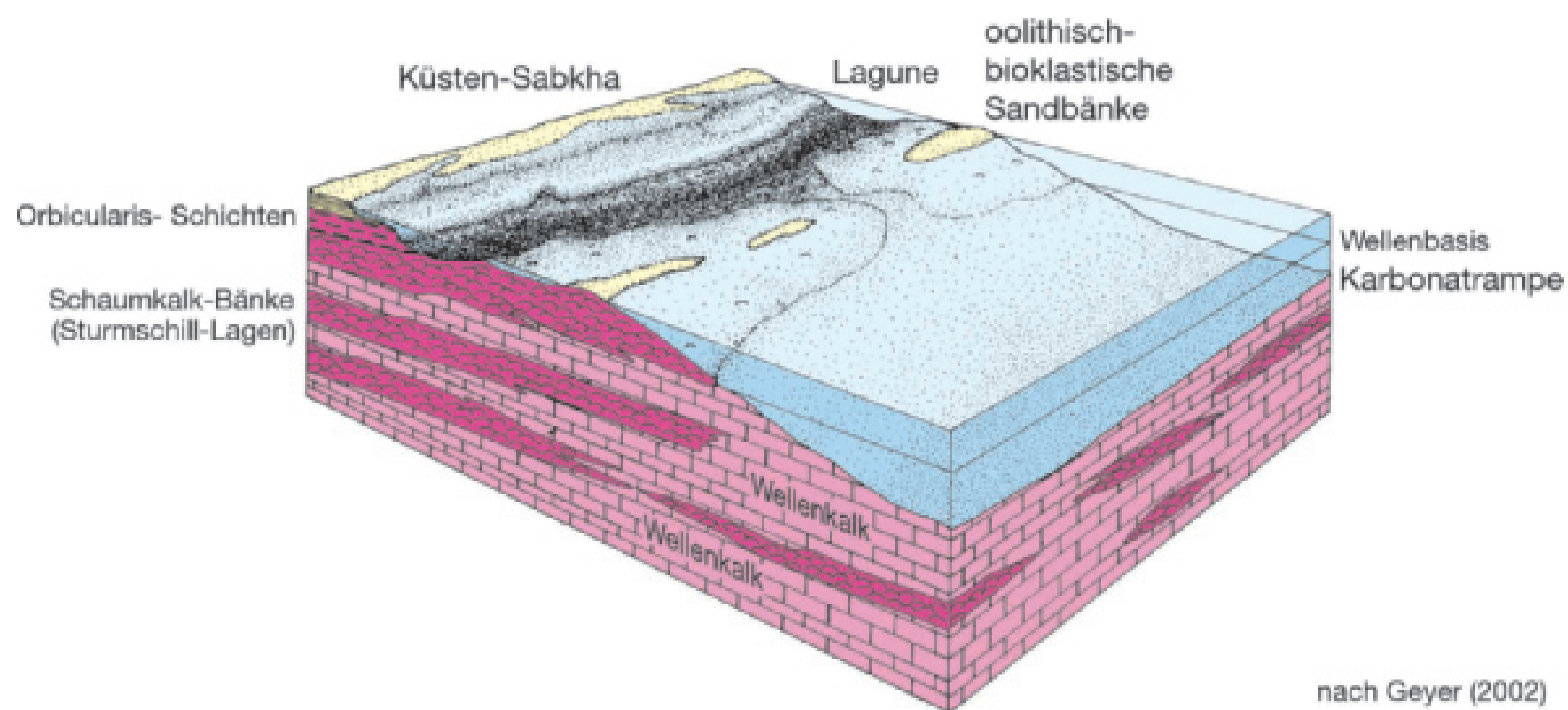
Auf der Hochfläche der Langen Rhön liegt das „Schwarze Moor“, ein Kleinod, das seine Entstehung den klimatischen und geologischen Bedingungen verdankt. Lehmmige Verwitterungsrückstände dichteten Mulden ab, die hier während der Eiszeiten entstanden waren. 1000 mm Jahresniederschlag, 4,7°C Jahresmitteltemperatur und zahlreiche Schnee-, Frost- und Nebeltage begünstigen das Moorbewuchs.



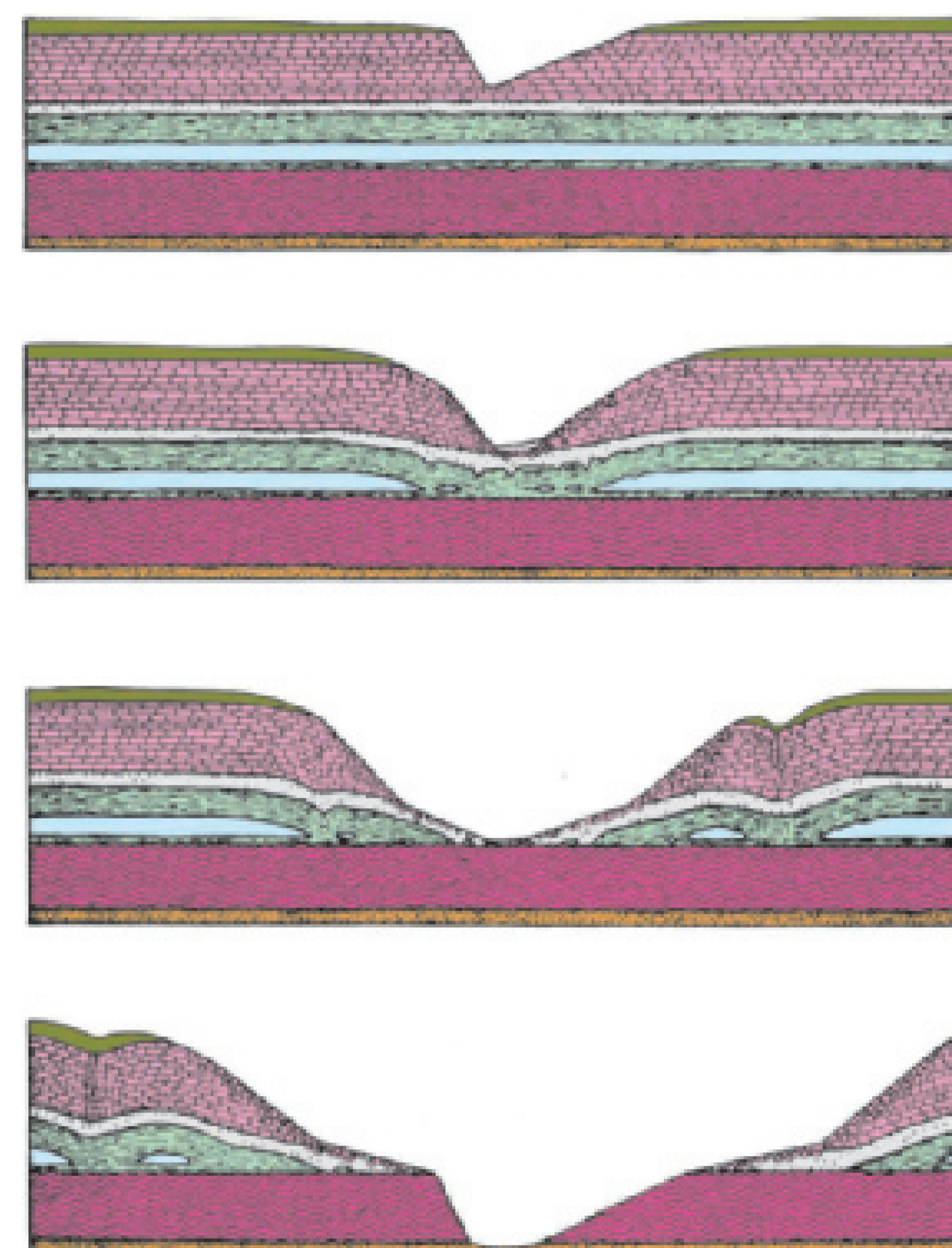
Maintal um Würzburg



Muscheln am Strand des Triasmeeres

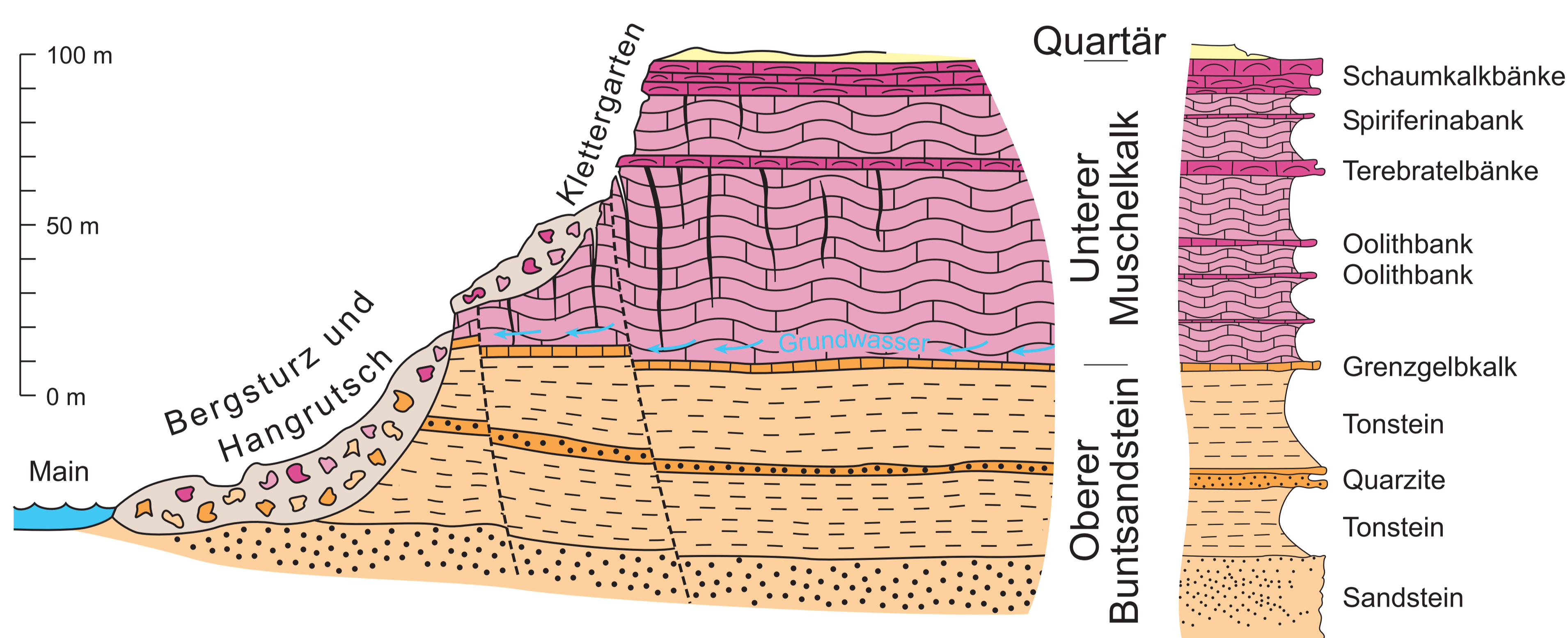


nach Geyer (2002)



- Unterer Keuper
- Salz
- Oberer Muschelkalk
- Unterer Muschelkalk
- Dolomit
- Buntsandstein
- Gips

Der Muschelkalk entstand überwiegend im Bereich eines kalkreichen Flachmeeres, teilweise in einer Art Wattenmeer. Ein Großteil der Schichtfolge zeigt unruhige wellige Internstrukturen und mergelige Zwischenlagen. Es fallen aber auch einzelne dicke Kalkbänke auf („Schaumkalkbänke“ und „Quaderkalkfazies“), die überwiegend aus fossilen Schalenresten bestehen. Es wird angenommen, dass diese Gesteinsbänke als Ablagerungen von Sturmfluten entstanden, wenn durch die kurzzeitig verstärkte Wasserbewegung viel Sediment vom Meeresboden aufgewirbelt wurde und die schweren Kalkschalen von Organismen in Küstennähe wieder abgelagert wurden. Die Gips- und Steinsalzlagen des Mittleren Muschelkalks entstanden in vom Meer abgeschnürten Becken (Sabkhas), in denen zeitweise eindringendes Meerwasser verdunstete.



Die Kalkbankabfolgen des Unteren und Oberen Muschelkalks sind relativ standfest und bilden entlang des Mains oftmals felsige Hänge. Auf den weniger standfesten Gesteinen des Mittleren Muschelkalks und auf mergelreicheren Gesteinsabfolgen wird oft Wein angebaut.

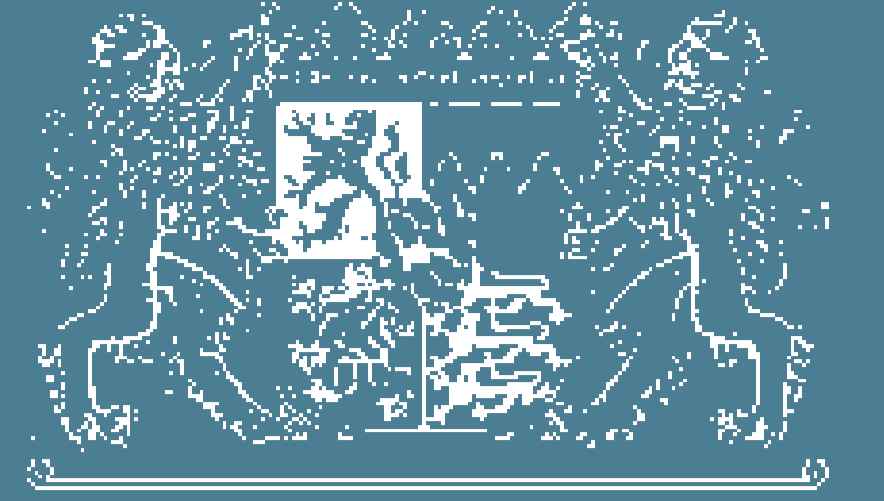
An manchen Prallhängen des Mains ist das Gelände so steil, dass es zu großen Hangrutschungen kommt. So entstand auch die markante Felswand des Kalbensteins.

Der Muschelkalk, der weite Teile des mittleren Maintals prägt, entstand vor etwa 240 Millionen Jahren in einem flachen Meer, das zeitweise vom offenen Ozean

abgeschnürt war. Seinen Namen erhielt er aufgrund seines stellenweise unübersehbaren Fossilreichtums. Einzelne Gesteinsbänke bestehen fast ausschließlich

Die Gips- und Steinsalz-Schichten im Mittleren Muschelkalk werden aufgelöst, sobald sie mit größeren Mengen von Grundwasser in Kontakt kommen. Dies ist immer der Fall, sobald sich Täler in die Schichtfolge einschneiden. Man kennt diese Schichten deshalb nur aus Bohrungen; an den Talhängen treten nur die ausgelaugten Restgesteine zu Tage.

aus fossilen Organismenresten. Dabei handelt es sich manchmal tatsächlich um Muscheln, oft aber auch um Brachiopoden (andere zweischalige Meerestiere), Ammoniten oder auch Crinoiden (Stielglieder von Seelilien). Manche Gesteinsbänke wurden nach dem Vorkommen typischer Arten benannt wie z. B. Terebratelbänke oder Spiriferinabank. Der größte Teil der Muschelkalk-Schichtfolge besteht aber aus einer Wechselfolge von dünneren Kalk- und Mergelbänken, die in einem warmen Flachmeer wohl aufgrund von zyklischen Meeresspiegelschwankungen entstanden.



Maintal um Würzburg

Felsen und Wein am Main



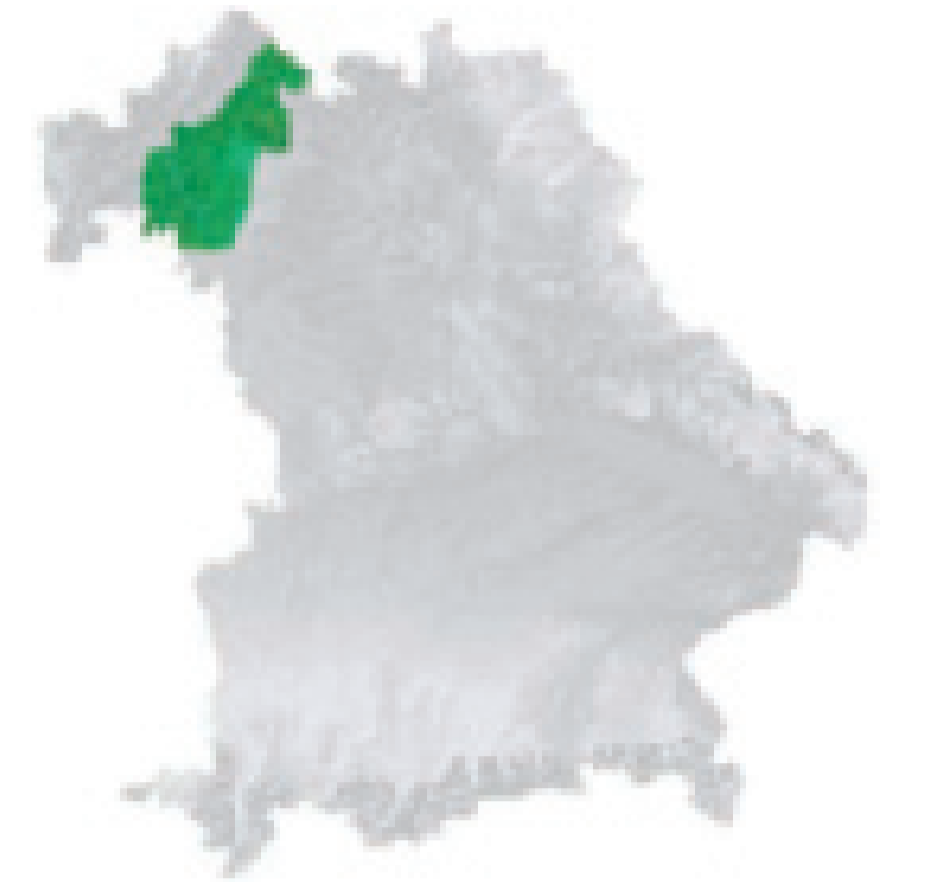
Ein Bergsturz legte im Jahr 1784 nach starken Regenfällen die Felswand des Kalbensteins frei.

Das Mittlere Maintal und seine Nebentäler verdanken Ihre Attraktivität in zweierlei Hinsicht dem Muschelkalk. Zum Einen formen die Kalkgesteinsabfolgen vielerorts landschaftlich reizvolle Felsformationen. Zum Anderen bilden die Muschelkalkhänge hervorragende Weinstandorte.

Während das Gestein aus dem Erdmittelalter stammt, ist das Maintal als Landschaftsform vergleichsweise jung. Noch vor etwa zwei Millionen Jahren floss der Main ab der Bamberger Gegend nach Süden und mündete in die Donau. Erst später durchbrach der Fluss die Schwelle des Steigerwalds und konnte nun den kürzeren Weg zur Nordsee wählen. Das starke Gefälle, das so entstanden war, führte zur markanten Eintiefung des heutigen Tales.



Die Kalksteinabfolgen des Muschelkalks sind gut verkarstungsfähig, das heißt, dass entlang von Klüften in das Gestein eindringendes Wasser Gestein auflöst und so unterirdische Hohlräume schafft. Das Foto zeigt verbogene und nachgesackte Gesteinsschichten über einem Karstsystem in einem Steinbruch.



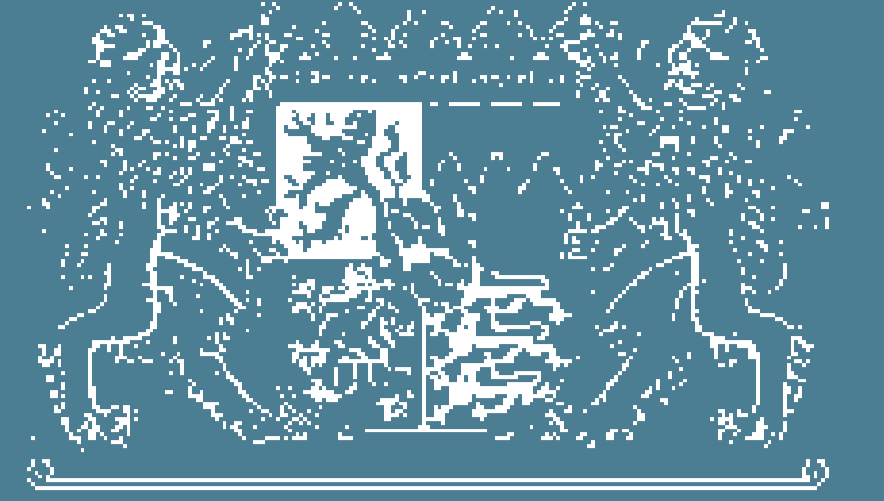
Manche Kalkbänke, wie z. B. die Cycloidesbank im Oberen Muschelkalk, führen massenhaft Fossilien.



Eine Besonderheit im Muschelkalk sind örtliche Massenvorkommen von Austern, deren Schalen immer wieder auf ältere Schalen aufwuchsen. So entstanden inmitten der ansonsten eintönigen Schichtfolgen stellenweise kleine „Riffe“.

