

# Geologie und Paläontologie des Bergwerks Herznach

## Teil 2: Die Erdgeschichte des Eisenerzes

# Géologie et paléontologie de la mine de Herznach

## Deuxième partie: l'histoire géologique du minerai de fer

Peter Bitterli-Dreher

*Im Strahler 2/2020 wurden die untersten Schichten im Bergwerkprofil beschrieben und insbesondere der spektakuläre «Meeresboden» an der Basis der Abfolge vorgestellt. In diesem Artikel steht nun das geologische Profil des Eisenerzvorkommens im Zentrum. Dieses ist seit 2012 das Typusprofil des Herznach-Members der Ifenthal-Formation. Mit der Öffnung von Teilen des Bergwerks für Besucher ist das Typusprofil für jedermann zugänglich. In diesem Artikel wird das neu präparierte Profil vorgestellt und das geologische Geschehen bei der Entstehung der geologischen Abfolge erklärt.*

### 1. Einleitung

Das Eisenerzvorkommen ist im Bergwerk rund 330 cm mächtig. Die Ablagerung der Schichten erfolgte über einen Zeitraum von gut 5 Millionen Jahren (Gradstein et al., 2020). Die Abfolge zeigt wenig Anzeichen stagnierender Sedimentation, obwohl auf Grund der extrem reduzierten Ablagerung eigentlich eine Abfolge mit Hartgründen und limonitischen Krusten zu erwarten wäre, wie sie in der Umgebung von Herznach in den gleichaltrigen Schichten zahlreich beobachtet werden. Es scheint viel eher, dass das Sediment häufig wieder mobilisiert und durch Strömungen weggeführt wurde, so dass die heute vorliegende Abfolge lediglich kleine Ausschnitte des geologischen Geschehens in diesem langen Zeitfenster konserviert hat. Andererseits findet man eine fast vollständige Abfolge der Leitamoniten, demnach sind aus dem gesamten Zeitraum Sedimentreste erhalten geblieben.

Das Erzvorkommen wurde im Jahre 1934 mit dem Hauptstollen unter dem Hübstel erschlossen. Die ältesten Stollen sind somit bald 90 Jahre alt. Es gibt aber bis heute keine detaillierten geologisch-sedimentologischen Beschreibungen der Abfolge. Das geologische Profil von Jeannet (1951) beruht auf Aufnahmen eines Ingenieurs, der das Gestein vor allem aus bergbautechnischer Sicht beschrieben hat. Jeannet hat dieses Profil mit paläontologischem Inhalt gefüllt, aber seine Arbeit enthält keine sedimentologischen Beobachtungen. Es werden auch ausschliesslich Ammoniten beschrieben, die weitere Fauna der Eisenoolithe wird nicht bearbeitet. Einzig Moesch (1867) publizierte sehr umfangreiche Fossilisten, aus der Umgebung von Herznach (Kornberg, Hornussen etc.). Reinhart Gygi hat in den Jahren nach dem Verschluss des Bergwerks das Eisenerzprofil untersucht, seine Detailprofile wurden aber nicht veröffentlicht (Bühler, 1969).

*Les couches les plus basses du profil de la mine, et tout particulièrement le fond marin spectaculaire à la base de la succession, ont été décrites dans le Cristallier 2/2020. C'est le profil géologique du gisement de minerai de fer qui fait à présent l'objet de cet article. Depuis 2012, il constitue le profil-type du Membre de Herznach de la Formation d'Ifenthal. Ce profil est accessible à tout le monde depuis l'ouverture de secteurs de la mine aux visiteurs. Cet article présente le profil nouvellement préparé et explique les événements géologiques survenus lors de la formation de la succession géologique.*

### 1. Introduction

Dans la mine, le gisement de minerai de fer a une épaisseur de près de 330 cm. Le dépôt des couches s'est étalé sur une période de bien 5 millions d'années (Gradstein et al., 2020). La succession ne montre que peu d'indices de sédimentation stagnante, même si en raison de la quantité extrêmement faible de dépôts, on aurait pu en principe s'attendre à trouver une succession avec des fonds durcis et des croûtes limonitiques. Comme c'est fréquemment le cas dans les couches du même âge des environs de Herznach. Il est plus vraisemblable que les sédiments aient été mobilisés et transportés par des courants et que la succession que l'on peut observer aujourd'hui n'ait conservé que quelques extraits des événements géologiques au cours de ce long créneau temporel. D'un autre côté, on trouve une succession d'ammonites stratigraphiques presque complète, ce qui signifie que des restes sédimentaires de toute la période ont été conservés.