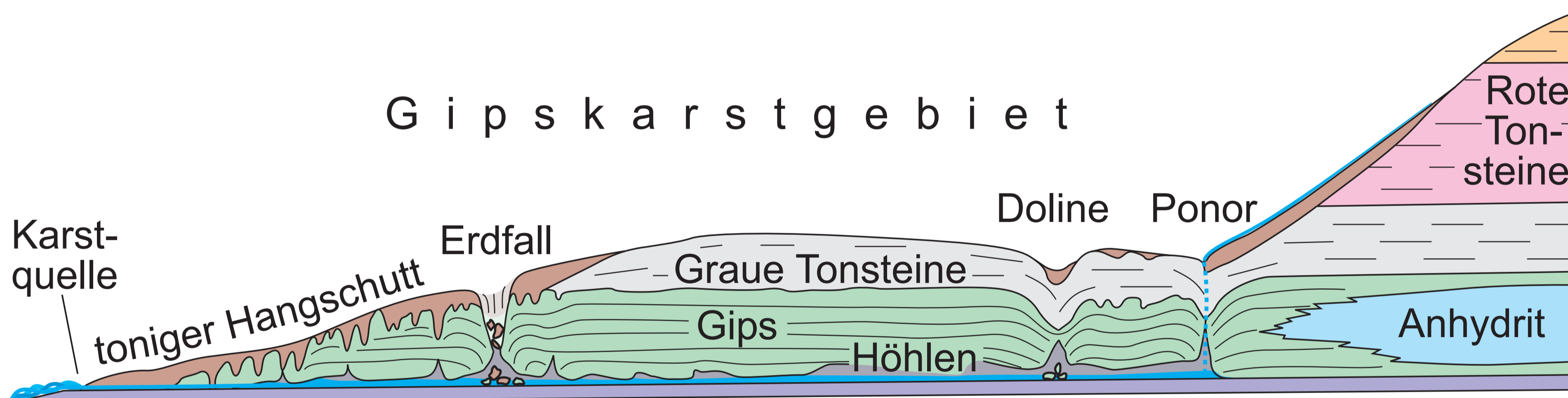
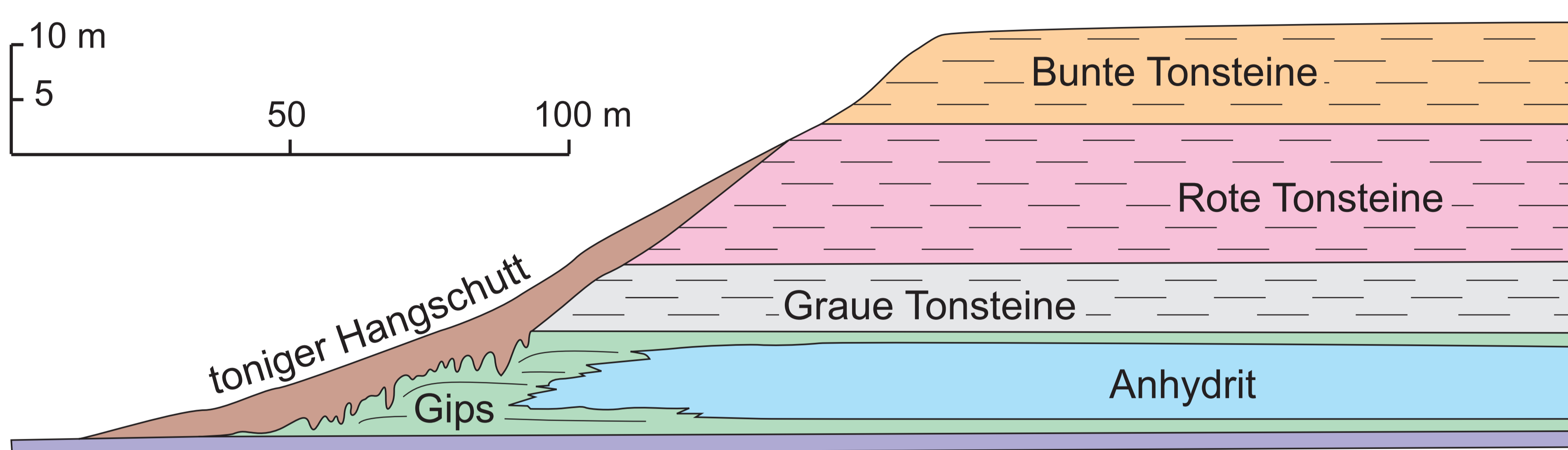


Die Sohle des ehemaligen Steinbruchs bei Dettelbach zeigte die typische wellige Oberfläche vieler Kalkbänke. An den Steinbruchwänden konnte man die Wechsellagerung von Kalk- und Mergellagen erkennen.



Vorland des Steigerwalds und der Frankenhöhe

Meer und Land – Ton, Gips und Sand



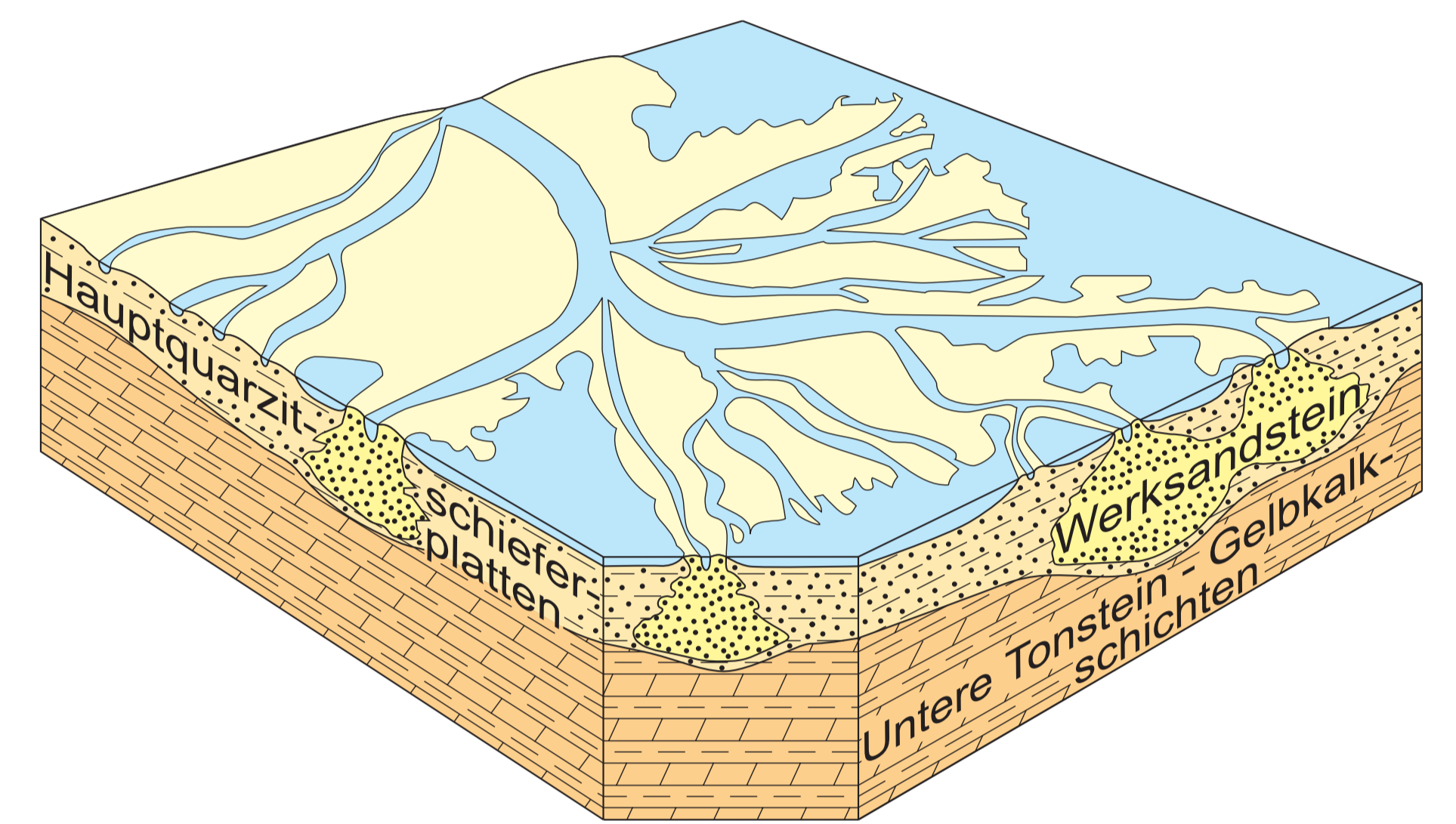
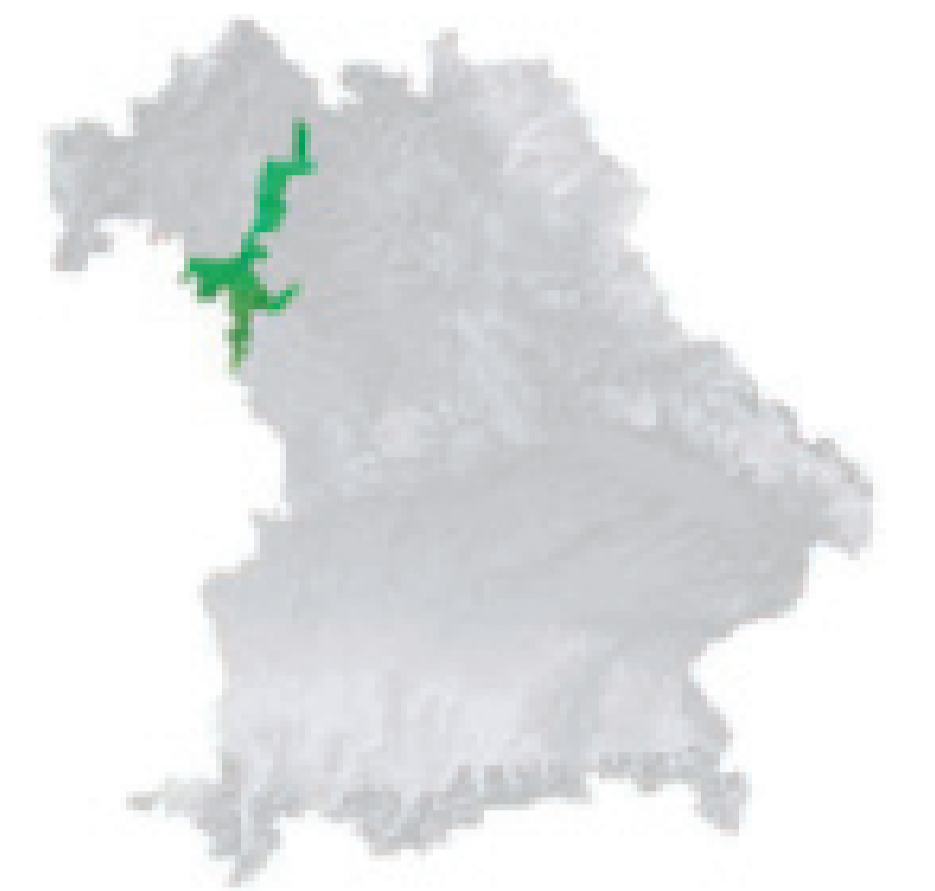
Während des Keupers entstanden mehrfach durch Eindampfung von Meerwasser Gipsablagerungen. Im Laufe der weiteren Erdgeschichte wurde der Gips teilweise zu Anhydrit umgewandelt. Dicke Tonschichten schützten das stark wasserlösliche Gestein vor Auslaugung.

Wenn die überdeckenden Schichten abgetragen werden, wandelt sich der Anhydrit durch Wasseraufnahme in Gips um, der dann vom Grundwasser gelöst und abtransportiert werden kann. Wenn unter einer größeren Fläche Gips ansteht, kann ein Gipskarstgebiet entstehen: Das Grundwasser fließt durch Höhlen zu Karstquellen, in dem Gelände darüber bilden sich Ponore, Dolinen und Erdfälle.

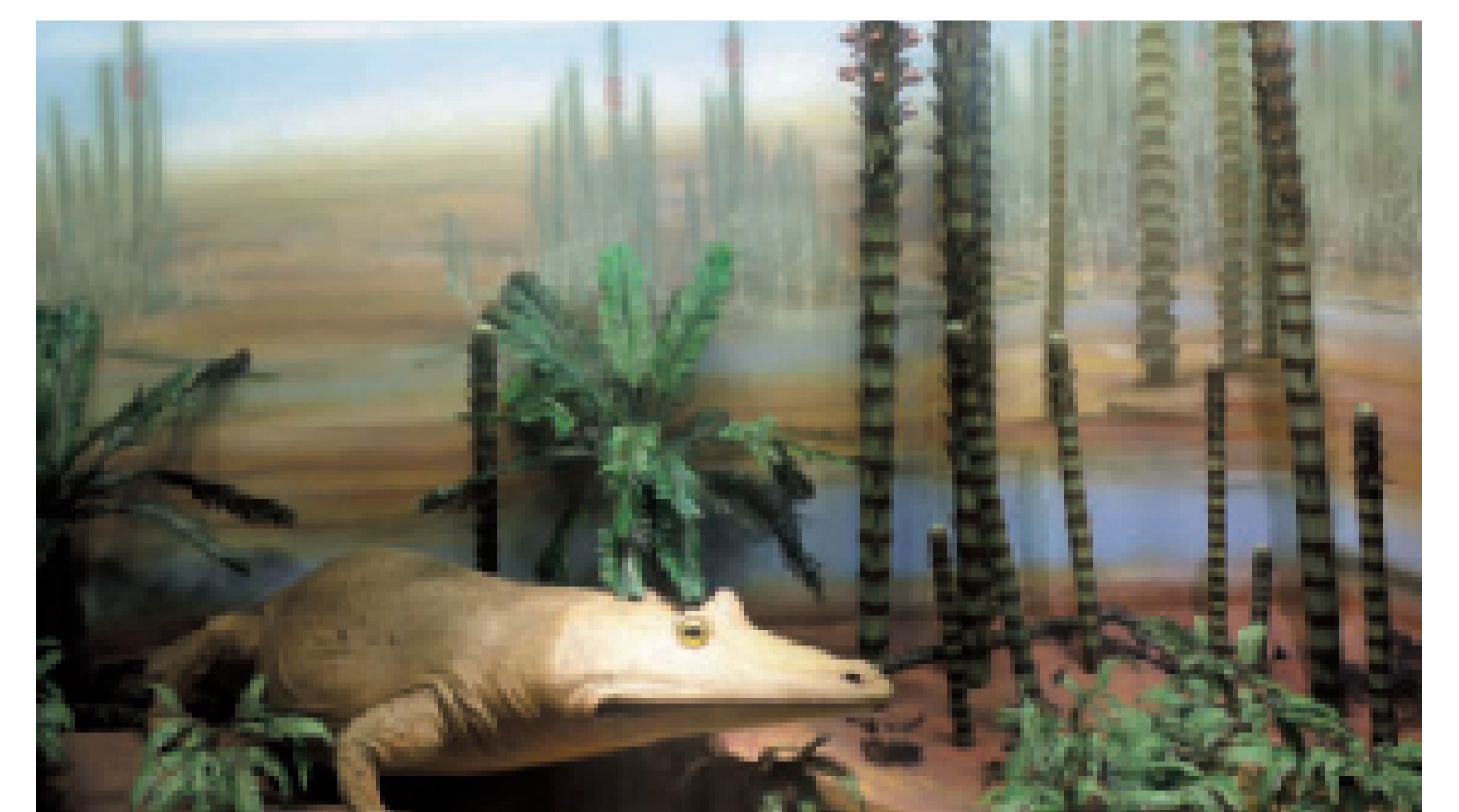
Das Vorland des Steigerwalds und der Frankenhöhe ist aus überwiegend wenig verwitterungsresistenten Gesteinen des Unteren bis Mittleren Keupers aufgebaut. Zu dieser Zeit – vor etwa 230 Millionen Jahren – lag das Gebiet im Bereich einer flachen Meeresküste, die ihr Gesicht mehrfach veränderte. Während des Unteren Keupers fand sich hier ein riesiges Flussdelta mit Wäldern von baumgroßen Schachtelhalmen, Farnen und Bärlappgewächsen. In den Auwäldern lagerten sich überwiegend tonige Schichten ab, die oft Pflanzenreste in Form von Fossilien oder Kohlenlagen enthalten. Entlang

der Flussadern gelangten aber auch große Mengen Sand in das Delta, aus denen beispielsweise der Werksandstein entstand.

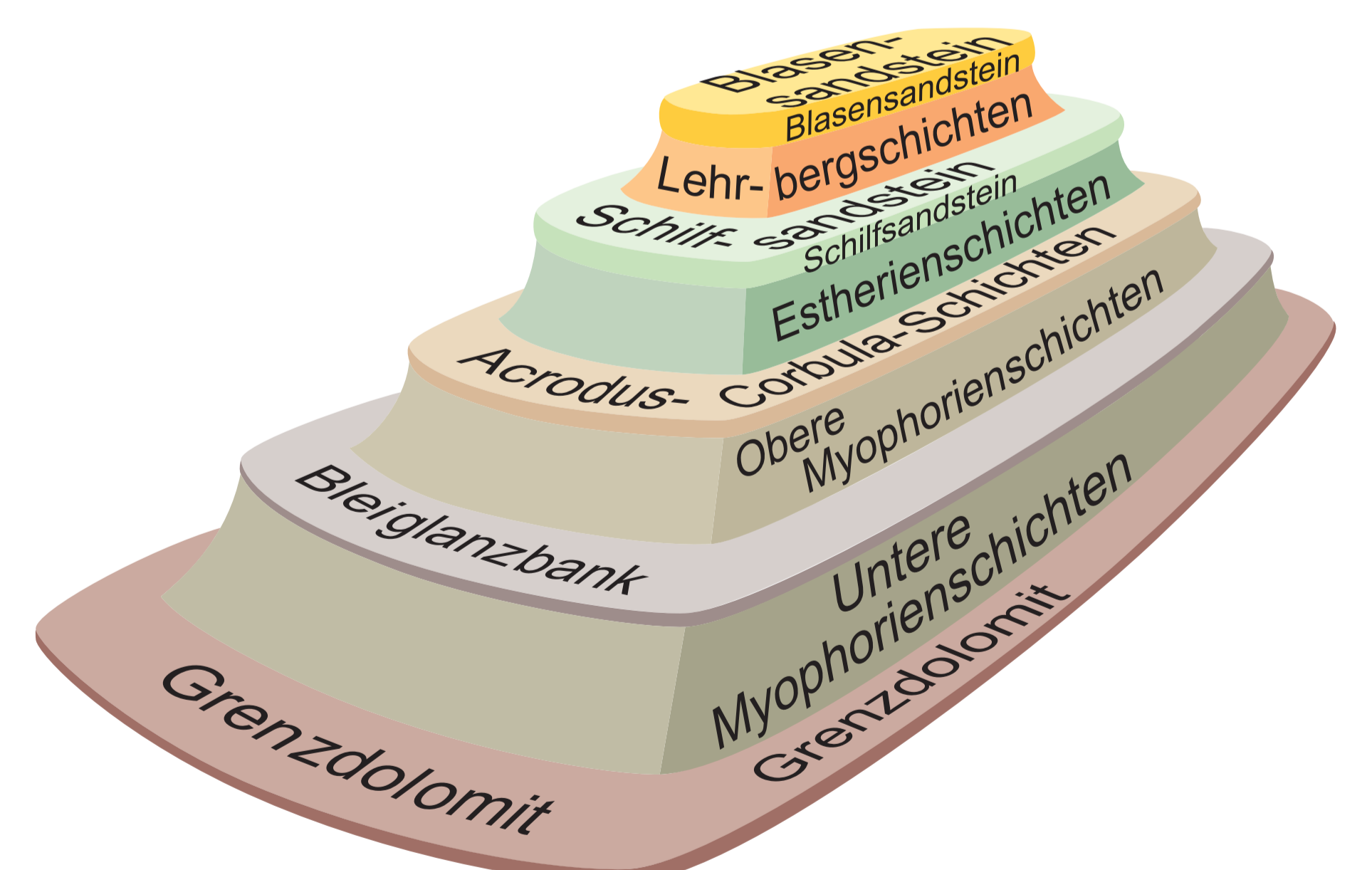
Von einem weitreichenden Meeresvorstoß gegen Ende des Unteren Keupers zeugt der Grenzdolomit. Im folgenden „Gipskeuper“ kam es immer wieder zu Meerwassereinbrüchen in vom Ozean abgetrennte Becken. Im heißen Klima verdunstete viel Wasser, weshalb mehrfach Gips ausgefällt wurde, der zwischen den tonigen und mergeligen Schichten teilweise bis heute erhalten blieb.



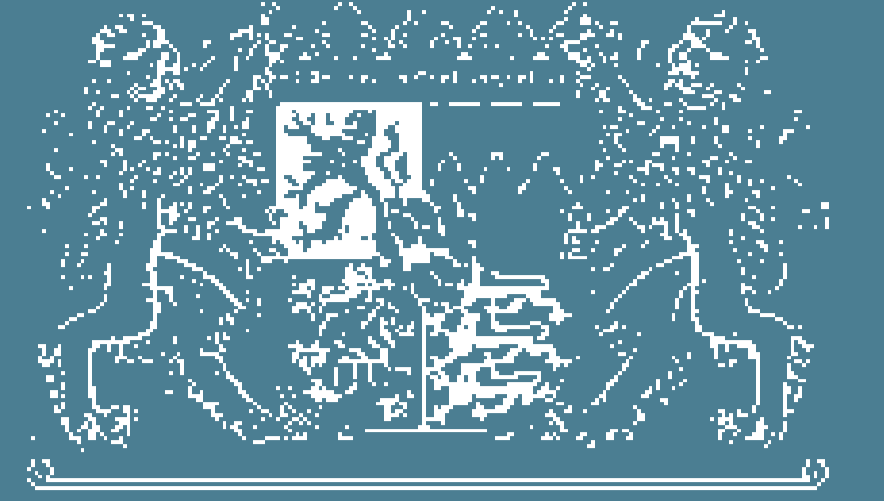
Während des Unteren Keupers lag Nordbayern im Bereich eines riesigen Flussdeltas. Es überwiegen feinkörnige Sedimente mit Pflanzern; entlang einzelner Flussrinnen wurden aber auch Sande abgelagert.



Durch die Schachtelalm-Wälder des keuperzeitlichen Flussdeltas stapfte der mehrere Meter lange Mastodonsaurus, eines der größten Amphibien der Erdgeschichte (Diorama im Naturkunde-Museum Coburg).

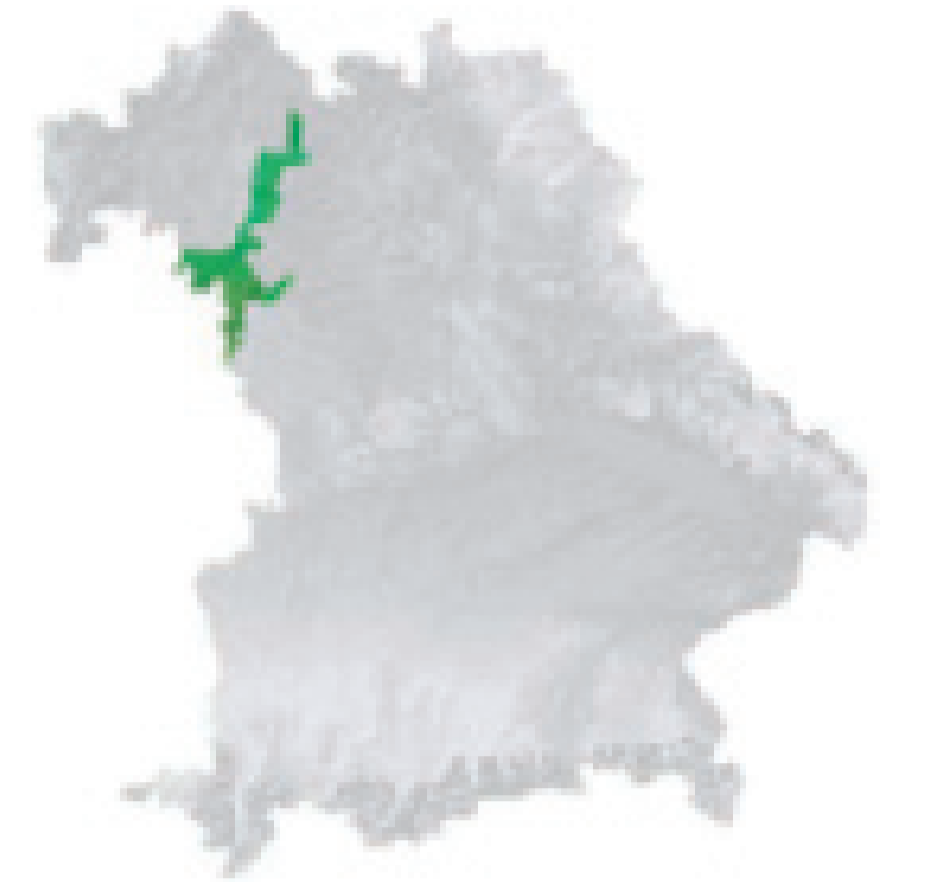


In der Schichtfolge des Keupers wechseln sich mehrfach verwitterungsanfällige Schichten und härtere Gesteinsbänke ab. Die harten Sandstein- oder Karbonatbänke (z. B. Acrodus-Corbula-Schichten, Bleiglanzbank und Grenzdolomit) schützen die weicheren Schichten vor der Abtragung und bewirken so die Ausbildung von typischen Schichtstufen.



Vorland des Steigerwalds und der Frankenhöhe

Liebliche Landschaft mit Überraschungen



Der Untere Keuper besteht überwiegend aus tonigen Sedimenten mit kohligem Pflanzenfossilien, weshalb er auch als Lettenkohlenkeuper bezeichnet wurde. Nur in einzelnen Rinnen entstand der Werksandstein, der wegen seiner günstigen Eigenschaften jahrhundertlang in zahlreichen Steinbrüchen abgebaut wurde. Heute verfallen die Aufschlüsse allmählich, nur ein einziger Abbau ist noch in Betrieb.

Das Gebiet wird einerseits begrenzt durch die Schichtstufe des Steigerwalds und der Frankenhöhe im Südwesten, wo jüngere Sandsteinabfolgen aufragen und andererseits durch das Maintal mit

seinen Nebentälern die sich steil in den unterlagernden Muschelkalk eingeschnitten haben. In dem dazwischen liegenden Gebiet dominieren überwiegend stark verwitterungsanfällige Gesteine, die nur



Die größte Menge des früher abgebauten Werksandsteins wurde natürlich als Baumaterial genutzt. Wegen seiner guten Bearbeitbarkeit eignet er sich aber auch für Skulpturen und Bildstöcke. (Hier die rote Varietät des Werksandsteins, der „Blutsandstein“)

selten steile Hänge ausbilden. Interessante Landschaftsformen finden sich aber beispielsweise in den Gipskarstgebieten mit ihren Dolinen, Erdfällen und Karstquellen.



Enge und oft sehr labyrinthische Höhlen durchziehen die Gipslagen des Keupers.



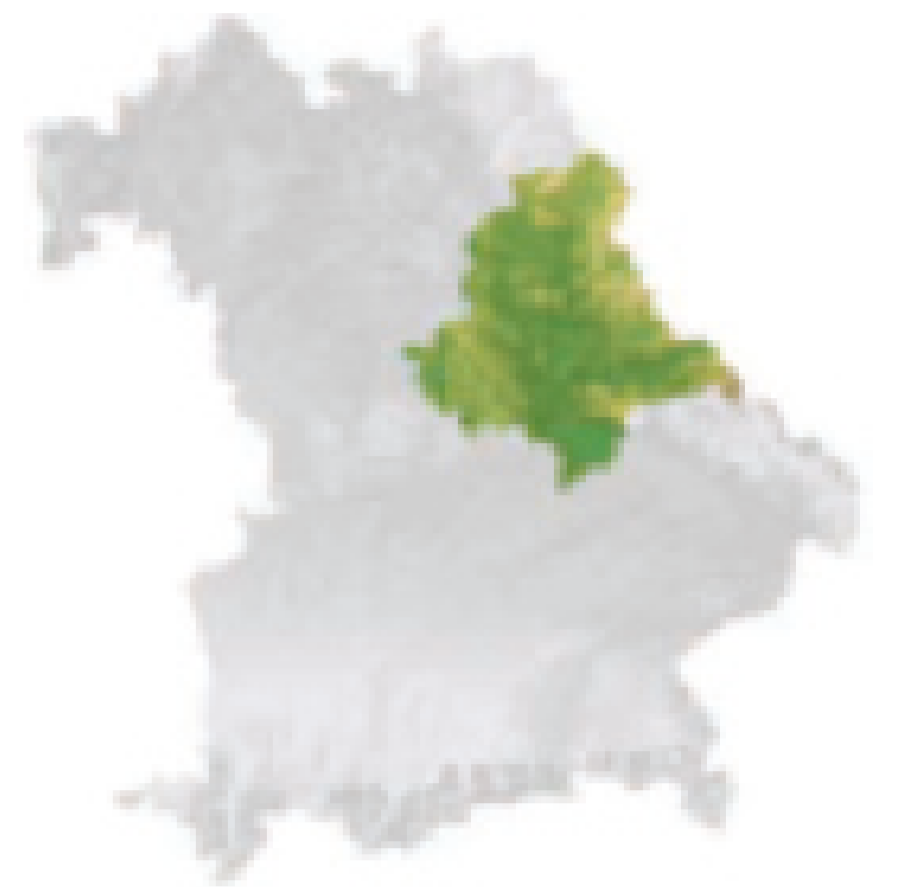
Wenn Teile der Höhlen in den Gipslagen des Keupers einstürzen, sacken die überlagernden tonigen Sedimentschichten plötzlich nach und es entstehen steile Erdfälle.

Eine weitere Besonderheit ist der Werksandstein, der aufgrund seiner Entstehung in Flussrinnen nur gelegentlich in größerer Mächtigkeit vorkommt. Wegen seiner guten Bearbeitbarkeit war das Gestein jahrhundertlang als Baumaterial in der Region sehr beliebt.



Lust auf Lesestoff ?

Geotope in Mittelfranken



Der Burgsandstein prägt in Mittelfranken viele Landschaften und Gebäude. Von Hand wurde er früher in vielen Steinbrüchen abgebaut, wie z. B. bei Mauk.

Haben Sie schon von der Banderbacher Verwerfung, vom Druidenstein oder dem Bodenlosen Loch gehört? Nein?? Aber Sie kennen sicherlich den Hesselberg !

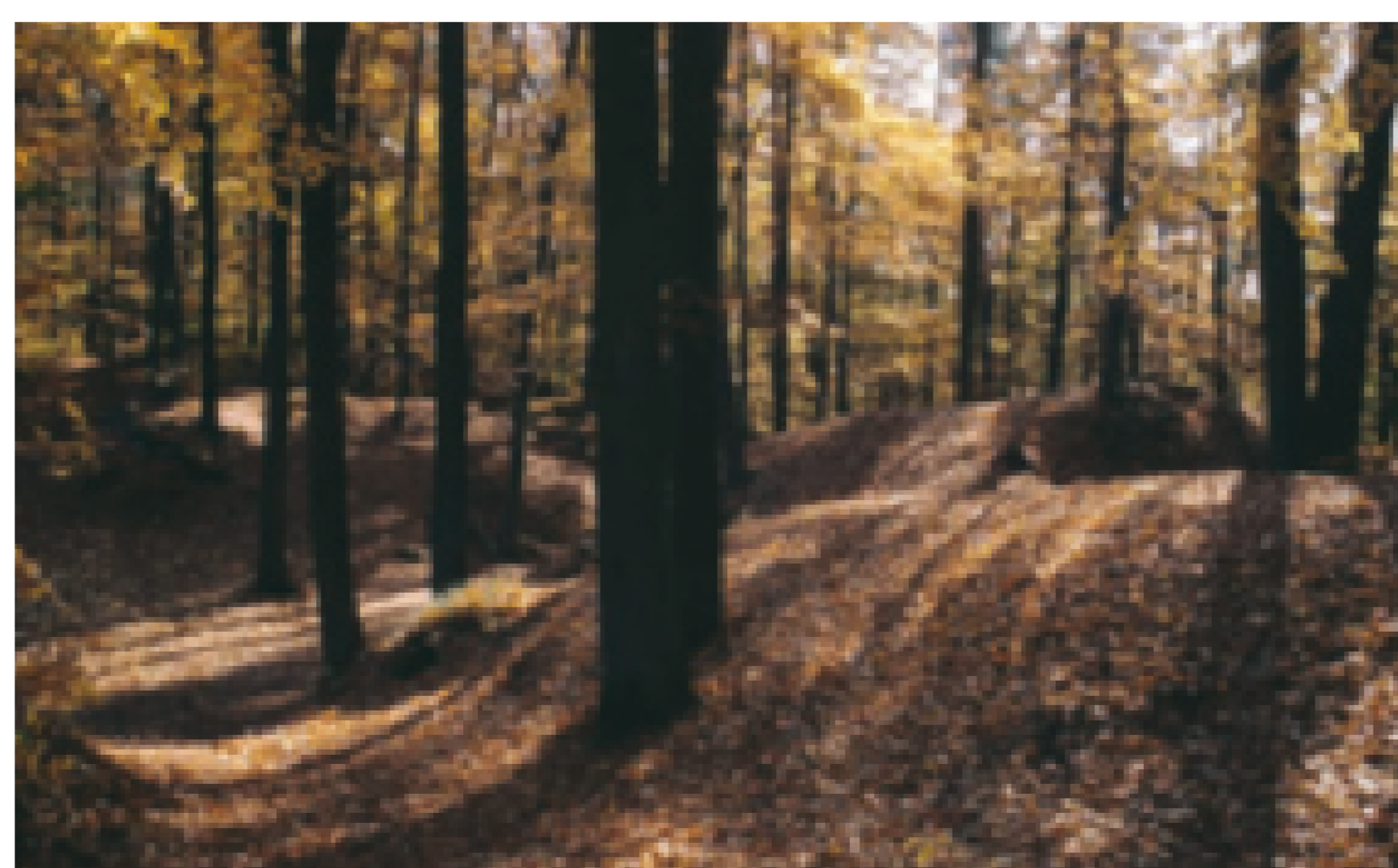
Diese Geotope und weitere schützenswerte Zeugen der erdgeschichtlichen Entwicklung Mittelfrankens finden Sie im Heft **Geotope in Mittelfranken**. Vom Muschelkalk im Taubertal über den Gipskeuper und den Sandsteinkeuper bis in den Jura der Frankenalb finden Sie hier viele interessante und überraschende Gesteinsaufschlüsse und Landschaftsformen.



Kalktuffbildungen finden sich in vielen Quellbächen am Rand der Fränkischen Alb.



Wo Gips aus dem Gipskeuper ausgelaugt wird entstehen Höhlen und Erdfälle wie z. B. am Häfringsberg bei Bad Windsheim.



Am Rathsberg bei Erlangen sorgen Rutschungen am Rand der Schichtstufe für interessante Landschaftsformen.



Geotope in Mittelfranken

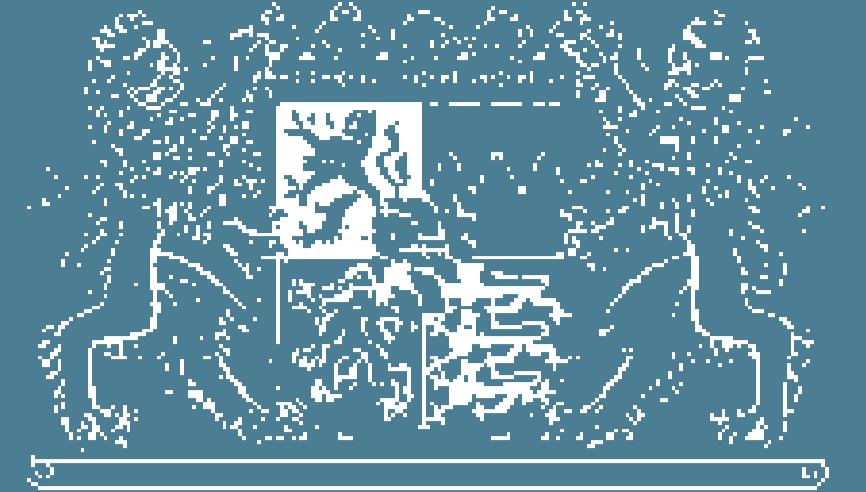
Eichhorn R., Glaser, S., Keim, Lagally U., Rohrmüller J.

176 Seiten, Format Din A4, mit zahlreichen Fotos, Grafiken und Übersichtskarten

ISSN 0945-1765

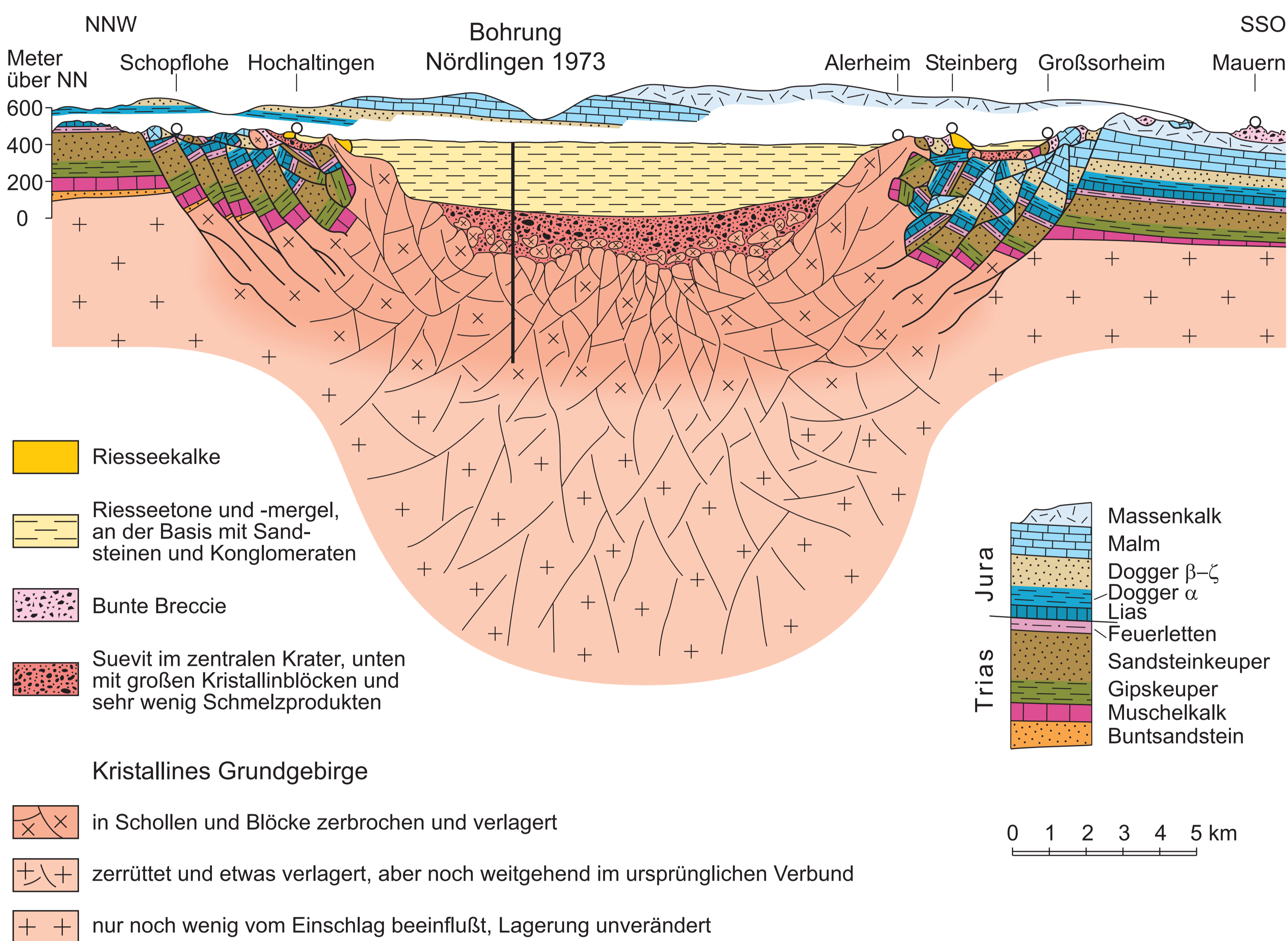
Preis: 9,-€ (zuzüglich Versandkosten)

Bestellungen unter:
www.lfu.bayern.de/publikationen



Nördlinger Ries

Ries(iger) Krater

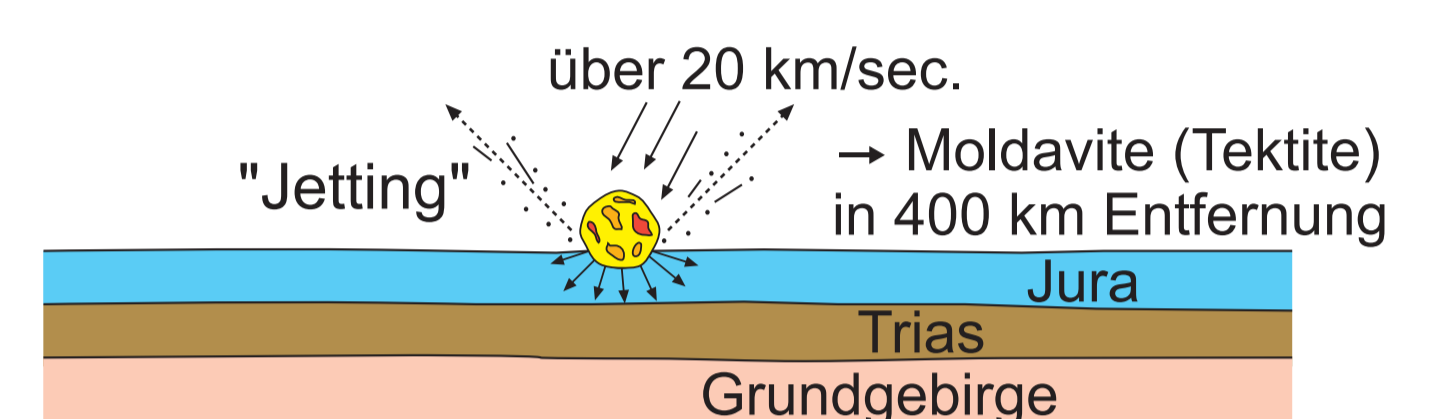
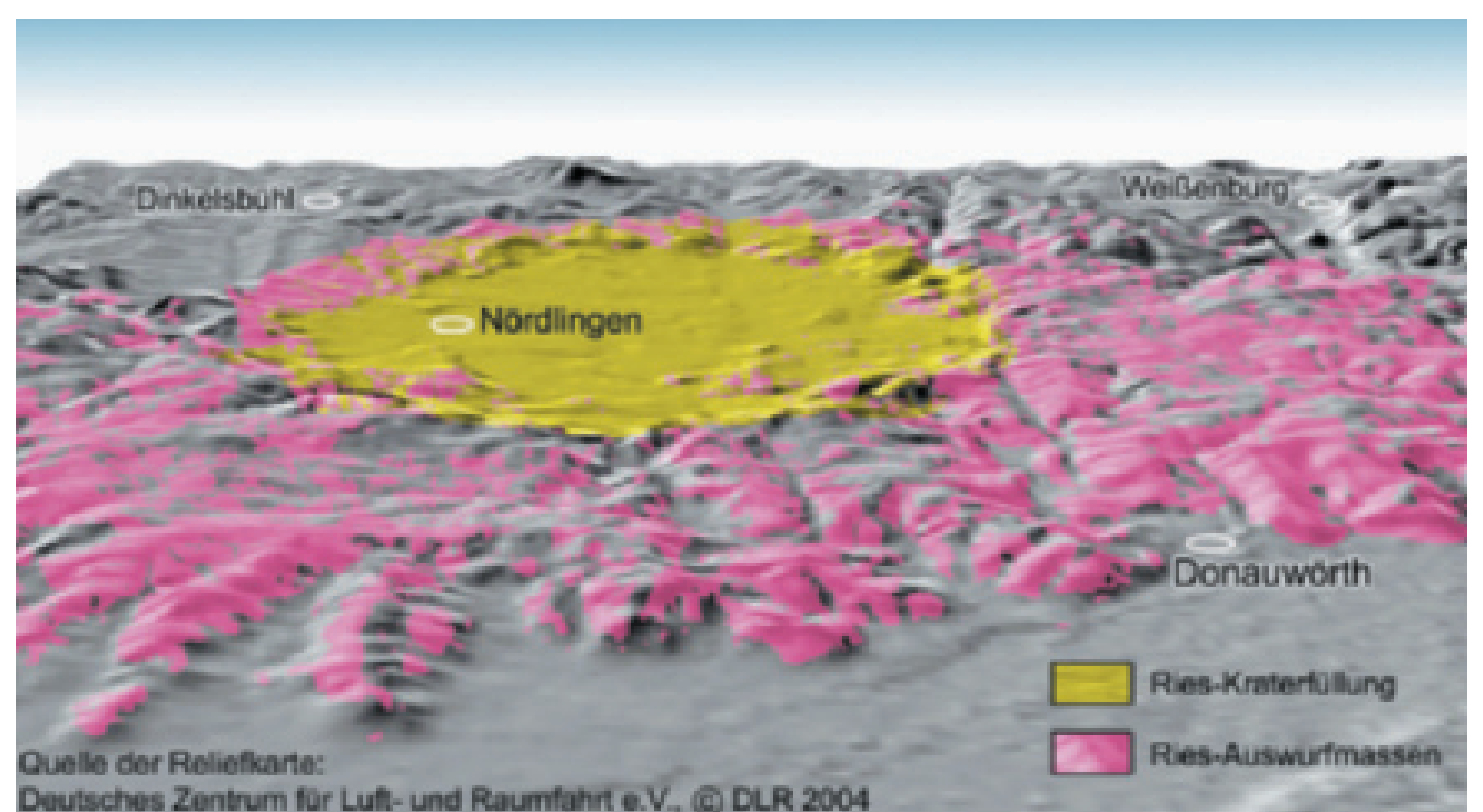


Ein Schnitt durch den Rieskrater zeigt dessen Aufbau: Das Innere des Kraters ist mehrere 100 Meter hoch mit Seesedimenten verfüllt, die sich in den zwei Millionen Jahren nach dem Meteoriteneinschlag abgelagerten. Darunter liegt Suevit – ein typisches Impaktgestein – und zerbrochene Teile des unterlagernden Grundgebirges. Der äußere Krater wird von verkippten und in den Krater eingeglittenen Schollen der umgebenden Sedimentgesteine aufgebaut.