Le gisement de minerai a été mis en exploitation en 1934 avec la galerie principale sous le Hübstel. Les plus anciennes galeries ont donc bientôt 90 ans. Aucune description géologico-sédimentologique détaillée de la succession n'existait jusqu'ici. Le profil géologique de Jeannet (1951) s'appuie sur les relevés d'un ingénieur qui a surtout décrit la roche d'un point de vue minier. Jeannet a complété ce profil d'un contenu paléontologique mais son travail ne mentionne aucune observation sédimentologique. Seules des ammonites y ont été décrites, le reste de la faune des oolites ferrugineuses n'a pas été prise en considération. Seul Moesch (1867) a publié des listes de fossiles complètes des environs de Herznach (Kornberg, Hornussen, etc.). Reinhart Gygi a étudié le profil de minerai de fer durant les années qui ont suivi la fermeture de la mine. Ses profils détaillés n'ont toutefois pas été publiés (Bühler, 1969).

Bild 1: Teilansicht des neu angelegten Typusprofils des Herznach-Members im Bergwerk Herznach. Im unteren Abschnitt sind unteres Erzlager und Leitschicht sichtbar. Letztere sticht im Bergwerksprofil als härteste Schicht hervor. Über der Leitschicht die Knollenlage, ein Aufarbeitungshorizont mit runden Eisenerzknollen, dessen Sediment sich farblich von der liegenden Leitschicht unterscheidet. Die Knollenlage bildet die Basis des oberen Erzlagers. Bild E. Blum, Juni 2021.

Illustration 1: vue partielle du nouveau profil-type du Membre de Herznach dans la mine éponyme. Le gisement métallifère inférieur et la couche de référence sont visibles dans la partie inférieure. Dans le profil de la mine, cette couche a la particularité d'être la plus dure. Elle est suivie par un niveau de concrétions, un horizon brassé avec des tubercules de minerai de fer, dont le sédiment se distingue de la couche de référence sous-jacente par sa couleur. La couche à tubercules constitue la base du gisement métallifère supérieur. Illustration E. Blum, juin 2021.



Mit dieser Arbeit soll die Bedeutung des Profils für die Erdgeschichte in der Nordschweiz beleuchtet werden. Es wird ein Überblick über Arbeiten der letzten Jahre gegeben, die vorerst mit der Eröffnung eines Typusprofils im Bergwerkstollen (Bild 1) ein erstes Ziel erreicht haben. Zurzeit werden intensiv Proben für eine eingehendere Beschreibung der Sedimentabfolge gewonnen.

## 2. Wie sah die Welt im mittleren Jura aus?

Während der Jurazeit driftete der paläozoische Pangaea-Kontinent allmählich auseinander. Es bildete sich eine Meeresstrasse («Hispanic Corridor»), die vom europäischen Schelfmeer bis zum Panthalassa-Ozean (Pazific) im Osten reichte (Bild 2). Zur Zeit des Calloviens war die Spreizung der Erdkruste (sea-floor spreading) an dieser frühen atlantischen Plattengrenze besonders intensiv. Viel warme, leichte Kruste wurde gefördert, die mittelozeanischen Rücken hoben sich darum heraus, was einen kräftigen Meeresspiegelanstieg bewirkte. Mehrfache Polwechsel zurzeit des Calloviens zeugen von der Unruhe im Erdinnern (Haq, 2017). Die intensive Spreizung mit der Genese neuer ozeanischer Kruste («Meeresboden») führte zu stärkerer Subduktion an

Le présent travail a pour but de mettre en lumière l'importance du profil pour l'histoire géologique du nord de la Suisse. Il fournit un aperçu des travaux effectués ces dernières années et permet d'atteindre un premier objectif: l'ouverture d'un profil-type dans la galerie de la mine (illustration 1). Les échantillons qui sont actuellement collectés de manière active permettront la description minutieuse de la succession de sédiments.

## 2. A quoi ressemblait le monde au Jurassique moyen ?

Au cours du Jurassique, le continent paléozoïque Pangée dérivait et se fragmentait progressivement en formant un détroit, ledit «corridor hispanique», qui s'étendait de la mer épicontinentale européenne jusqu'à l'océan Panthalassa (Pacifique) à l'est (illustration 2). Au Callovien, l'expansion de la croûte terrestre (sea-floor spreading) était particulièrement considérable près de cette frontière précoce entre les plaques atlantiques. Des matériaux de croûte légers et chauds étaient transportés en grande quantité, les dorsales médio-océaniques se sont par conséquent élevées en provoquant une forte hausse du niveau de la mer. Plusieurs inversions du champ magnétique terrestre au Callovien témoignent de l'agitation au cœur