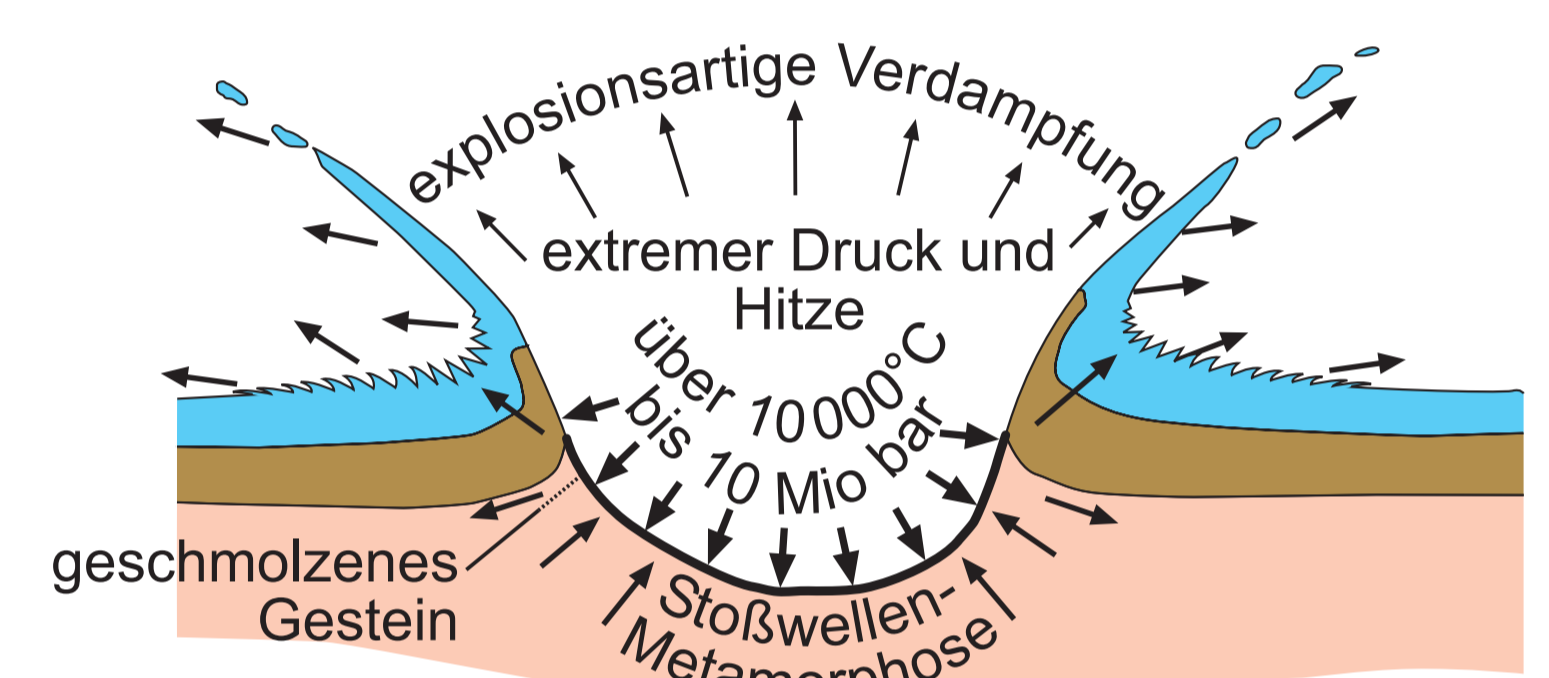
Vor etwa 14,5 Millionen Jahren schlug an der Nahtstelle von Schwäbischer und Fränkischer Alb ein ca. 1 Kilometer großer Asteroid ein. Die Aufschlagsenergie entlud sich in einer gewaltigen Explosion. Zurück blieb ein Krater von gut 20 Kilometern Durchmesser. Chaotische Trümmerrmassen, die aus dem Krater ausgeworfen wurden, bedeckten das Umland bis in mehrere dutzend Kilometer Entfernung. Im Kraterbereich wurden Gesteine durch Hitze und Druck umgewandelt, teilweise aufgeschmolzen, oder verdampften sogar. Teile der heißen Gesteinsfragmente wurden mit der Explosionswolke in die obere Atmosphäre gerissen und fielen wieder zu Boden, wo sich aus dem Fallout ein typisches graues Trümmergestein mit Glasanteilen bildete, der „Suevit“.

Später sammelte sich im Krater ein abflussloser, meist flacher Brackwassersee. In dem See lagerten sich überwiegend Tone und Mergel ab, teilweise aber auch Braunkohlen und Süßwasserkalke.

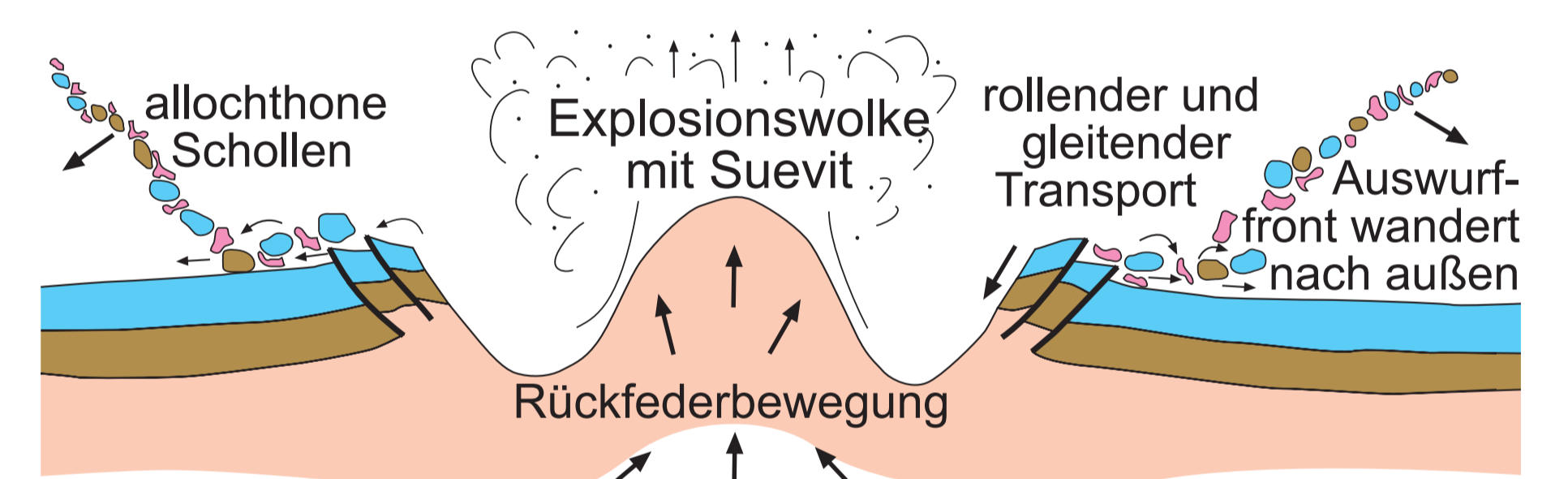
Etwa zwei Millionen Jahre nach dem Einschlag war der Krater komplett verfüllt und in der Landschaft als solcher nicht mehr erkennbar. Erst durch Erosion in der jüngeren Erdgeschichte wurden Teile der Kraterfüllung wieder ausgeräumt. Der Kraterand, der überwiegend aus harten Kalksteinen besteht, ist dadurch heute wieder in der Landschaft sichtbar.



Ein etwa 1 km großer Asteroid kollidiert mit kosmischer Geschwindigkeit mit der Erde. Dabei wird aus der Kontaktzone überhitztes Material in Form von Dampf und hochkomprimierter Schmelze herausgeschleudert („Jetting“).



Der kosmische Körper dringt in den Untergrund ein. Es wird ein vorübergehender Krater mit ca. 12 km Durchmesser und 4 km Tiefe gebildet. Nach Durchgang der Schockwelle kommt es zur explosionsartigen Verdampfung von Meteorit und Gestein.



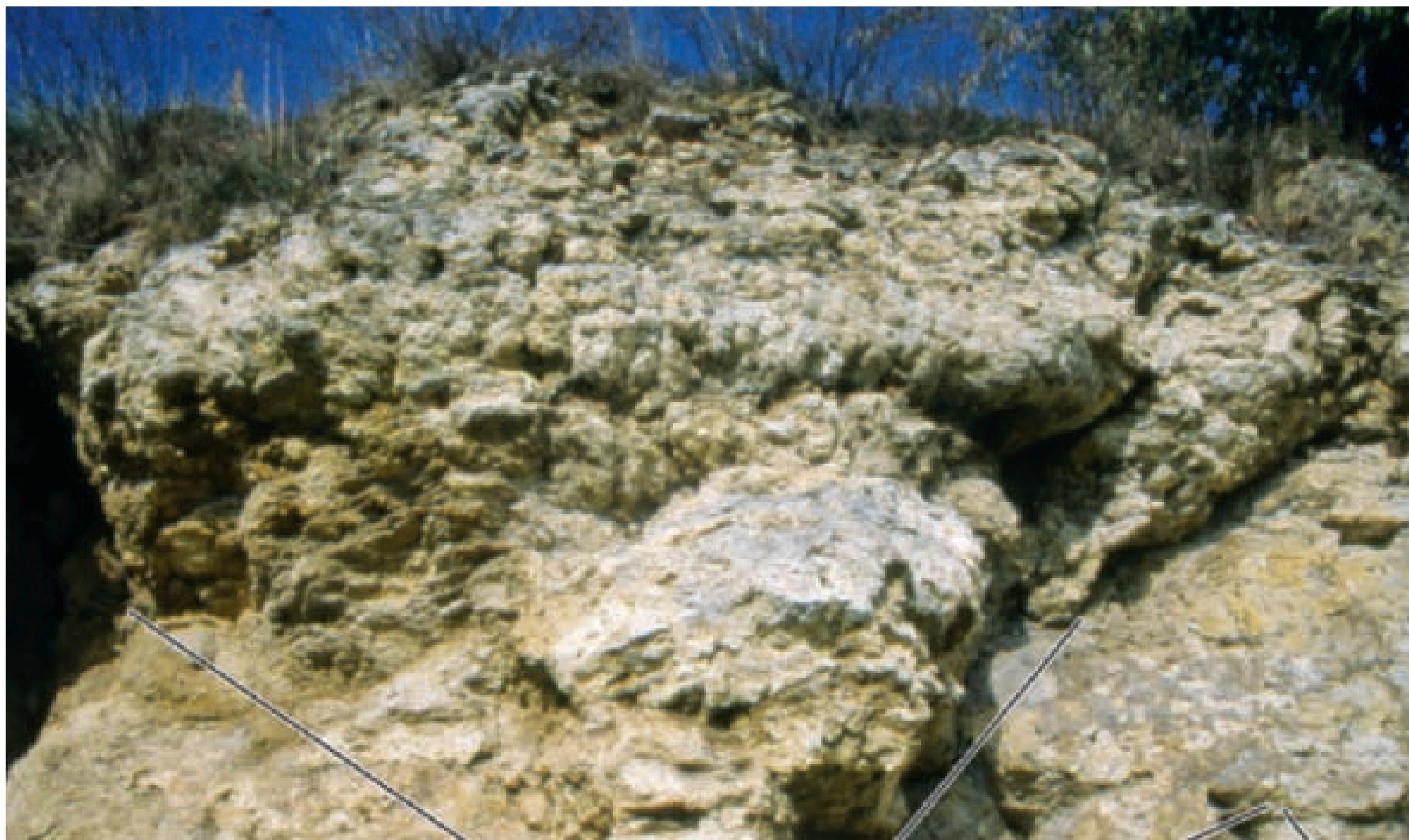
Etwa 2 bis 4 Sekunden nach dem Impact beginnt das hochkomprimierte Gestein vom Boden des Kraters zurückzufedern. Material wird ballistisch ausgeworfen und eine Explosionswolke steigt bis in die obere Atmosphäre auf.



Die Eruptionssäule kollabiert, es beginnt die Ablagerung des Suevits. Gleichzeitig kommt es am Kraterand zu Ausgleichsbewegungen, wodurch der Krater verbreitert und verflacht wird. Etwa 8 Minuten nach dem Auftreffen des Asteroiden sind alle schnellen Bewegungen beendet.

Nördlinger Ries

Die schwäbische Mondlandschaft



Die Sedimente des Riessees bilden heute den Kraterboden und sind nur selten aufgeschlossen. Eine Ausnahme sind härtere Kalkablagerungen, die vor allem am Rand des Sees entstanden. Teilweise handelt es sich hierbei um Algenriffe und massenhafte Anhäufungen von Muschel- und Schneckenschalen, wie sie z. B. am Sportplatz von Hainsfarth aufgeschlossen sind.

Der weitgehend ebene Kraterboden des Nördlinger Rieses ist eine fruchtbare Landschaft, die überwiegend landwirtschaftlich genutzt wird, während die umgebenden, etwa 100 – 150 Meter hohen Kraterränder überwiegend von Wäldern bestanden sind.

Die Einmaligkeit dieses großen runden Beckens entging auch schon den frühen Naturforschern nicht. Viele verschiedene Theorien zur Entstehung kamen im Umlauf. Bis in die 1960er Jahre war man überwiegend der Meinung, dass es sich um eine außergewöhnlich starke vulkani-

sche Explosion gehandelt haben müsse. Erst durch Funde von Hochdruckmineralien, wie sie nur bei Meteoriteneinschlägen entstehen, und durch weitere Untersuchungen wurde klar, dass das Ries ein Meteoritenkrater ist. Und zwar der besterhaltene der großen Einschlagskrater auf der Erde!

Eine weltbekannte „Pilgerstätte“ der Impaktforschung ist der Steinbruch Aumühle bei Hainsfarth. In dessen unterem Teil sind chaotische Schollen der Auswurfmassen aufgeschlossen, die hier wenige Momente nach dem Meteoriteneinschlag zu liegen kamen. Darüber legte sich der Fallout aus der Explosionswolke, der graue Suevit, der zum Teil aus aufgeschmolzenen und wieder erstarrten Gesteinsfragmenten besteht.

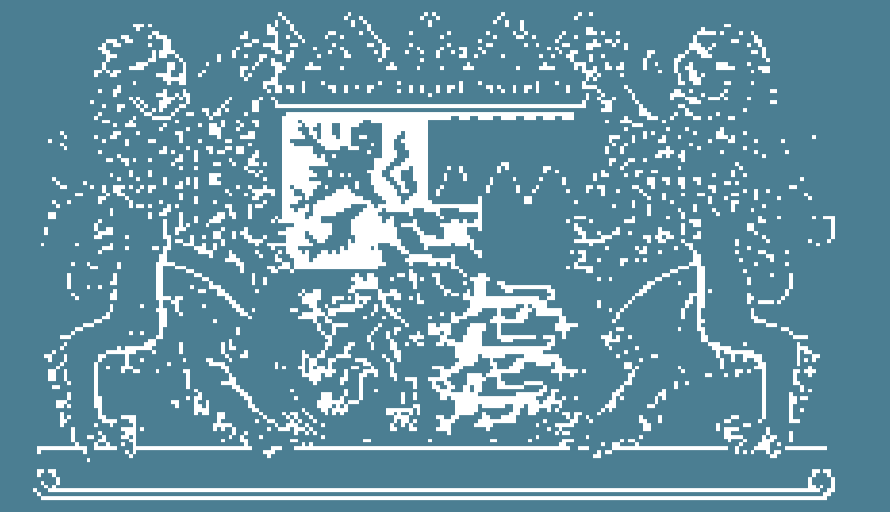


Der Riegelberg südlich von Nördlingen ist eine riesige verkippte Kalkscholle am Rand des Kraters. Nur bei besonders klarem Wetter erkennt man von hier aus, jenseits des ebenen Kraterbodens, als schmalen dunklen Streifen den gegenüber liegenden Kraterrand.



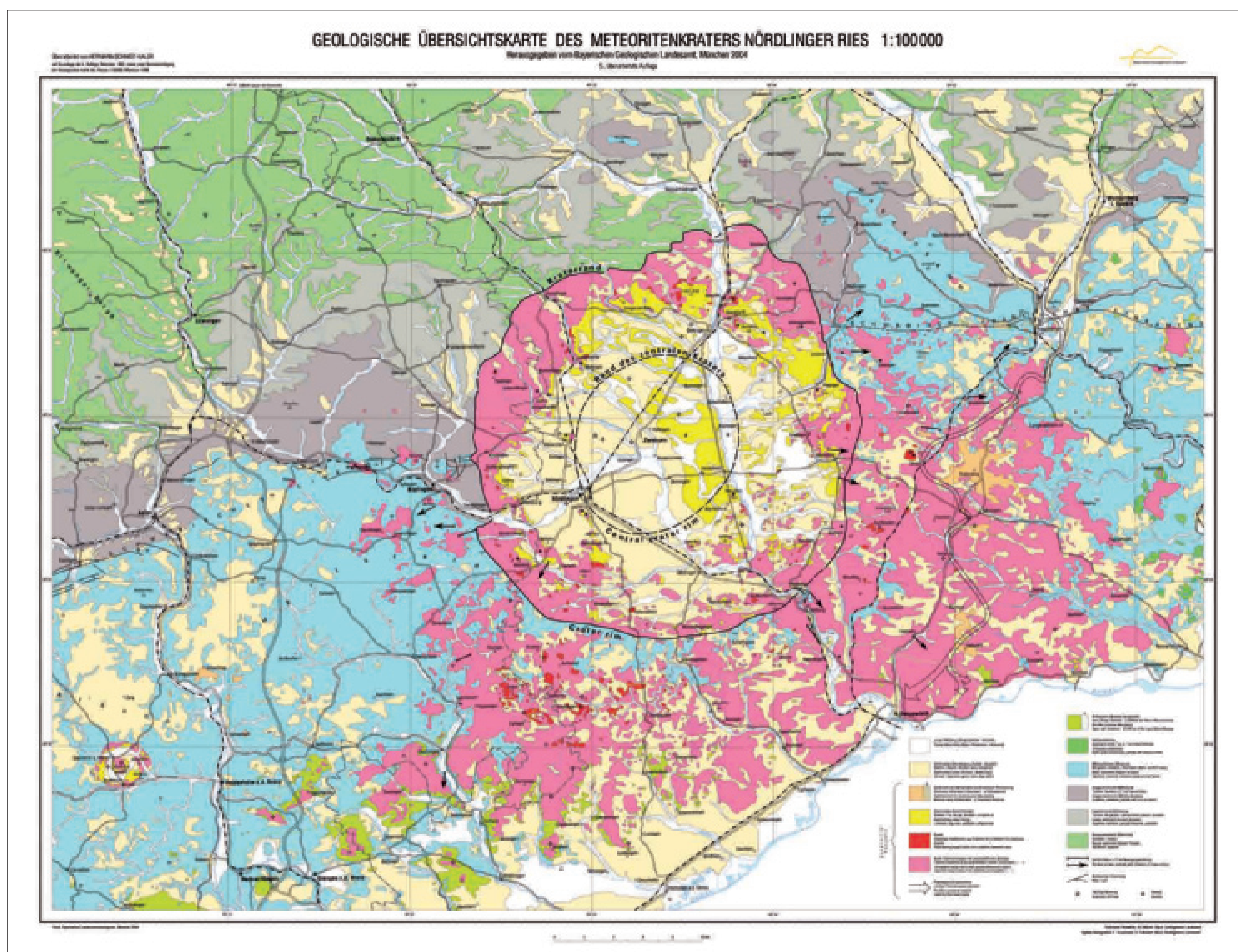
Die Felskuppe „Rauhe Birk“ bei Ebermergen ist eine über 100 Meter lange Kalkscholle, die beim Meteoriteneinschlag ausgeworfen wurde. Sie liegt immerhin 8 Kilometer außerhalb des Kraterrandes. Der harte Kalk wurde bei der Abtragung der umgebenden Trümmersmassen aus diesen herauspräpariert und bildet heute – wie viele andere Kalkauswürflinge auch – eine auffällige Kuppe in der Landschaft.





Geologische Karte des Ries

Meteoritenkrater Nördlinger Ries



Geologische Karte
1:100 000
des Meteoriten-
kraters Nördlinger
Ries

Schmidt-Kaler, H.,
Geiß, E., Frank, H.
(2004):
Geologische Karte
des Meteoriten-
kraters Nördlinger
Ries 1:100 000 mit
Kurzerläuterungen.

Ehemaliges Geolo-
gisches Landesamt

Preis: 5 € (zuzüglich
Versandkosten)

Vorderseite der Geologischen Karte Meteoritenkraters Nördlinger Ries 1:100 000 in Deutsch und Englisch.

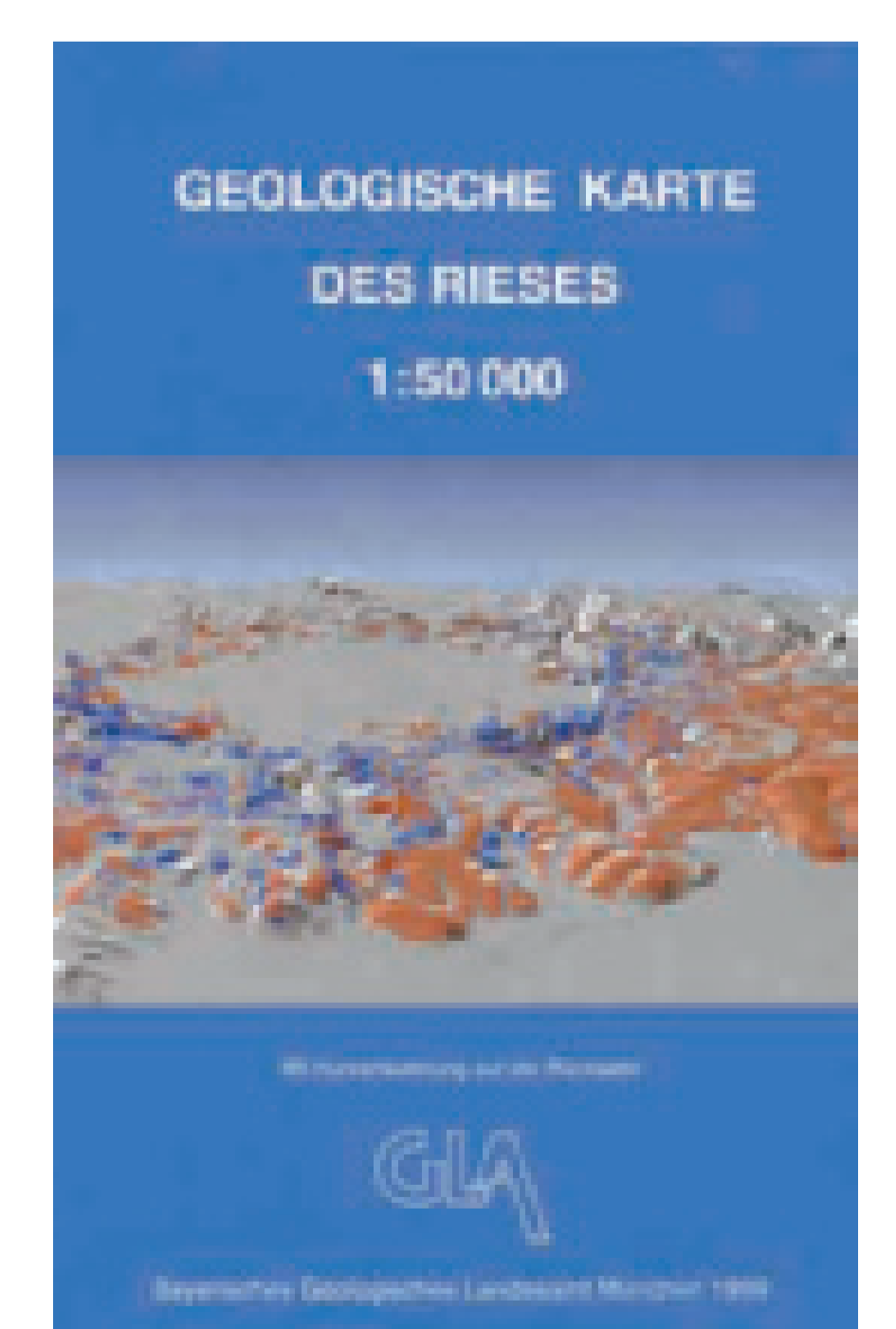


Geologische Karten stellen die an der Oberfläche anstehenden Gesteine dar. Sie bieten Informationen über den geologischen Aufbau einer Region.

Die „Geologische Karte 1:100 000 des Meteoritenkraters Nördlinger Ries“ gibt einen Überblick über den geologischen Aufbau des Kraters. Eine kurze Erläuterung auf der Kartenrückseite in deutscher

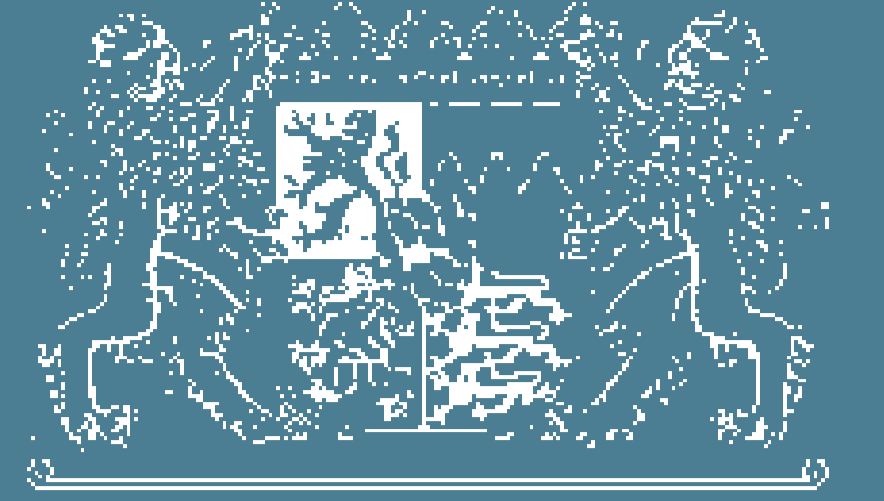
und englischer Sprache geht auf die Entstehung und die Besonderheiten der Landschaft ein.

Neben der Übersichtskarte im Maßstab 1:100 000 ist auch eine detailliertere Karte im Maßstab 1:50 000 erhältlich, die viele zusätzliche Informationen - beispielsweise auch zu Exkursionszielen - bereitstellt.



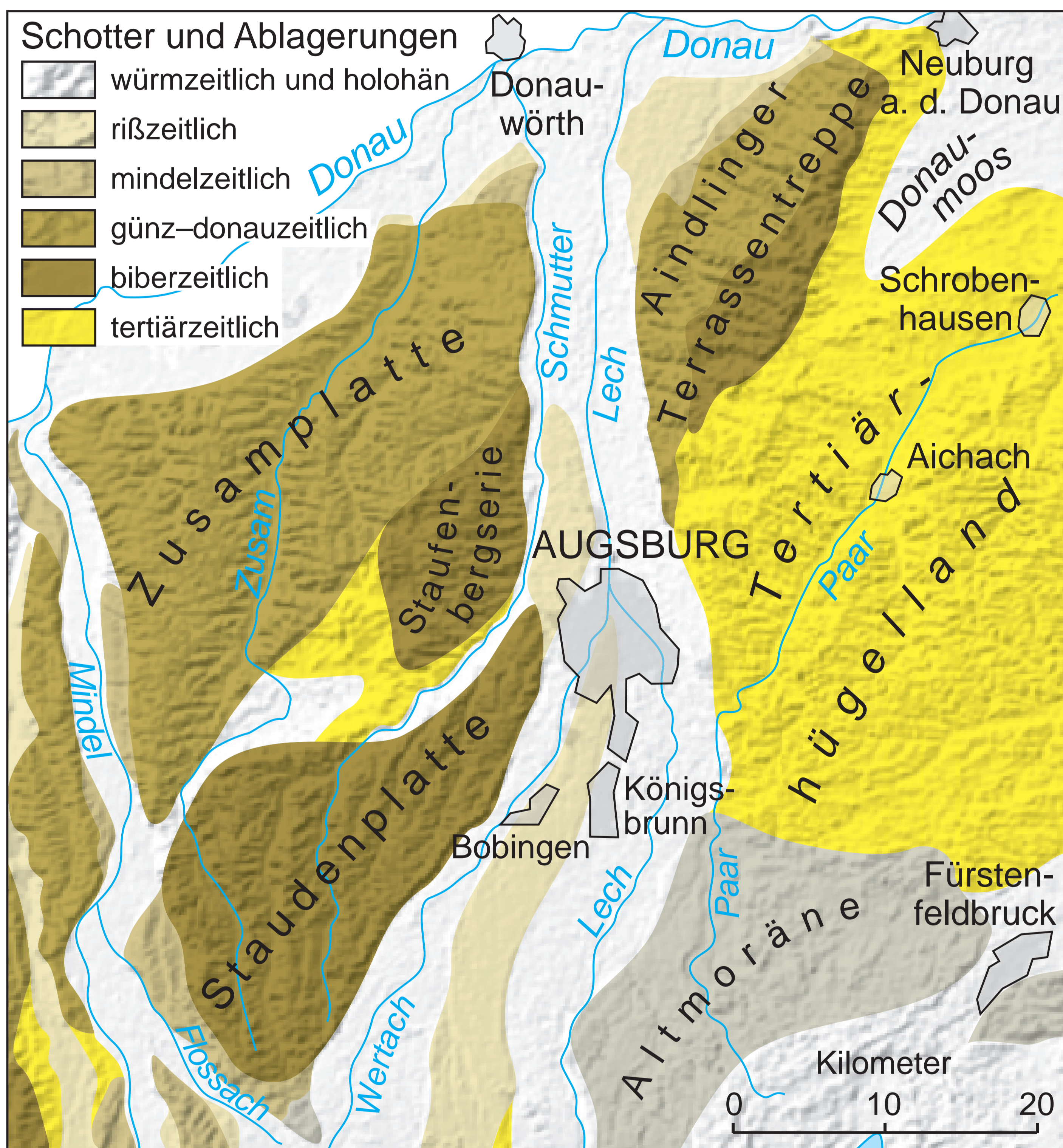
Geologische Karte des Rieses 1:50 000 als Karte und auf Compact Disk erhältlich.

Bestellungen unter:
www.lfu.bayern.de/publikationen



Täler und Höhen zwischen Iller und Lech

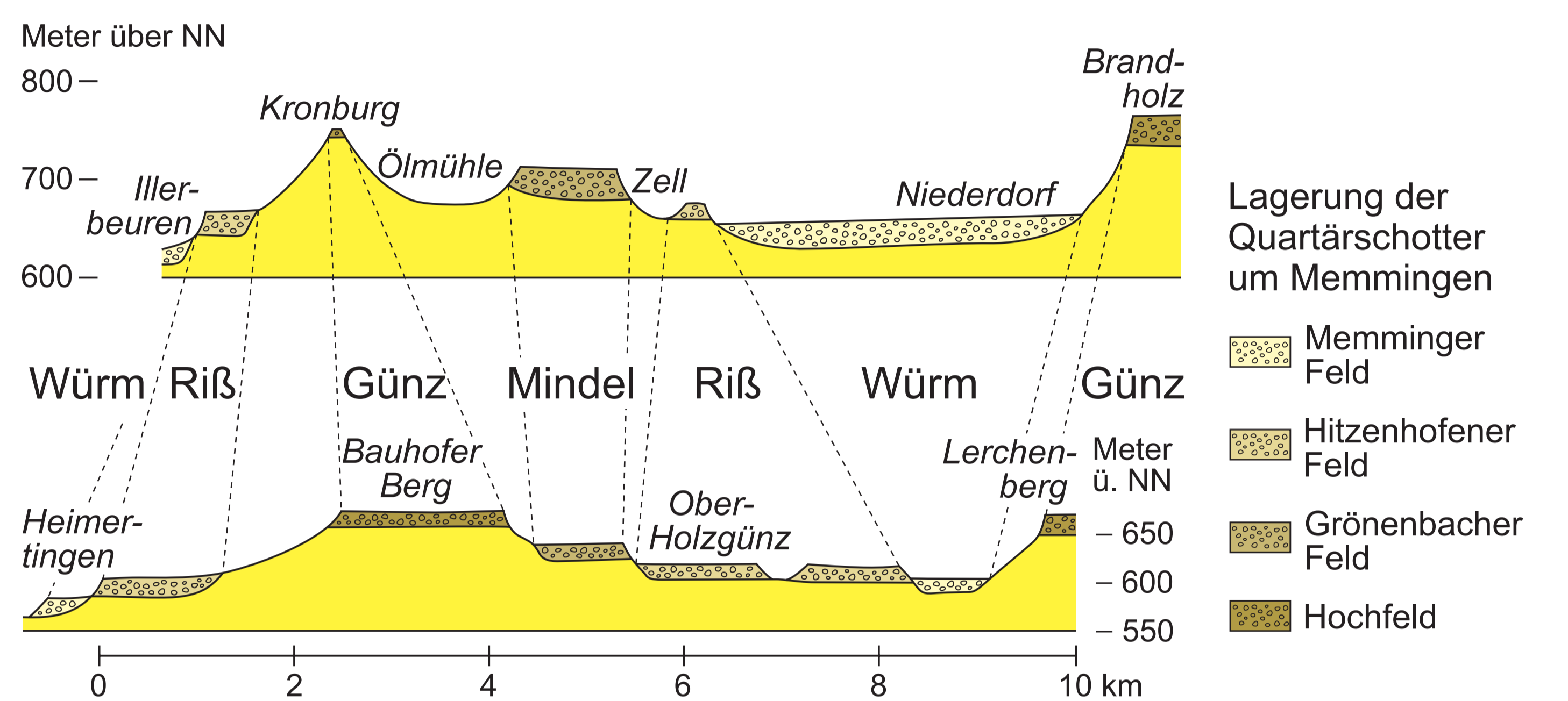
Stauden und Riedel



Das bayerische Alpenvorland südlich der Donau ist geprägt von Hügelländern, die von jungen Flusstälern durchzogen werden. Östlich des Lechs bestehen die Hügel aus tertiärzeitlichen Sedimenten, die meist nur von Löss überlagert sind – man spricht hier vom „Tertiärhügelland“. Auch westlich des Lechs bilden den Kern der Hügelländer die Tertiärsedimente. Diese werden aber fast überall von eiszeitlichen Schotterterrassen unterschiedlichen Alters überlagert. Die bedeutendsten Hügelländer sind Zusamplatte und Staudenplatte. Kleinere Bäche zergliedern die Hügelländer in langgestreckte, schmale, meist Nord-Süd verlaufende Höhenrücken, die so genannten Riedel. Östlich des Lechs bildet die Aindlinger Terrassentreppe den Anstieg zum Tertiärhügelland.

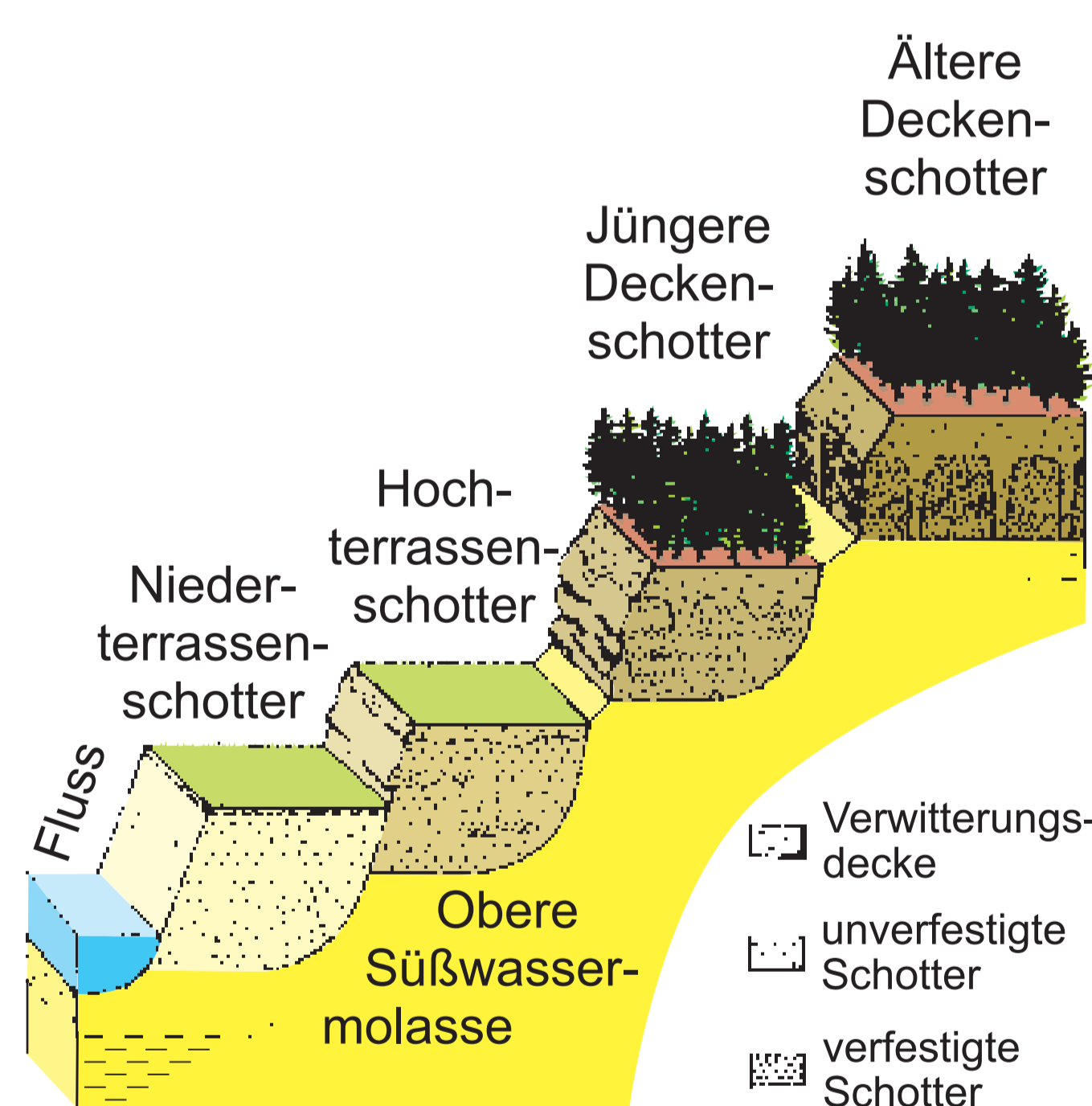
Das Gebiet zwischen Iller und Lech wurde durch Kräfte aus dem Erdinnern in den vergangenen drei Jahrmillionen laufend leicht angehoben. Gleichzeitig tieften sich die Täler ein. Unterbrochen wurde die abtragende Tätigkeit der Flüsse jeweils während der Eiszeiten, von denen es im selben Zeitraum mindestens sechs gab. Die Gletscher brachten dann riesige Schuttmassen aus den Alpen ins Vorland.

Schmelzwasserströme verfrachteten den Schutt weiter nordwärts. Sand und Kies lagerten sich hier in Form von weiten Schotterterrassen ab, während das feinere Material in Schwebelagung weiter Richtung Schwarzes Meer transportiert wurde. Dieses erdgeschichtliche Zusammenspiel von Hebung, Flusseintiefung und mehrfacher Ablagerung von Schotterterrassen prägt die heutige Landschaft.

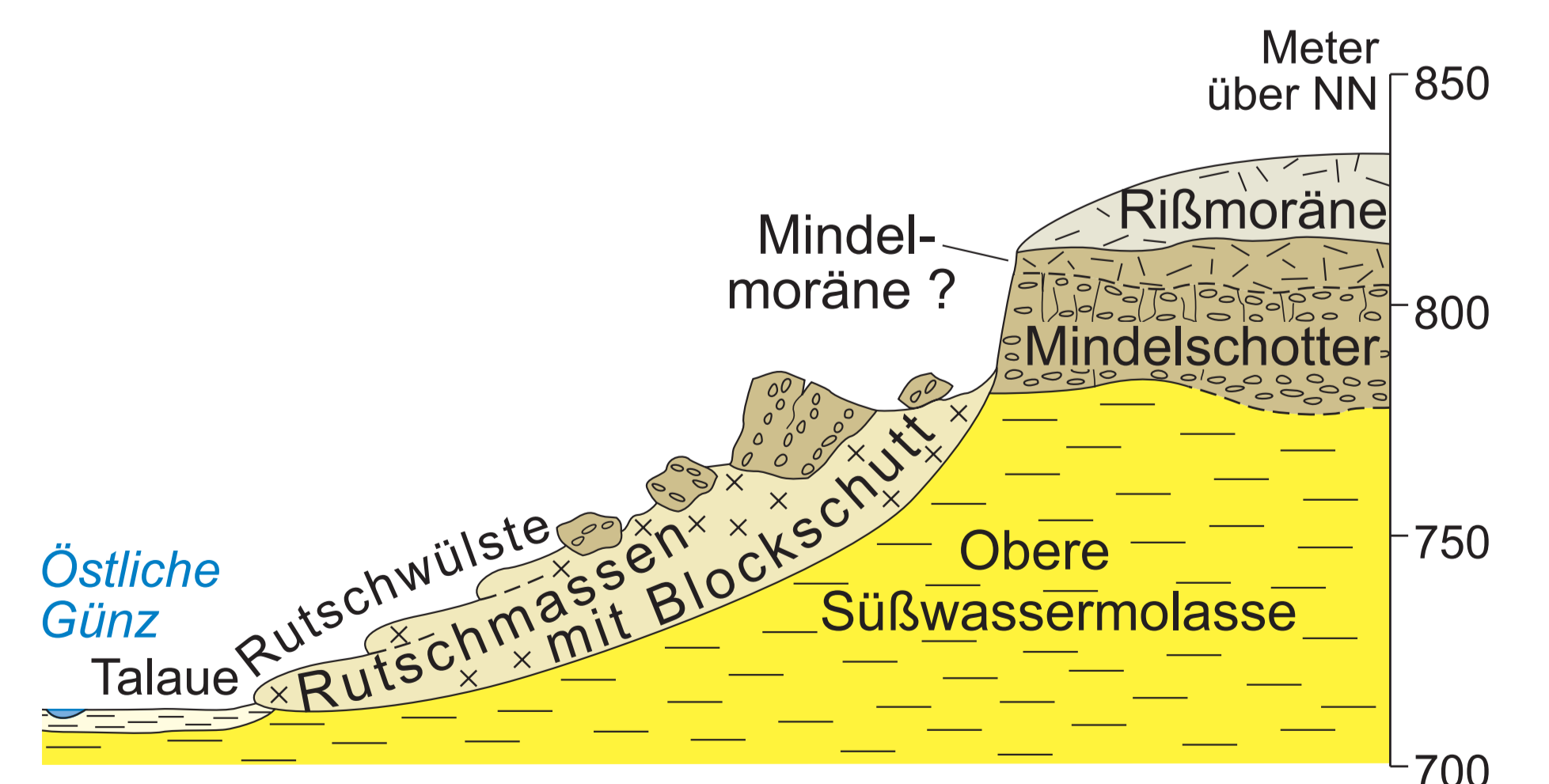


Bei Memmingen verfolgte im Jahr 1898 der Eiszeitforscher Albrecht Penck den Verlauf der Schotterterrassen entlang der Täler. Er fand vier Terrassen-Niveaus und ordnete diese den Schmelzwässern von vier Eiszeiten zu, die er nach Flüssen des Alpenvorlands benannte: Würm, Riß, Mindel und Günz. Aufgrund der andauernden Hebung des Gebietes liegen die ältesten Terrassen heute hoch am Hang, während sich jene der letzten Eiszeit (Würm) nahe der heutigen Talsohlen finden.