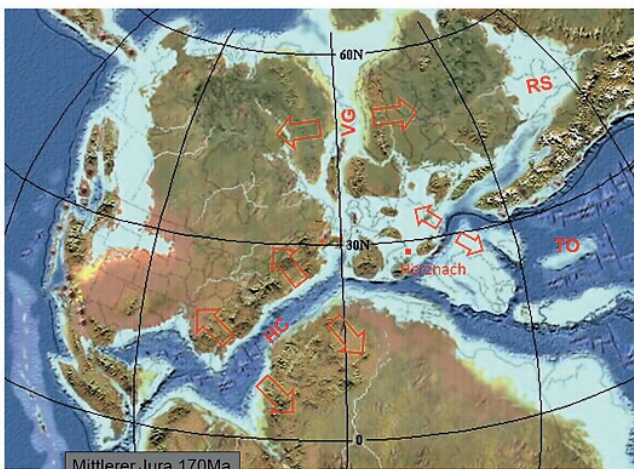


Bild 2: Paläogeographie vor etwa 170 Millionen Jahren: Der paläozoische Pangaea-Superkontinent brach zur mittleren Jurazeit allmählich auseinander. Die Pfeile zeigen die Richtung der Krustenbewegungen an. Das Gebiet von Herznach lag inmitten eines riesigen Schelfmeeres. Südlich davon erstreckte sich der tiefe Tethys-Ozean (TO) mit aktiven mittelozeanischen Rücken, längs denen neue basaltische Meereskruste entstand. Vom Tethys-Ozean erstreckte sich ein Meeresarm gegen Westen, die Hispanische Meeresstrasse (HC). Zurzeit des späten Doggers (Mittlerer Jura) entstand erstmals eine offene Verbindung der Ozeane. Mit dem Viking-Graben (VG) bildete sich eine Meeresstrasse zum Nordmeer (früher Nordatlantik). Weiter wurde die russische Tafel (RS) überflutet, es entstand die russische See. (Bild: Colorado Geosystems, verändert).

Illustration 2 : paléogéographie il y a près de 170 millions d'années. Le supercontinent paléozoïque Pangée se disloqua progressivement au Jurassique moyen. Les flèches indiquent la direction des mouvements de la croûte. La région de Herznach se trouvait au milieu d'une gigantesque mer épicontinentale. Au sud de là, le

profond océan Téthys (TO) s'étendait avec des dorsales océaniques actives, le long desquelles se forma une nouvelle croûte océanique basaltique. Un bras de mer s'étirait depuis l'océan Téthys en direction de l'ouest, le corridor hispanique (HC). Au cours du Dogger tardif (Jurassique moyen), les océans étaient reliés pour la première fois par un détroit ouvert. Avec le Graben Viking (VG) se forma un détroit en direction de la mer septentrionale (océan atlantique nord précoce). Plus loin, la plate-forme russe (RS) fut submergée, il en résulta la mer russe. (Illustration : Colorado Geosystems, modifiée).

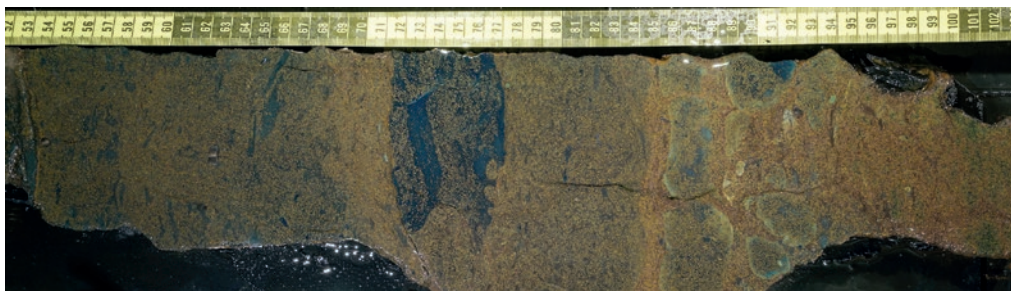


Bild 3: Profilplatte aus dem Typusprofil (Teil Wasserstollen). Die Platte ist zur Unterscheidung der Karbonat-Mineralien mit Kaliumferricyanid eingefärbt. Bis zur Markierung 68 cm Eisenoolith des unteren Erzlagers. Mit einer Erosionsfläche an der Basis folgt die harte Leitschicht. Das blau gefärbte Objekt

ist ein Ammonitensteinkern, der nach der Lithifizierung exhumiert und leicht limonitisch umkrustet wurde. Die mit Eisenoolith gefüllten Einsenkungen sind mit Eisenooïden gefüllte Septen der Ammonitenschale, keine Bohrlöcher. Die Oberfläche der Leitschicht bildet eine Erosionsfläche (84.5cm). Darüber ein markanter lithologischer Wechsel zu gelbbraunen Eisenoolithen mit eingelagerten Knollen, das ist die Knollenlage, die die Basis des oberen Erzlagers bildet. Bild und Präparation der Platte E. Blum.