Heute weiß man aus Meeresablagerungen, dass es in der jüngeren Erdgeschichte mehr als nur vier Vereisungsphasen gegeben hat. Im Alpenvorland sind diese aber nur schwer zu unterscheiden, weshalb vielfach noch immer auf die Penck'sche Gliederung zurückgegriffen wird, die noch um die älteren (Donau- und Biber-) Eiszeiten erweitert wurde.



Neben der Höhenlage gibt es noch andere Hinweise auf das Alter einer Terrasse: Die jungen, würmzeitlichen Niederterrassenschotter liegen als lose Schotter vor, auf denen sich nur ein dünner Boden gebildet hat. Die deutlich älteren Hochterrassenschotter der Rißzeit sind durch Grundwasser oft zu Konglomeraten verfestigt. Sie tragen eine lehmige Verwitterungsdecke, die taschenförmig in den Untergrund eingreift. Die viel älteren Deckenschotter sind durchgehend zu kompakten Konglomeraten verfestigt und tragen mächtige lehmige Verwitterungsdecken, die oft in Form von tiefen, röhrenartigen Lösungshohlformen – so genannten geologischen Orgeln – in den Untergrund eingreifen.



Wo kompakte Schotterkonglomerate über weichen, wasserstauenden Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse liegen, kommt es entlang von Talhängen oftmals zu Rutschungen. Aus den anstehenden Konglomeraten brechen große Felsblöcke ab und gleiten talwärts. Ein eindrucksvolles Beispiel für diese Vorgänge gibt die „Teufelsküche“ bei Obergünzburg.



Täler und Höhen zwischen Iller und Lech

Westliche Wälder statt Felder



In der Teufelsküche bei Obergünzburg rutschten Schotter der Mindelzeit, die zu festen Konglomeraten verbacken sind, in riesigen Blöcken am Hang ab.



Die Schotterkonglomerate älterer Eiszeiten werden oft von eindrucksvollen Verwitterungsbildungen durchzogen, den so genannten Geologischen Orgeln. In den Warmzeiten zwischen den Eiszeiten wuchs auf den Schottern oft üppige Vegetation. Es entstanden mächtige Bodenhorizonte und die Schotter verwitterten an der Oberfläche. Dabei wurde der Kalk weggelöst und Lehm blieb zurück. An Schwächezonen im Gestein greifen die lehmigen Verwitterungsbildungen in Form von senkrechten Röhren oft viele Meter tief in die Schotterkonglomerate ein. Wenn die Verwitterungsbildungen am Hang (wie hier bei Bossarts) oder in Steinbrüchen seitlich angeschnitten werden, dann wäscht Regenwasser den Lehm aus den Röhren und offene, kaminartige Schlote bleiben zurück.

Die Hügelländer westlich von Augsburg sind – im Gegensatz zur östlich gelegenen Hallertau – von großen Waldgebieten geprägt. Die kalkreichen eiszeitlichen Schotterterrassen und Konglomerate mit ihren schweren lehmigen Verwitterungsböden eignen sich weniger für eine landwirtschaftliche Nutzung als die meist sandigen und von Löss bedeckten Gebiete des Tertiärhügellandes im Osten, die sogar verschiedene Spezialkulturen ermöglichen.

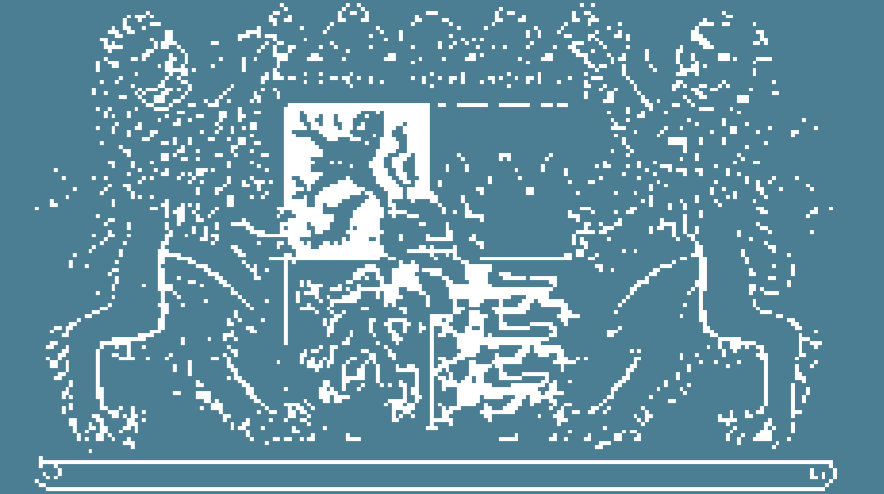
In wissenschaftlicher Hinsicht waren die Terrassentreppen zwischen Lech und Iller dagegen besonders ergiebig: Anhand der unterschiedlich alten Schotterterrassen wurde hier erstmals der mehrfache Wechsel von Kalt- und Warmzeiten im Eiszeitalter der jüngsten Erdgeschichte erkannt.



Die Schotterterrassen sind im Gelände oft durch markante Hangkanten gekennzeichnet: oben flach, unten steil.



Manche Gruben wie z. B. in Untereichen bieten einen Einblick in die Gesteine, die das Gebiet aufbauen: Im unteren Teil des Aufschlusses erkennt man feinkörnige graue Flusssedimente und Bodenbildungen. Darüber liegen bräunliche, schräg geschichtete Flusssande. Beides sind Sedimente der Oberen Süßwassermolasse aus der Tertiärzeit. Darüber liegen helle, kalkreiche Schotter des ältesten Eiszeitalters. Eine dicke Schicht von Verwitterungslehm bedeckt die Schotter und greift in Taschen tief in die Schotter ein.

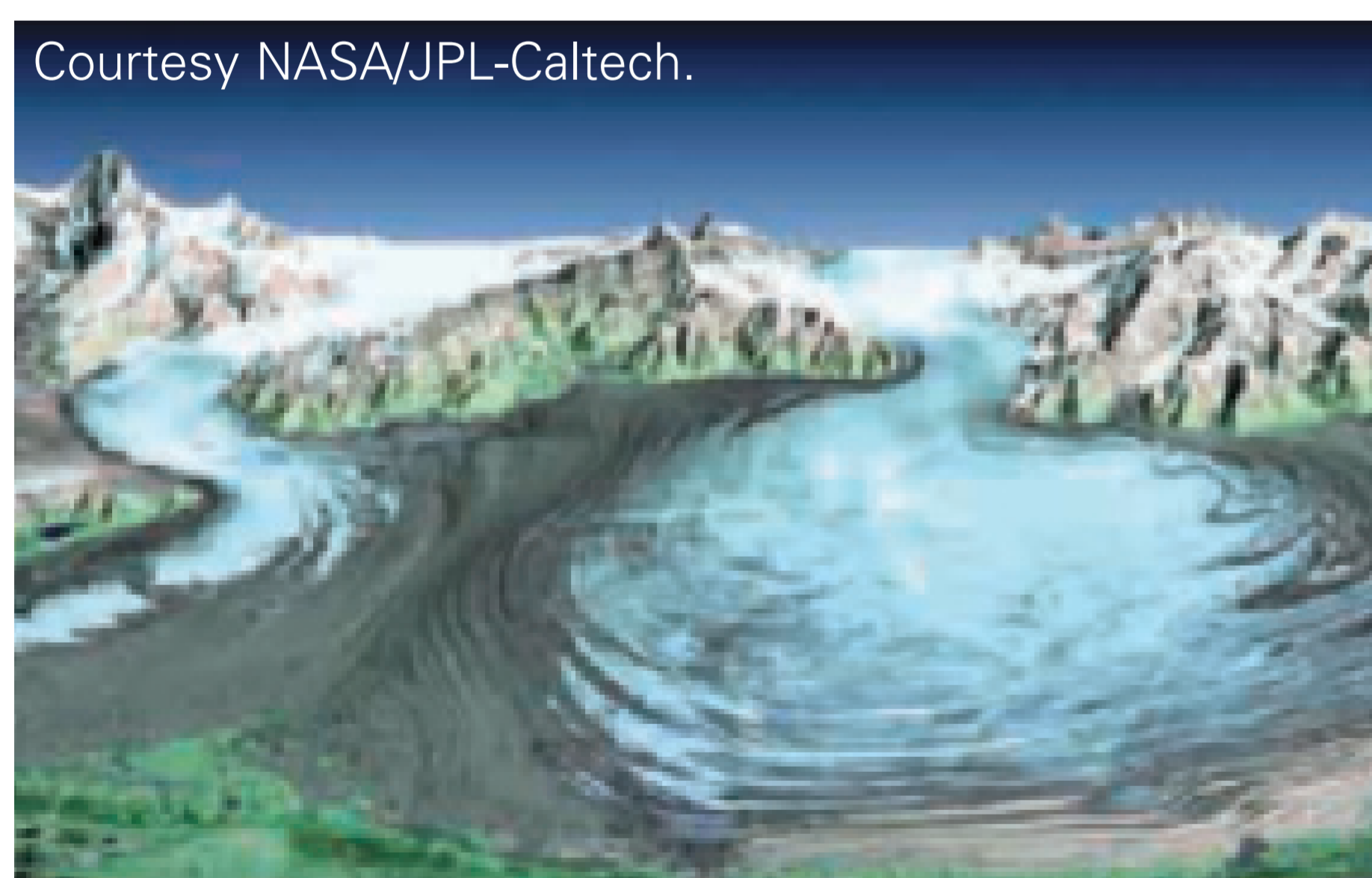


Moränengebiet im Alpenvorland

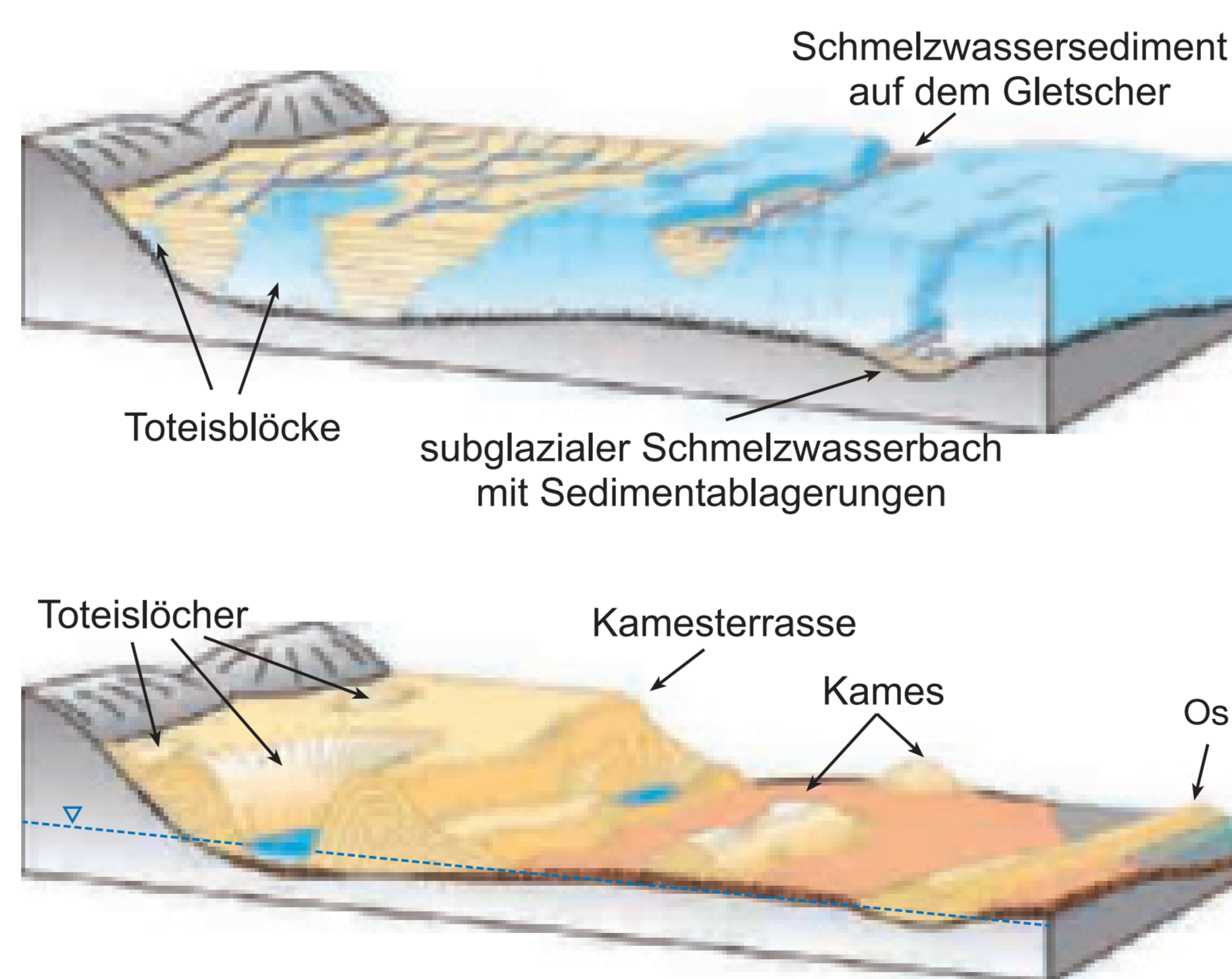
Eiswüste von München bis Verona



Zum Höhepunkt der letzten Eiszeit, vor etwa 20 000 Jahren, ragten nur die höheren Gipfel der Alpen aus dem Eis. Gletscher strömten vor allem durch die großen Täler (Rhein, Iller, Loisach, Isar, Inn und Salzach) aus den Zentralalpen ins Vorland. Zu dieser Zeit waren weite Teile Südbayerns von riesigen „Vorlandgletschern“ bedeckt.



Courtesy NASA/JPL-Caltech.
Der rezente Malaspina-Gletscher in Alaska gibt einen Eindruck vom Aussehen des nördlichen Alpenrandes während der großen Eisvorstöße.



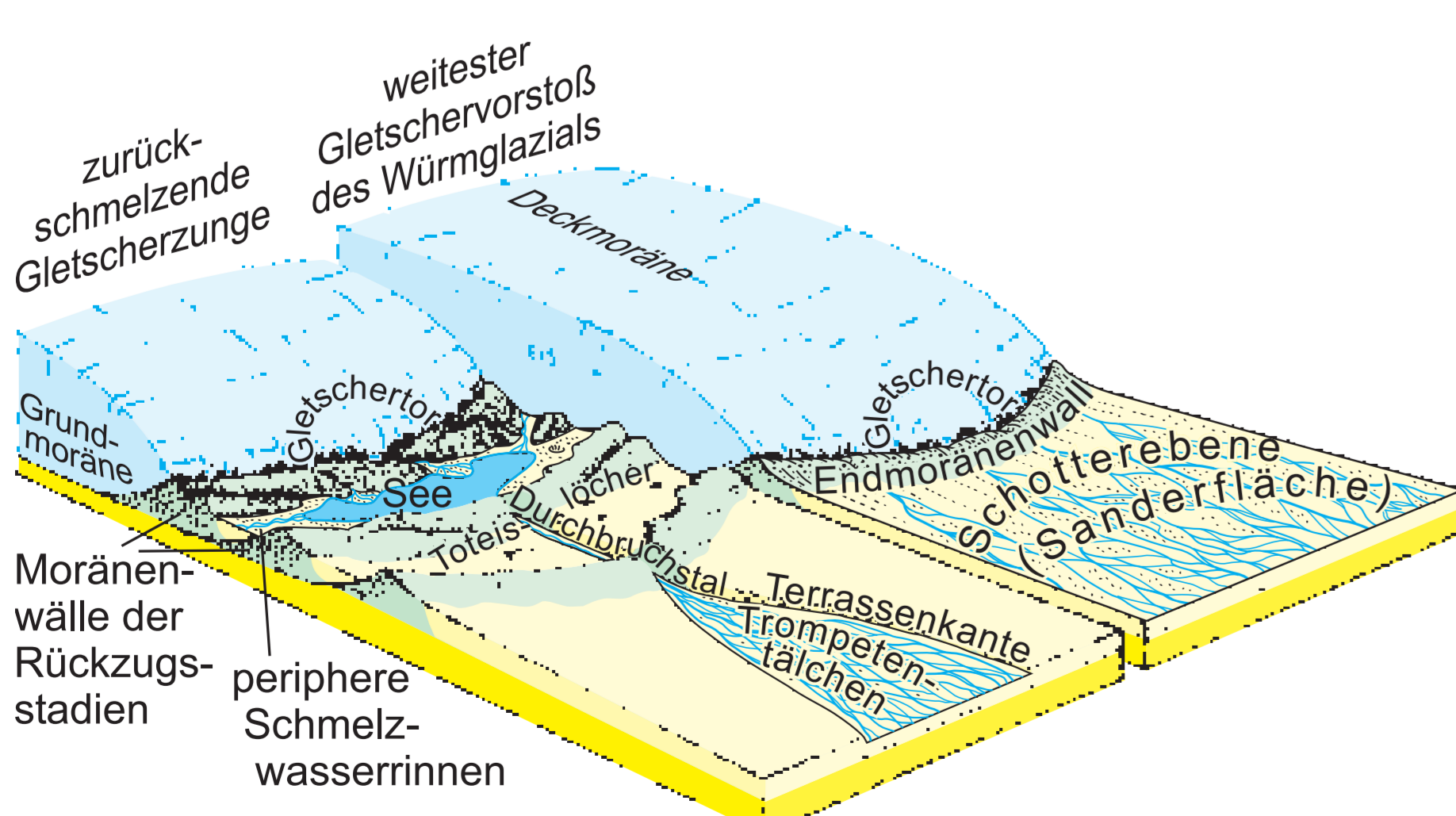
Während des Abschmelzes der Gletscher entstanden vielerorts charakteristische „Eiszerfallslandschaften“: Die gewaltigen Schmelzwasserströme lagerten bereits große Schotterterrassen ab, während noch von den Gletschern abgetrennte Eisreste vorhanden waren. Nachdem dieses „Toteis“ später abgeschmolzen war, blieben die typischen Kamesterassen und Toteislöcher zurück.

Im Quartär, während der vergangenen 2,5 Millionen Jahre, kam es zu ausgeprägten Klimaschwankungen mit einem mehrfachen Wechsel von Kaltzeiten (auch Eiszeiten oder Glaziale genannt)

und Warmzeiten (Interglaziale). Während der Kaltzeiten bildeten sich in den Alpen gewaltige Eisstromnetze, deren Eismassen über die Täler ins Vorland flossen und sich dort ausbreiteten. In ihren Entstehungsgebieten schürften die Gletscher tiefe Kare und weite U-förmige Täler aus und nahmen viel Gesteinsmaterial mit sich. Auch im Vorland schufen sie bereichsweise tiefe Becken, in denen heute oft noch Seen liegen.

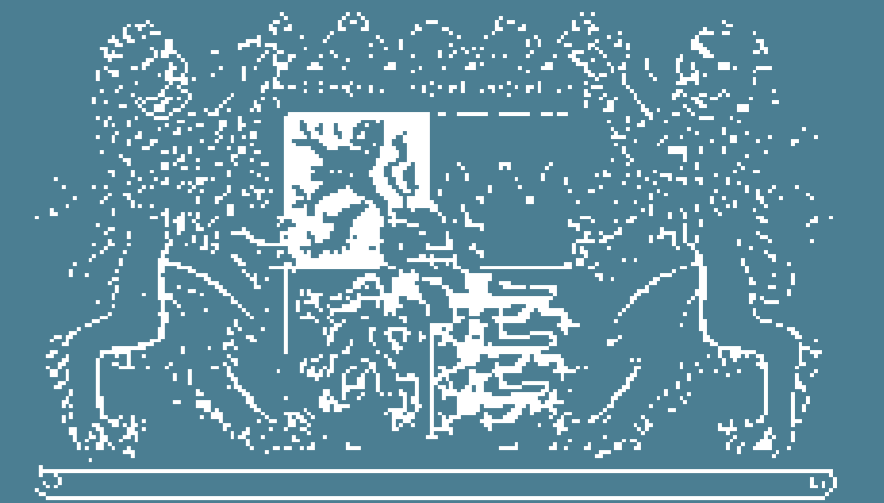
Die Gletscher hinterließen entlang der Alpentäler und vor allem im Vorland vielfältige Moränenablagerungen. Teilweise wurden diese von Schmelzwasserströmen oder Flüssen weitertransportiert und als Schotter wieder abgelagert.

Während der Warmzeiten war das Klima so warm wie heute oder wärmer. Aus diesen Zeiten sind vor allem Verwitterungsbildungen erhalten, aber auch so genannte Schieferkohlen: organisches Material aus ehemaligen Sumpfwäldern, das sich im Übergang von Torf zu Kohle befindet.



Vor allem auf der Oberfläche der Gletscher wurden riesige Mengen an Gesteinsmaterial wie auf einem Förderband ins Vorland transportiert und dort als Moränen abgelagert.

In so genannten Stillstandsphasen, in denen etwa so viel Eis nachströmte wie an der Gletscherfront abschmolz, bildeten sich große wallförmige Moränen.



Moränengebiet im Alpenvorland

Grüne Hügel unter weiß-blauem Himmel



Die „Tumuli“ am Hirschberg bei Weilheim sind markante kleine Hügelchen, die aus Ablagerungen in so genannten Gletschermühlen hervorgingen: Schmelzwasserbäche hatten hier ihren Weg von der Oberfläche des Gletschers in dessen Unterrund gefunden. Im Bereich dieser Bachschwinden wurde auch viel Moränenmaterial zusammengespült, das auch nach dem Abschmelzen des Gletschers die Lage der ehemaligen Gletschermühle kennzeichnet.

Das Alpenvorland mit seinen heute so idyllisch wirkenden Landschaften war noch vor 20 000 Jahren eine Eiswüste mit riesigen Gletschern und öden Schotterflächen. Nahezu alle Landschaftsteile sind hier durch die Gletscher oder deren Schmelzwässer entscheidend geprägt worden.

Seen, Moränen, Drumlins, Findlinge und Eiszerfallslandschaften zeugen von den – aus geologischer Sicht – „gerade erst“ abgetauten Gletschern. Tiefe Durchbruchstäler, Schotterterrassen und die weite Münchner Schotterebene sind Hinterlassenschaften der Schmelzwässer.

Die letzten etwa 11 500 Jahre zählt man zur geologischen Gegenwart, dem Holozän. Auch heute sind geologische Prozesse im Gange, wenn auch weniger dramatisch als zum Ende der letzten Eiszeit: Seen verlanden und es bilden sich

weite Moore. Auch Schotter wird weiterhin umgelagert. Aber vor allem greift der Mensch immer stärker auch in die Gestaltung der Landschaft ein.



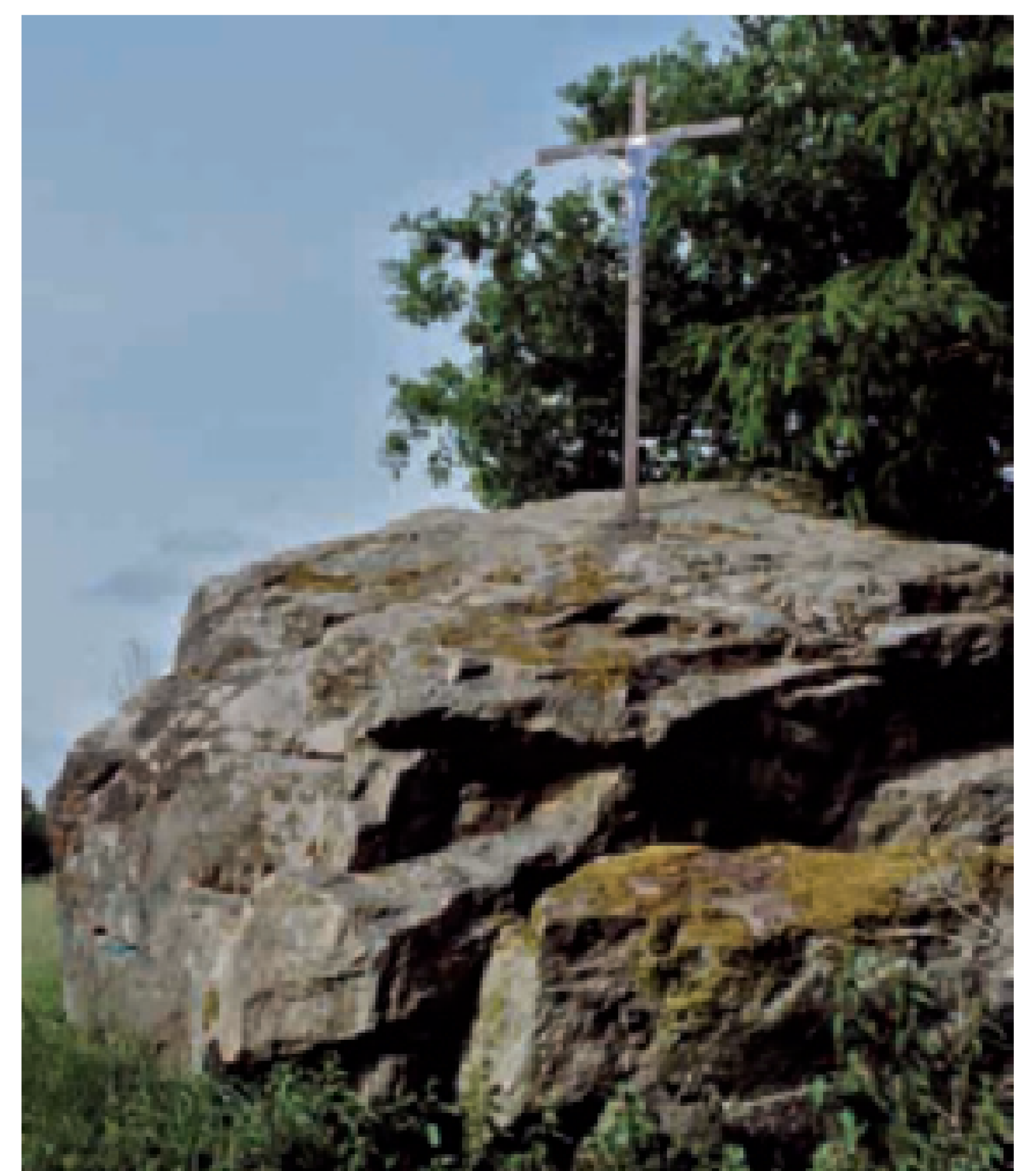
Toteislöcher wie die Wolfsgrube bei Grafrath zeugen vom Abschmelzen des Gletschereises – teilweise schon unter Schotterbedeckung.



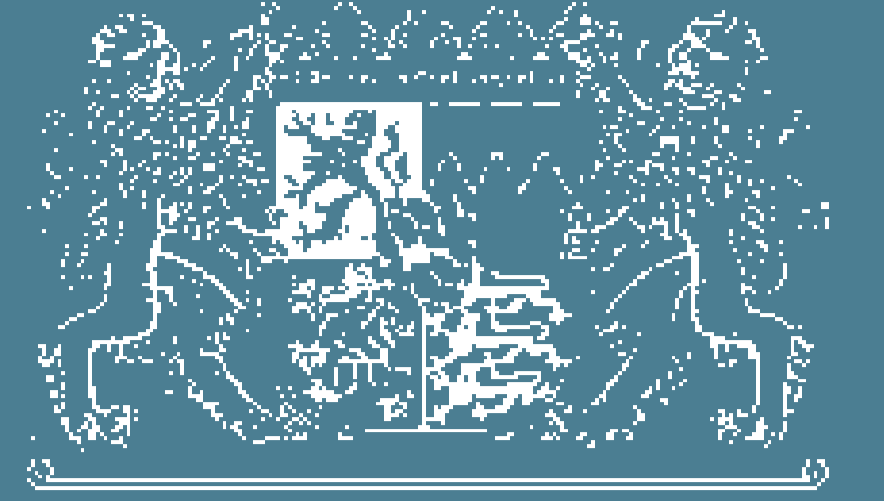
Markante Moränenwälle finden sich vor allem in der äußeren Umrandung der großen Gletscherbecken, z. B. um den Starnberger See und Ammersee. Aber auch näher an den Alpen zeugen Moränen von Stillstandsphasen wie der Burgberg von Burggen bei Schongau.



Wo Gletscher ältere Sedimente überfahren, ohne tiefe Becken auszuschürfen, entstanden die so genannten Drumlins: längliche, stromlinienförmige Hügel, die in ihrer Form an auftauchende Walfischrücken erinnern.



Findlingsblöcke wie der „Hohe Stein“ bei Starnberg haben in der Wissenschaftsgeschichte eine bedeutende Rolle gespielt. Lange Zeit war völlig unklar, auf welche Weise die eigenartigen Felsblöcke aus fremdartigen Gesteinen in ihre heutige Position gekommen waren. Des Rätsels Lösung waren die eiszeitlichen Gletscher, auf denen die Blöcke aus den Zentralalpen ins Vorland transportiert worden waren.



Allgäu

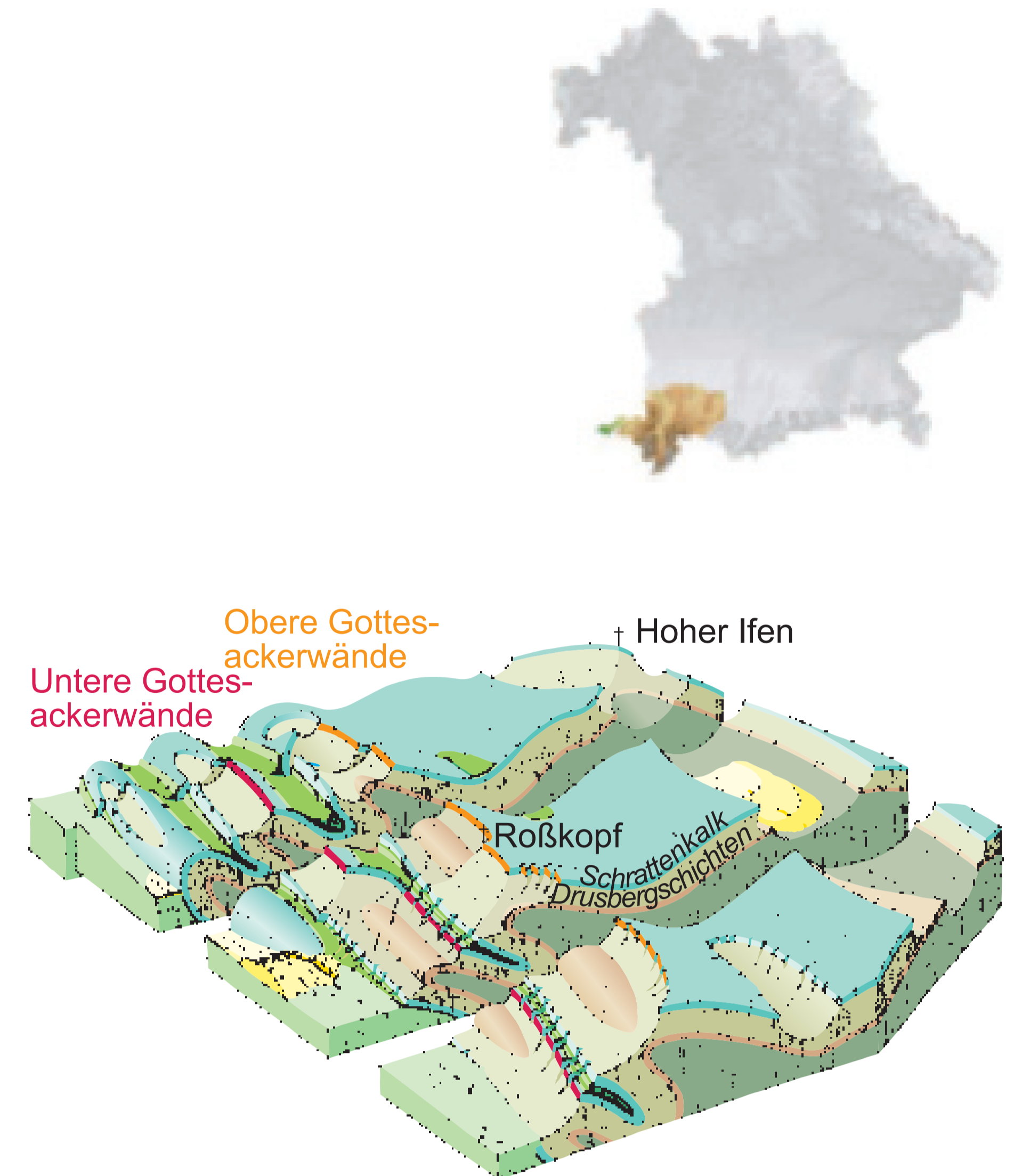
„Irgendwie anders“



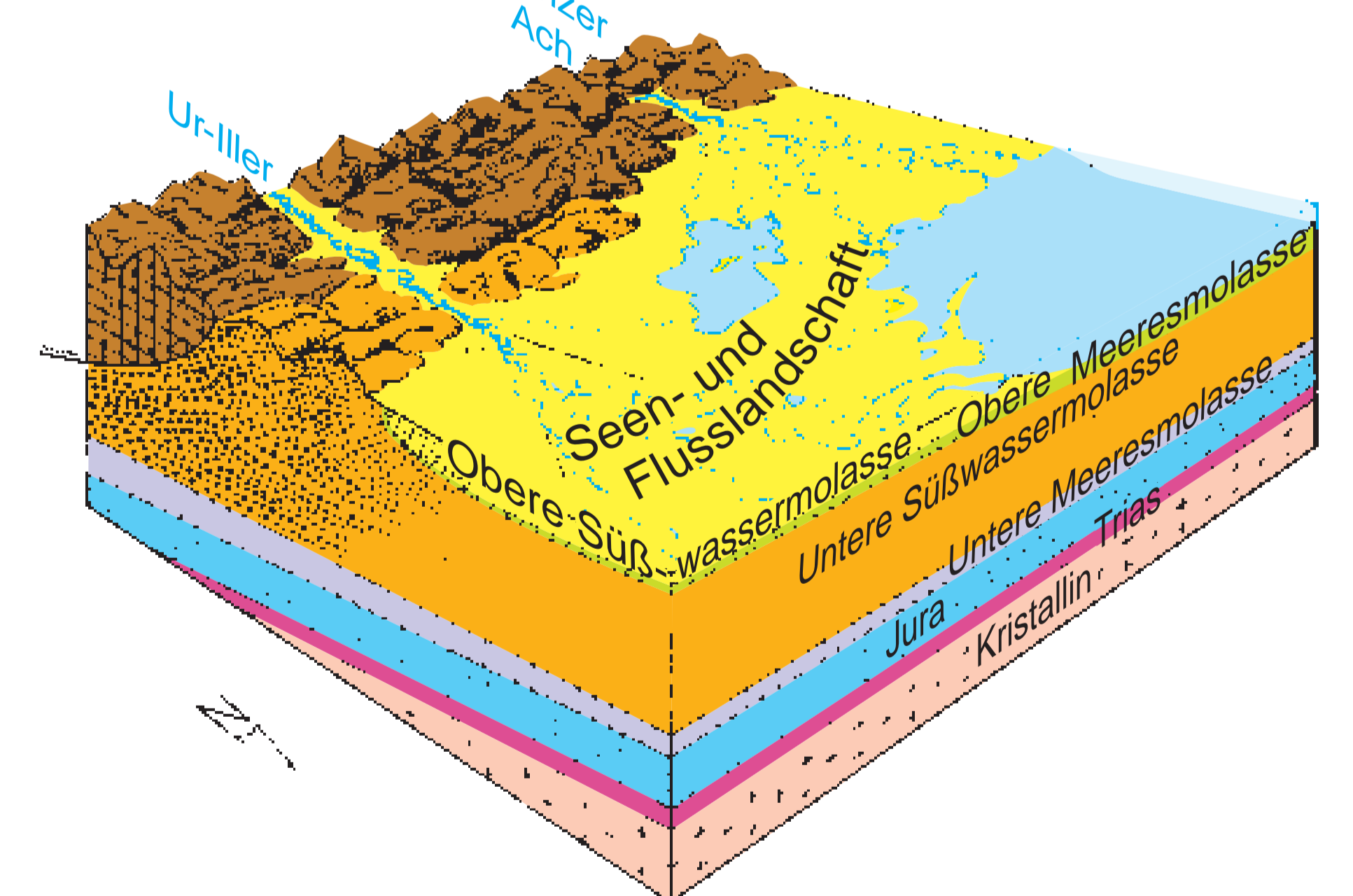
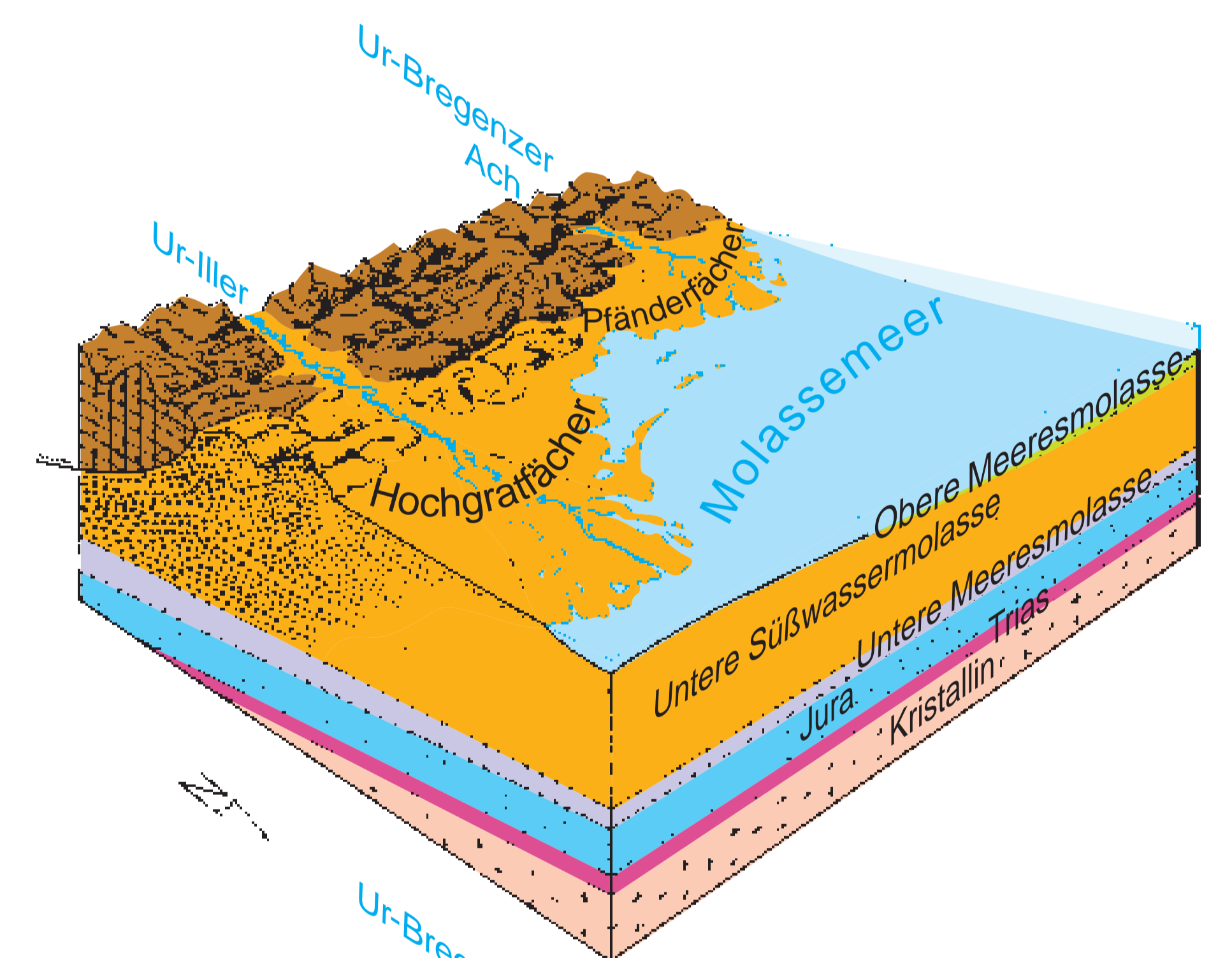
Die oberbayerischen Alpen werden überwiegend von der tektonischen Einheit der Nördlichen Kalkalpen geprägt. Flysch, Helvetikum und Faltenmolasse treten in den Hintergrund. Ganz anders im Allgäu: Zwar liegen die höchsten Gipfel wie Biberkopf, Mädelegabel und Hochvogel im Süden in den Kalkalpen. Viel größere Flächen nehmen aber die anderen tektonischen Einheiten ein: Am Hohen Ifen und den Gottesackerwänden prägt das Helvetikum die Landschaft, Flysch formt die „Hörner“ bei Obermaiselstein und sogar die sonst eher unauffällige Faltenmolasse schwingt sich in den Nagelfluhketten mit dem Hochgrat auf über 1800 m Höhe auf. Selbst die Vorlandmolasse erreicht in dem Hügelland westlich von Kempten noch über 1100 m Höhe.

In den Allgäuer Alpen dominieren – im Gegensatz zu den oberbayerischen Alpen – nicht die Kalkalpen. Tektonische Einheiten, die weiter westlich eher untergeordnet vorkommen, prägen im Allgäu viele Landschaften. Besonders auffällig ist, dass hier die Faltenmolasse mit den Nagelfluhketten markante Hügel- und Gebirgszüge formt. Auch das aus der Schweiz herüber ziehende Helvetikum

ist im Allgäu weit verbreitet, während es weiter östlich nur noch sporadisch zu Tage tritt. Innerhalb der Kalkalpen dominiert im Allgäu die Allgäu-Decke mit ihren überwiegend jurassischen Gesteinen (z. B. Allgäuschichten), die weiter westlich meist unter anderen tektonischen Decken verborgen sind. Man merkt es schon an den Namen: im Allgäu ist vieles irgendwie anders.

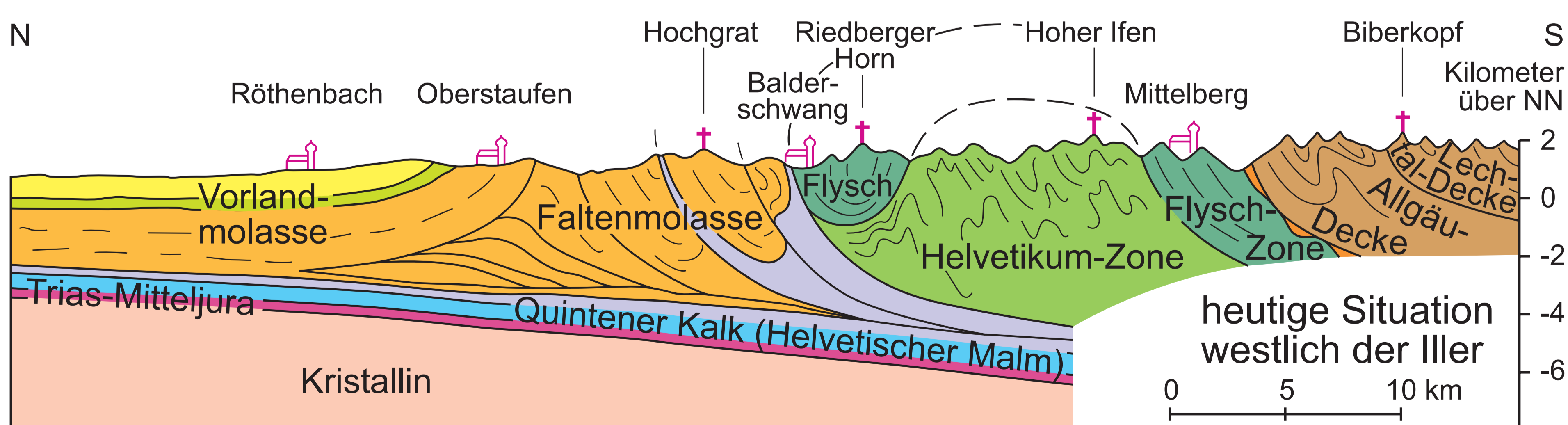


Spektakuläre Faltenzüge im Helvetikum prägen die Landschaft um den Hohen Ifen. Im Bereich der Sättel ist der harte Schratzenkalk oft abgetragen. So entstanden die markanten Gottesackerwände (verändert nach WAGNER 1950).