Illustration 3: plaque du profil-type (partie galerie d'évacuation des eaux). La plaque est colorée avec du ferricyanure de potassium pour différencier les minéraux de carbonate. Jusqu'à la marque 68 cm, oolite ferrugineuse du gisement métallifère inférieur. Avec une surface d'érosion à la base succède la couche de référence dure. L'objet coloré en bleu est un moule interne d'ammonite qui a été exhumé après la lithification et légèrement recouvert d'une croûte limonitique. Les dépressions remplies d'oolite ferrugineuse sont des septes de la coquille de l'ammonite remplis d'ooïdes ferrugineux, il ne s'agit pas de traces d'organismes foreurs. La surface de la couche de référence forme une surface d'érosion (84.5 cm). Au-dessus, un changement lithologique bien visible vers des oolites ferrugineuses jaune-brun avec des tubercules intercalés. Il s'agit de la couche à tubercules qui constitue la base du gisement métallifère supérieur. Illustration et préparation de la plaque E. Blum.

den Rändern des auseinanderbrechenden Pangaea-Superkontinents. Dort entstanden kontinentweite Küstengebirge mit unzähligen Vulkanen. Die Laven dieser Vulkangürtel zeigen Alter von 164 bis 158 Millionen Jahren (Dromart et al. 2003a), was in Herznach etwa dem Alter des unteren Erzlagers bis ins Birnenstorf-Member entspricht. Der extreme Vulkanismus blieb nicht ohne Folge für die Umwelt, grosse Mengen an Gasen und vulkanischer Asche gelangten in die Atmosphäre, was im Laufe der Zeit eine massive Abkühlung bewirkte. Die Sedimentabfolge in Herznach entstand somit in einer Periode, in der weltweit intensive tektonische Veränderungen im Gange waren. Der Meeresspiegel änderte sich häufig, wobei die «Herznach See», unterbrochen von einer kräftigen Regression an der Wende Callovien-Oxfordien, allmählich tiefer wurde.

### 3. Die Eisenoolithe im Bergwerk: Das Typusprofil

Vorbemerkung: In der folgenden Beschreibung des Typusprofils werden die älteren Gesteinsbezeichnungen von Jeannet (1951) und Frei (1962) verwendet. Da dabei litho- und chrono-stratigraphische Bezeichnungen vermischt werden, wird eine Neubearbeitung mit der Definition neuer Schichtbezeichnungen nötig sein.

Im Strahler 2/2020 wurden die Unter-Erli-Bank und die darüber liegenden ältesten Eisenoolithe des Erzlagers beschrieben. Über der Unter-Erli-Bank enthalten die Sedimente zunehmend Eisenooïde. Der Gehalt an Eisen erreicht rasch Werte von über 20 %, man bezeichnet diese ersten eisenoolithischen Sedimente als **unteres Erzlager**. Es ist gut 100 cm mächtig, von graubrauner Farbe und zeichnet sich durch graue Mergelfetzen («Schlammklasten») aus (Bild 3). An den Bergwerkswänden stechen einige härtere Lagen als Bänke hervor, im geschnittenen Typusprofil sind diese lithologisch erkennbar, es handelt sich um stärker zementierte Lagen (Fe-Calcit-Zement).

Im Dach des unteren Erzlagers liegt eine markant härtere Bank, die von den Bergleuten als **Leitschicht** bezeichnet wurde, da sie in den Stollenwänden deutlich hervorsteht. Lithologisch ist das Gestein dem unteren Erzlager ähnlich (Bild 3), aber es ist härter. Ein *Kosmoceras* (Bild 6) weist auf ein Alter der *obductum*-Subzone (Basis *coronatum*-Zone). Die Oberfläche der Leitschicht ist eine Erosionsfläche, darüber liegt ein Horizont, der eigenartige Knollen enthält,

de la Terre (Haq, 2017). La forte expansion avec la genèse d'une nouvelle croûte océanique (fond marin) conduisit à une subduction plus prononcée aux bords du supercontinent Pangée en dislocation. Une chaîne côtière continentale s'y forma avec d'innombrables volcans. Les laves de cette ceinture volcanique sont âgées de 164 à 158 millions d'années (Dromart et al. 2003a), ce qui à Herznach correspond à peu près à l'âge s'étendant du gisement métallifère inférieur au Membre de Birnenstorf. Le volcanisme extrême n'est pas resté sans conséquence pour l'environnement. Les grandes quantités de gaz et de cendres volcaniques projetées dans l'atmosphère menèrent à un refroidissement massif au cours du temps. La succession sédimentaire de Herznach se forma par conséquent à une période durant laquelle des changements tectoniques extrêmes avaient lieu à l'échelle mondiale. Le niveau de la mer changeait fréquemment, cependant, la «mer de Herznach» devenait, avec une interruption due à une forte régression marine au tournant Callovien-Oxfordien, toujours plus profonde.