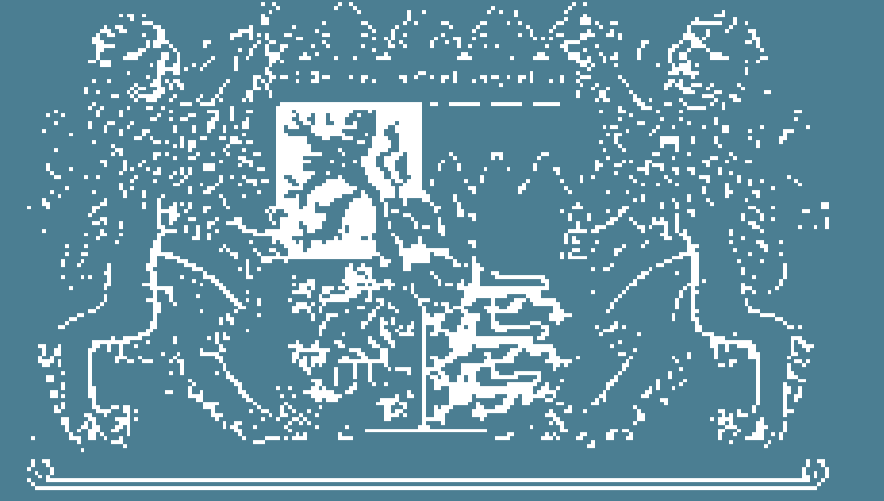
Schon vor über 30 Millionen Jahren – deutlich früher als im oberbayerischen Raum – begannen sich südlich des Allgäus die Alpen zu heben. Die Ur-Illeg war ein bedeutender Fluss, der den Abtragungsschutt des entstehenden Gebirges ins Vorland brachte. Es entstand ein riesiger, über 1000 Quadratkilometer großer Schwemmfächer, der vor etwa 18 Millionen Jahren in das letzte bayerische Meer (oben) und später ins festländische Vorland mündete (unten, Abb. nach SCHOLZ 1995).

Noch später bewegten sich die tektonischen Decken der Alpen weiter nach Norden. Dabei wurden die Ablagerungen im Südtail des Hochgratfächers zu den „Nagelfluhketten“ aufgefaltet. Auch das Adelegg-Gebiet westlich von Kempten zählt noch zum Hochgratfächer der Ur-Illeg, wurde aber nicht mehr in die Alpenfaltung mit einbezogen.



Obere Süßwassermolasse, Obere Meeresmolasse, Untere Süßwassermolasse, Untere Meeresmolasse, Arosa-Zone, Kalkalpen

Ein geologischer Schnitt durch das Oberallgäu zeigt, dass hier unterschiedlichste tektonische Einheiten aufeinander treffen.



Allgäu

Steine? Mehr als genug!



Die Schotterbänke des tertiärzeitlichen Schwemmfächers der Ur-Iller wurden zu einem harten Konglomerat („Nagelfluh“) verbacken. In den Nagelfluhketten östlich von Sonthofen sind die Schichten verfaltet und meist steil aufgerichtet. In der Landschaft treten die ehemaligen Schotterbänke als Felsen deutlich hervor, während sich auf den mergeligen Auenablagerungen dazwischen saftige Almwiesen finden.



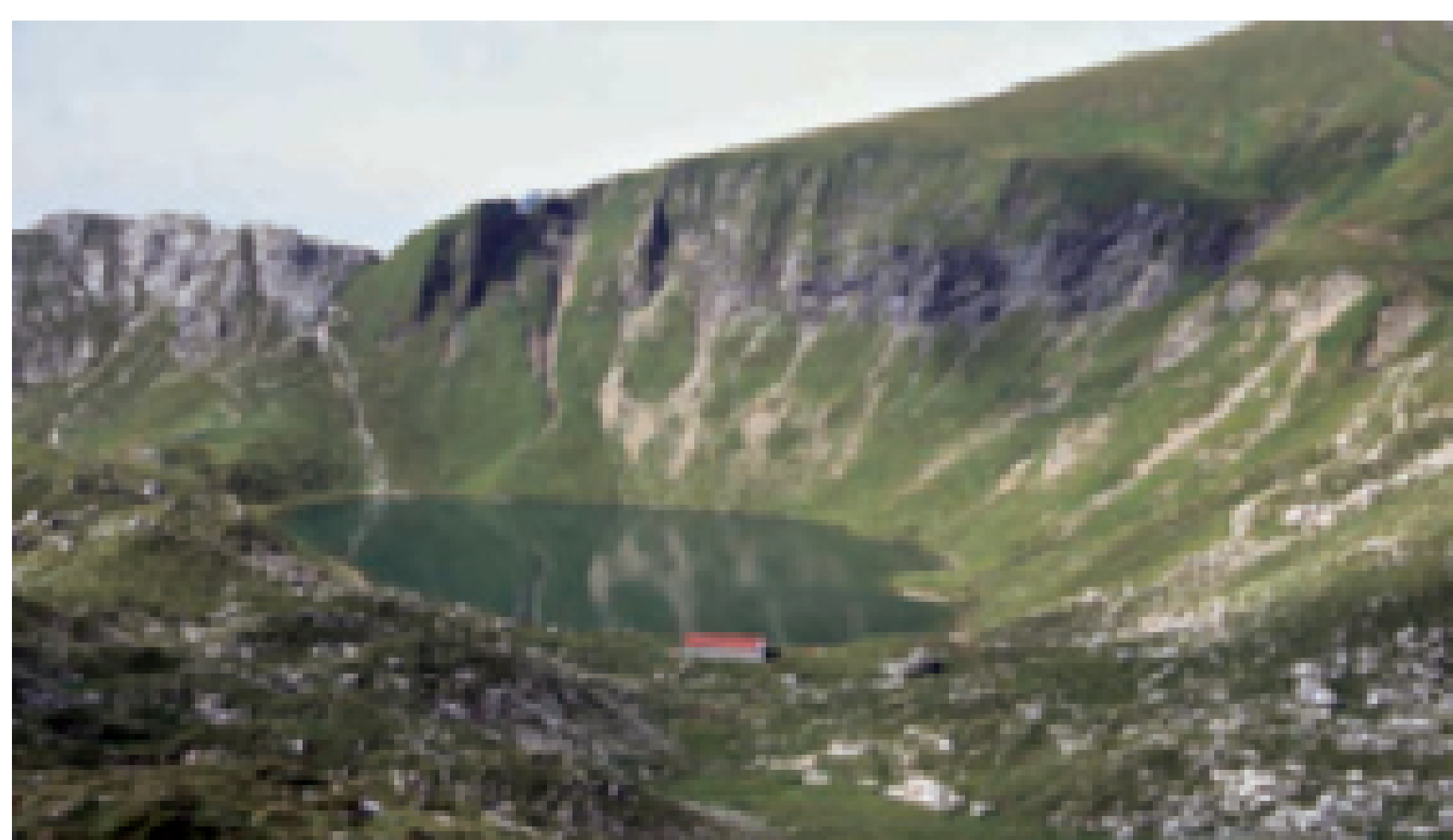
Die felsbildenden Gesteinsbänke der Nagelfluhketten bestehen aus groben Schottern, die durch kalkiges Bindemittel fest mit einander zu einem Konglomerat verbacken sind.

Im Allgäu findet sich eine besondere Vielfalt an Gesteinen, die zu unterschiedlichsten Zeiten in verschiedensten Ablagerungsräumen entstanden sind. Die tektonischen Bewegungen im Rahmen der Alpenbildung brachten die Gesteine in ihre heutige benachbarte Lage und ließen das Gebirge entstehen. Überprägt wurde das Gebiet durch die eiszeitlichen Gletscher, die aus dem Illertal bis nach Bad Grönenbach ins Vorland reichten.

Durch ihre jeweiligen Eigenschaften tragen die Gesteine zur landschaftlichen Vielfalt des Allgäus bei. In historischer Zeit boten manche Gesteine auch eine Grundlage für einen bescheidenen Bergbau wie z. B. am Grünten. Heute steht eher die landschaftliche Schönheit und Vielfalt im Zentrum des wirtschaftlichen Denkens, da sie die Grundlage des Tourismus bildet.



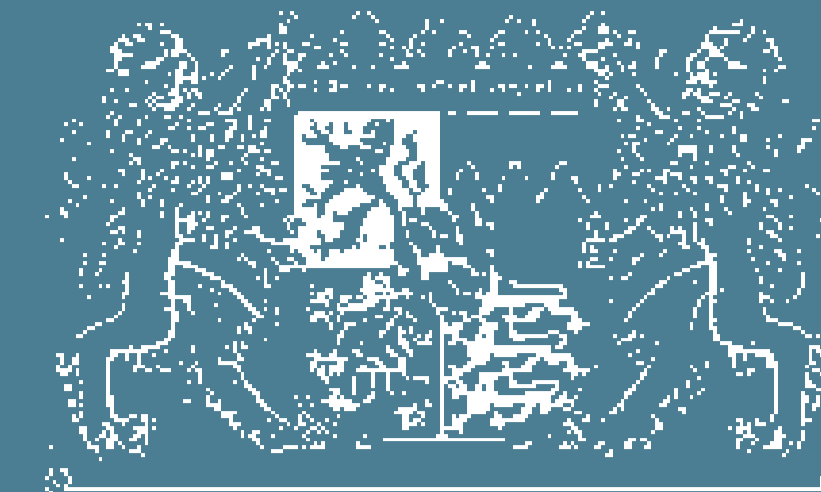
Das Gebiet des Hohen Ifen wird besonders vom „Schrattenkalk“ geprägt. Dieses standfeste Gestein formt die Gottesackerwände. Der Kalk ist aber wasserlöslich und verkarstet dadurch stark. Das Hochplateau ist daher sehr wasserarm und zeigt vielfältige Lösungsformen wie z. B. „Karren“ (auch „Schratten“ genannt).



Weite Teile der Allgäuer Kalkalpen werden von den kalkig-mergeligen Allgäuschichten geprägt wie z. B. das Kar um den Engeratsgrund-See. Auch die typischen Grasgipfel wie z. B. die Höfats verdanken diesem Gestein ihren Charakter.

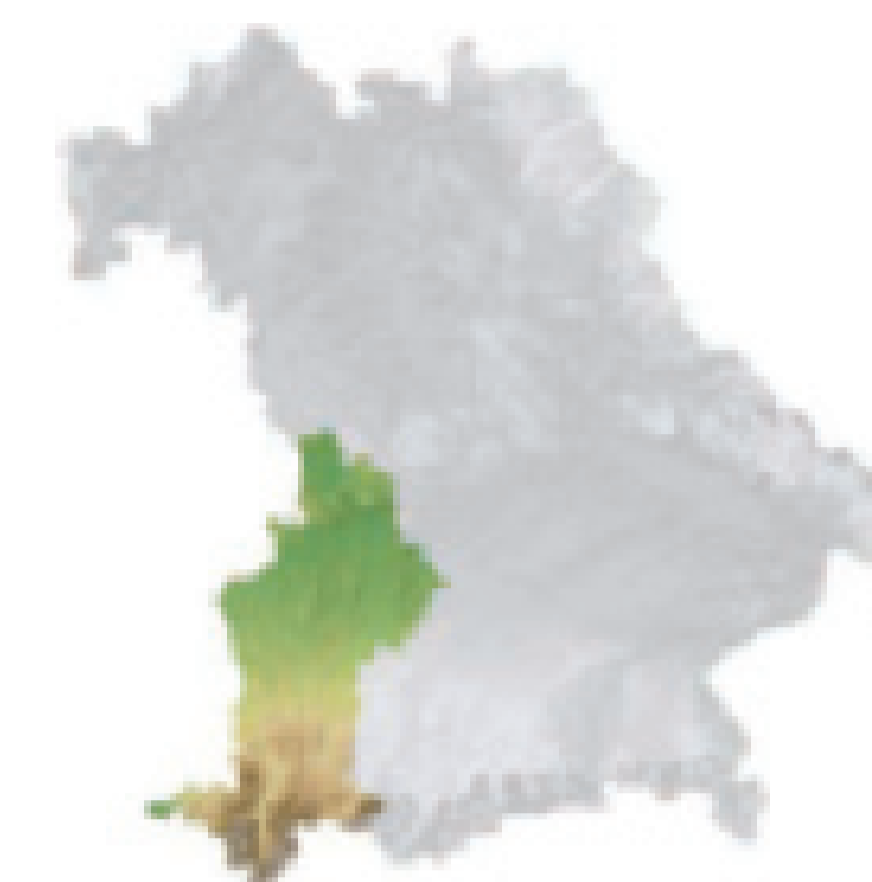


Harte Konglomeratbänke prägen auch im Bereich der Vorlandmolasse noch teilweise die Landschaft wie z. B. an den Scheidegger Wasserfällen.



Lust auf Lesestoff ?

Geotope in Schwaben



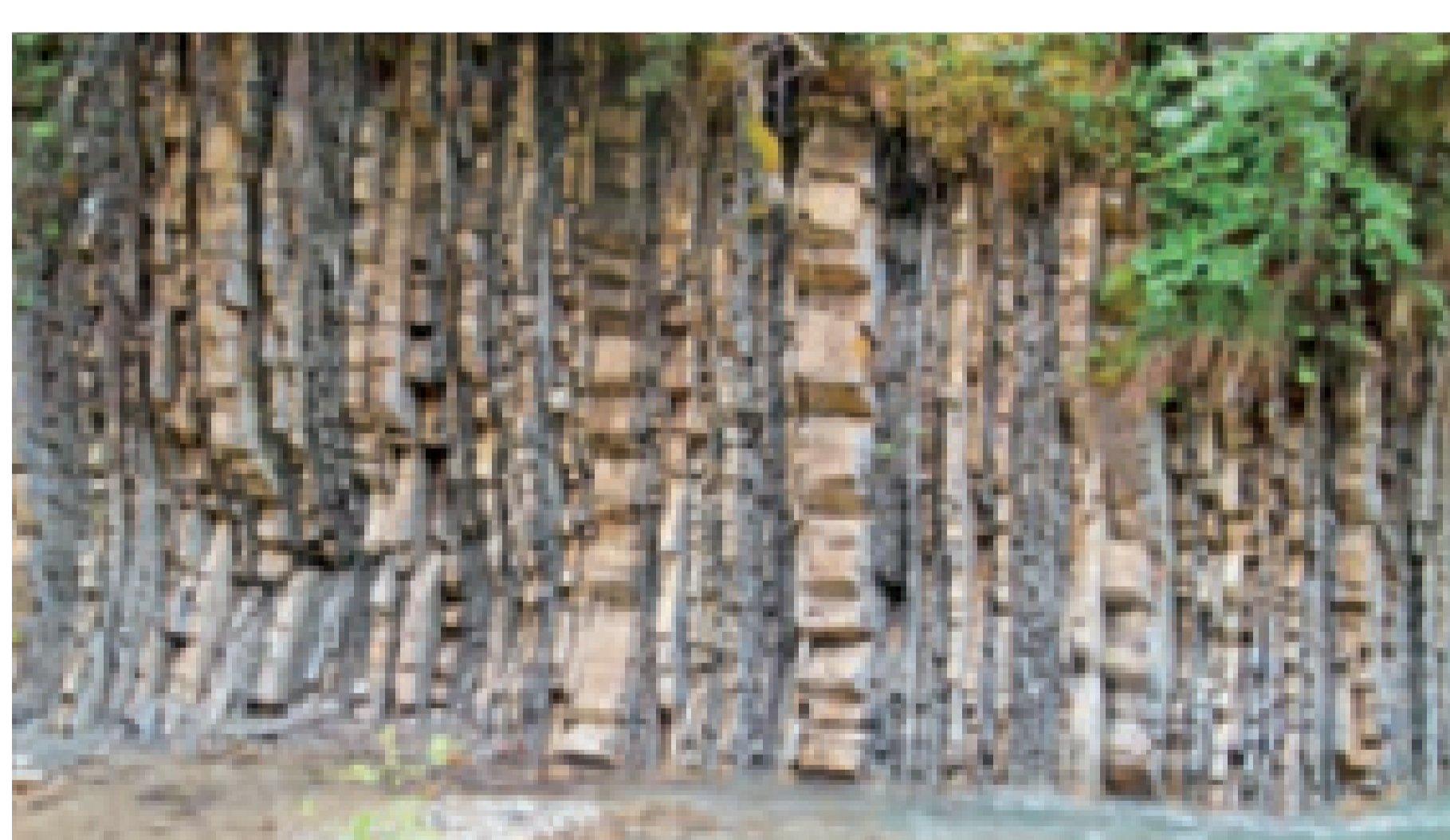
Im Eistobel wandert man durch eine spektakuläre Landschaft und hat gleichzeitig beste Aufschlüsse verschiedener Molasse-Schichten.

Haben Sie schon von der Rauhen Birk, vom Dengelstein oder der Teufelsküche gehört? Nein?? Aber Sie kennen sicherlich die Breitachklamm !

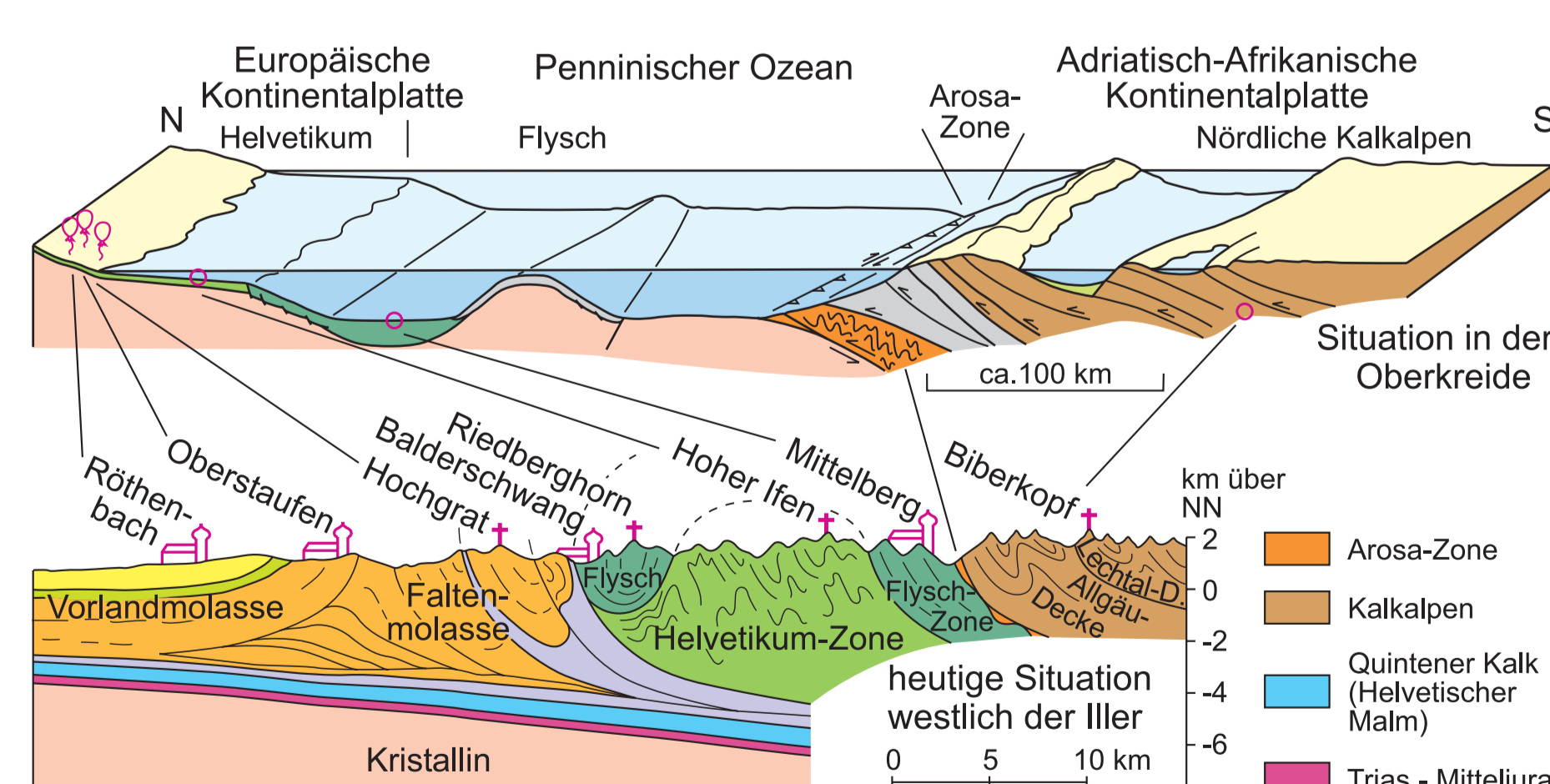
Diese Geotope und weitere schützenswerte Zeugen der erdgeschichtlichen Entwicklung Schwabens finden Sie im Heft **Geotope in Schwaben**. Von den Allgäuer Alpen und der Nagelfluhkette über die grünen Moränenhügel des Vorlands bis ins Donautal und ins Nördlinger Ries finden Sie hier viele interessante und überraschende Gesteinsaufschlüsse und Landschaftsformen.



Scheidegger Wasserfälle



Im Röthenbachtal bei Halblech gibt es steil gestellte und verfalltete Flysch-Gesteine.



Am Alpennordrand sind heute auf engem Raum Gesteine zusammengedrängt, die unter verschiedensten Bedingungen an weit voneinander liegenden Orten entstanden sind.