### 3. Les oolites ferrugineuses dans la mine: le profil-type

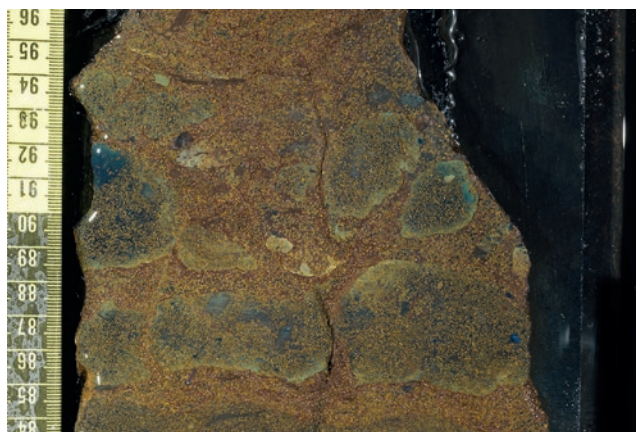
Remarque préalable: les désignations plus anciennes des roches de Jeannet (1951) et Frei (1962) sont utilisées dans la description suivante du profil-type. Etant donné que les désignations lithostratigraphiques et chronostratigraphiques sont mélangées, une refonte avec la définition des nouveaux noms des couches sera nécessaire.

Le Banc d'Unter Erli et les plus anciennes oolites ferrugineuses sus-jacentes du gisement métallifère ont été décrits dans le Cristallier 2/2020. La teneur en ooïdes ferrugineux dans les sédiments augmente au-dessus du Banc d'Unter Erli. La teneur en fer atteint vite des valeurs supérieures à 20 %, on désigne ces premiers sédiments à oolites ferrugineuses par le terme de **gisement métallifère inférieur**. De couleur gris-brun, il a une épaisseur de bien 100 cm et se caractérise par des lambeaux de marne ou «clastes de boue» (illustration 3). Quelques couches plus dures contrastent en tant que bancs sur les parois de la mine. On les reconnaît sur le plan lithologique dans la coupe du profil-type, il s'agit de couches plus fortement cimentées (ciment de ferrocalcite).

Dans le toit du gisement métallifère inférieur se trouve un banc plus dur caractéristique et bien visible que les

Bild 4: Detailbild der Knollenlage (gefärbt, siehe Fig. 3). Unten ist knapp die Dachfläche der Leitschicht zu sehen. Der Blauton des Gesteins zeigt, dass Fe-Calcit für die Härte verantwortlich ist. Über einer Erosionsfläche folgt das gelbbraune Sediment der Knollenlage. Die gerundeten Knollen enthalten ebenfalls Fe-Calcit und vor allem stark Fe-calcitische Rinden (ev. auch Ankerit). Die Knollen liegen hier nicht auf der Erosionsfläche auf, sie sind von Sediment des oberen Erzlagers umhüllt. Die definitive Interpretation des Horizontes ist derzeit noch offen. Profil Wasserstollen, Bergwerk Herznach.

Illustration 4: détail de la couche à tubercules (colorée, voir illustration 3). En bas, la surface du toit de la couche de référence est à peine visible. La teinte bleue de la roche indique que de la ferrocalcite est à l'origine de la dureté. Le sédiment jaune-brun de la couche à tubercules est au-dessus de la surface d'érosion. Les tubercules arrondis contiennent également de la ferrocalcite et surtout des croûtes fortement ferrocalcitiques (éventuellement aussi de l'ankerite). Ici, les tubercules ne se trouvent pas sur la surface d'érosion, ils sont enveloppés de sédiments du gisement métallifère supérieur. L'interprétation définitive de l'horizon est encore en suspens. Profil de la galerie d'amenée d'eau, mine de Herznach.



die offenbar in noch wenig verfestigtem Zustand aus der liegenden Leitschicht aufgearbeitet wurden (Bilder 3 und 4). Wir bezeichnen diesen Horizont als **Knollenlage**. Die Oberfläche der einzelnen Knollen zeigt eine Kruste aus Fe-Calcit oder Ankerit, aber kaum Anzeichen von Erosion. Es könnte sich um exhumierte, frühdiagenetische Konkretionen handeln. In Leitschicht und Knollenhorizont findet sich der Ammonit *Reineckeia anceps anceps* (Bild 5). Das Alter der Schicht liegt damit nach der aktuellen Zeitskala (Gradstein et al. 2020) bei etwa 164.5 Millionen Jahren. Der Horizont entstand somit zu Beginn der Phase mit intensiver Plattentektonik, die einen ansteigenden Meeresspiegel bewirkte. Die Schicht wurde von Jeannet als «Ancepsschichten» bezeichnet. In Leitschicht und Knollenlage finden sich zahlreiche Ammoniten der Gattungen *Erymnoceras* und *Erymnocerites* (Bilder 7 und 8). *Erymnoceras coronatum* ist heute in nördlichen (borealen) Gebieten die Zonen-Leitform (Gradstein et al. 2020). Im südlichen Tethys-Gebiet ist dies weiterhin *Reineckeia anceps*. Die Herznach-See lag im Übergangsbereich, wo sich beide Ammoniten-Faunen vermischten. Einige Schalen liegen im obersten Teil der Leitschicht und ragen in die überlagernde Knollenlage hinein (Jeannet, 1951, p. 109). Es scheint, dass die Schalen im noch weichen Sediment von intensiven Strömungen, z.B. durch interne Wellen, teilweise frei gelegt wurden. Deshalb sind die oberen Schalenhälften oft schlecht erhalten, während die Unterseiten perfekt ausgebildet sind.

Die Knollen liegen in einem Eisenoolith der sich farblich von der liegenden Leitschicht unterscheidet (Bild 4). Ein gelbbrauner bis rotbrauner Farbton herrscht nun vor, auch die Fossilien zeigen oft eine gelbbraune Färbung. Die Knollenlage bildet die Basis des **oberen Erzlagers**. Der Eisengehalt des Erzlagers ist mit rund 33 % der höchste im Bergwerksprofil. Es handelt sich um Eisenoolith, der häufig Fossilien enthält, die aber oft nur schwer aus dem Gestein zu lösen sind. Unter den Ammoniten fällt die Gattung *Collotia* auf, die ab der Mitte des Erzlagers häufiger wird (Bild 10). Es sind späte Vertreter der Subfamilie Reineckeinae. Die Mächtigkeit des oberen Erzlagers über dem Knollenhorizont liegt bei 60–70cm.

Auf dem oberen Erzlager liegt eine festere Gesteinsbank, die ebenfalls stark eisenoolithisch ausgebildet ist, die aber vom Bergbau verschont wurde, weil sie ein gutes Stollendach bildete. Die Bergleute sprachen von der **Schutzschicht**, die Geologen von der **Athleta-Schicht**, da der Ammonit *Peltoceras athleta* für diese Schicht leitend ist (Bild 9). Die

mineurs appelaient justement **couche de référence**. Du point de vue lithologique, la roche est semblable à celle du gisement métallifère inférieur (illustration 3) mais plus dure. Une *Kosmoceras* (illustration 6) indique un âge correspondant à la Sous-zone à *obductum* (base de la Zone à *coronatum*). La surface de la couche de référence est érodée, recouverte d'un horizon contenant des tubercules bizarres qui ont été manifestement remaniés avant leur solidification hors de la couche de référence sous-jacente (illustrations 3 et 4). Nous appelons cet horizon **couche à tubercules**. La surface des tubercules isolés présente une croûte de ferrocalcite ou d'ankerite, en revanche, il n'y a pratiquement aucun indice d'érosion. Il pourrait s'agir de concrétions exhumées, au début de leur diagenèse. Dans la couche de référence et dans l'horizon de tubercules se trouve l'ammonite *Reineckeia anceps anceps* (illustration 5). L'âge de la couche se situe par conséquent à près de 164,5 millions d'années selon l'échelle chronologique actuelle (Gradstein et al. 2020). L'horizon se forma ainsi au début d'une phase caractérisée par une forte tectonique des plaques qui a provoqué une hausse du niveau de la mer. La couche a été nommée «Ancepsschichten» par Jeannet. De nombreuses ammonites des genres *Erymnoceras* et *Erymnocerites* (illustrations 7 et 8) proviennent des couches de référence et à tubercules. Si *Erymnoceras coronatum* représente aujourd'hui la forme stratigraphique de biozone (Gradstein et al. 2020) dans les régions septentrionales (boréales), dans la région de la Téthys méridionale, il s'agit toujours de *Reineckeia anceps*. La «mer de Herznach», dans laquelle les deux faunes d'ammonites se sont mélangées, se situait dans la région de transition. Quelques coquilles se trouvent dans la partie supérieure de la couche de référence, elles peuvent s'étendre jusque dans la couche à tubercules sus-jacente (Jeannet, 1951, p. 109). Il semble que les coquilles aient été dégagées du sédiment encore meuble par de forts courants, par des vagues internes par exemple. C'est pourquoi les moitiés supérieures sont souvent mal conservées, alors que les côtés inférieurs sont parfaitement formés.

Les tubercules se trouvent dans une oolite ferrugineuse dont la couleur diffère de la couche de référence située en dessous (illustration 4). La nuance de couleur jaune-brun à rouge-brun prédomine à présent, même les fossiles présentent souvent une coloration jaune-brun. La couche à tubercules constitue la base du **gisement métallifère supérieur**. La teneur en fer de ce gisement est avec 33 % la plus élevée



Bild 5: Das Leitfossil *Reineckeia anceps anceps f. corroy* (REINECKE sp.) aus der Leitschicht des Bergwerks. Die Fossilien der Schicht sind oft mässig erhalten und schwer präparierbar. Sammlung Peter Bitterli-Dreher Nr. 13-27.

Illustration 5: le fossile stratigraphique *Reineckeia anceps anceps f. corroy* (REINECKE sp.) de la couche de référence de la mine. Les fossiles de la couche sont souvent moyennement conservés et difficiles à préparer. Collection Peter Bitterli-Dreher n° 13-27.

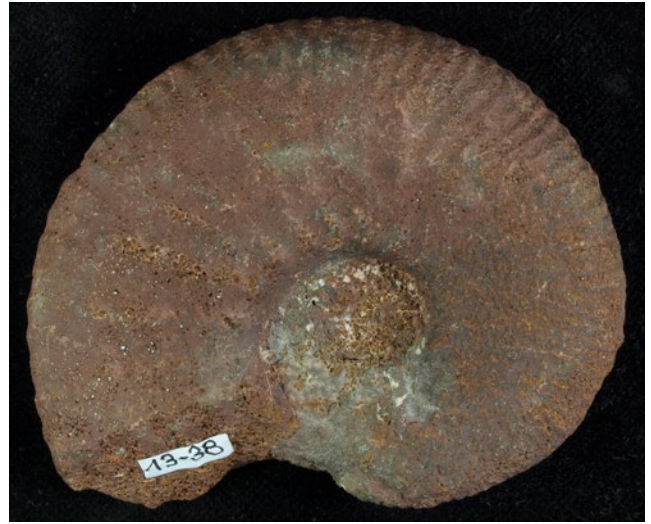


Bild 6: *Kosmoceras* (*Spinikosmoceras*) *crassum*, TINTANT, 1963, aus der Leitschicht. Jeannot verwendete für ein vergleichbares Exemplar (Fragment) die Bezeichnung *K. (S.) cf. obductum* (BUCKMANN, 1925). Der Ammonit tritt nur in der obductum-Subzone auf (vgl. Strahler 2/2020, Bild 7). Sammlung Peter Bitterli-Dreher Nr. 13-38.

Illustration 6: *Kosmoceras* (*Spinikosmoceras*) *crassum*, TINTANT, 1963, de la couche de référence. Jeannot utilisait l'appellation *K. (S.) cf. obductum* (BUCKMANN, 1925) pour un exemplaire comparable (fragment). L'ammonite n'apparaît que dans la Sous-zone à obductum (cf. Cristallier 2/2020, illustration 7). Collection Peter Bitterli-Dreher n° 13-38.



Bild 7: *Erynoceras coronatum*, d'ORBIGNY sp., ein typisches Exemplar aus der Leitschicht oder der Knollenlage, sehr weitnabelig mit markanten Knoten. Die Schale zeigt einen Teil der Wohnkammer, die bis  $1\frac{1}{4}$  Umgänge umfassen kann. D=225 mm. Sammlung Peter Bitterli-Dreher Nr. 13-66.

Illustration 7: *Erynoceras coronatum*, d'ORBIGNY sp., un exemplaire typique de la couche de référence ou de la couche à tubercules, très évoluée avec des tubercules caractéristiques. La coquille comprend une partie de la loge d'habitation qui peut s'étendre sur  $1\frac{1}{4}$  tour. D=225 mm. Collection Peter Bitterli-Dreher n° 13-66.



Bild 8: *Erynocerites Greppini*, ROLLIER sp., ein engnabeliger *Erynoceras* aus Knollenlage/oberes Erzlager. Diese Stücke sind *Macrocephaliten* sehr ähnlich. D=202 mm, alles Phragmokon, das lebende Tier war demnach deutlich grösser. Sammlung Peter Bitterli-Dreher Nr. 13-69.

Illustration 8: *Erynocerites Greppini*, ROLLIER sp., une *Erynoceras involute* de la couche à tubercules/gisement métallifère supérieur. Ces exemplaires ressemblent beaucoup aux *Macrocephalites*. D=202 mm, il ne s'agit que du phragmocône, l'animal vivant était donc bien plus grand. Collection Peter Bitterli-Dreher n° 13-69.



Bild 9: Peltoceras trifidum, QUENSTEDT sp., aus der Athleta-Schicht. Beim Leitfossil P. athleta verbinden lediglich 2 Rippen die Knoten auf der Aussenseite. Gut erkennbar das rotbraune eisenoolithische Gestein der Athleta-Schicht. D=62 mm. Sammlung und Foto E. Blum.

Illustration 9 : Peltoceras trifidum, QUENSTEDT sp., de la couche Athleta-Schicht. Le fossile stratigraphique P. athleta présente une particularité : les tubercules sur le tour extérieur sont seulement reliés par deux côtes. La roche à oolites ferrugineuses rouge-brun de la couche Athleta-Schicht est bien reconnaissable. D=62 mm. Collection et photo E. Blum.

knapp 50 cm mächtige Schicht enthält im oberen Teil einen Horizont mit grossen Coelestin Kristallen. Es sind diagenetische Bildungen, denn die Kristalle verdrängen das eisenoolithische Gestein.



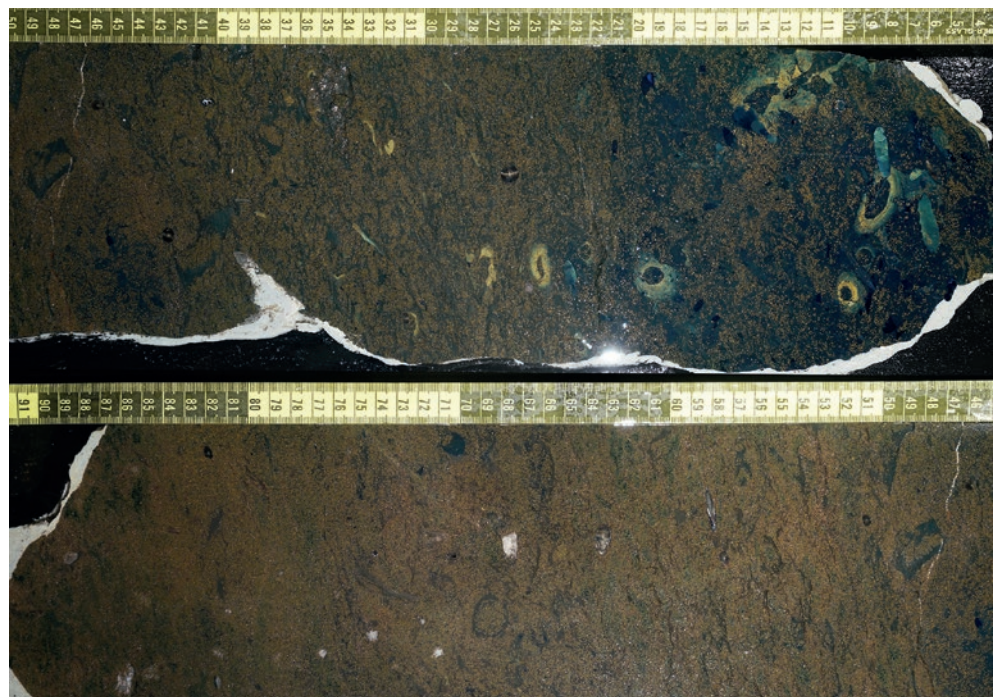
Bild 10: Collotia Colloti, JEANNET 1951. Typisch sind zwei markante Knotenreihen auf den Innenwindungen, die gegen aussen in knotige Rippen übergehen. Auf der Aussenseite sind Knoten und eine Externfurche entwickelt. D=340 mm. Foto und Sammlung Ernst Blum.

Illustration 10 : Collotia Colloti, JEANNET 1951. Deux rangées caractéristiques de tubercules sur l'ombilic sont typiques, elles se transforment en côtes tuberculées vers l'extérieur. Des tubercules et une fourche externe se sont développés sur le tour externe. D=340 mm. Collection et photo Ernst Blum.

dans le profil de la mine. Il s'agit d'oolite ferrugineuse qui contient souvent des fossiles qu'il est habituellement difficile de dégager de la roche. Parmi les ammonites, la présence du genre *Collotia* se remarque et il devient plus fréquent à partir du milieu du gisement (illustration 10). Il s'agit des représentants tardifs de la sous-famille des Reineckeinae. L'épaisseur du gisement métallifère supérieur au-dessus de l'horizon de tubercules se situe entre 60 et 70 cm. Un banc rocheux plus solide se trouve au-dessus du gisement métallifère supérieur. Bien qu'il soit également

Bild 11: Profilplatte aus dem Hauptstollen (Gefärbt: Blau Fe-Calcit). Bis 44 cm: Lamberti-Schicht mit diagenetisch veränderten Grabspuren. Ammonitenquerschnitte. 44–66 cm: Obere Athleta-Schicht mit eigenartigen polygonalen Mikritfüllungen (Gelöste Coelestin-Kristalle?) Im Mikrit eingefüllte Eisenooide. 66–91 cm: Coelestin-Horizont (Mittlere Athleta-Schicht). Zahlreiche bis 2 cm grosse Coelestin Kristalle in rotbraunem Eisenoolith. Foto E. Blum

Illustration 11 : plaque du profil de la galerie principale (colorée : bleu, ferrocalcite). Jusqu'à 44 cm : couche Lamberti-Schicht avec des traces de fouissage modifiées de manière diagenétique. Coupes transversales d'ammonites. 44–66 cm : couche Athleta-Schicht supérieure avec des remplissages polygonaux bizarres de micrites (cristaux de célestite dissous ?) Ooïdes ferrugineux remplissant la micrite. 66–91 cm : horizon à célestite (couche Athleta-Schicht moyenne). Nombreux cristaux de célestite allant jusqu'à 2 cm dans l'oolite ferrugineuse rouge-brun. Photo E. Blum.



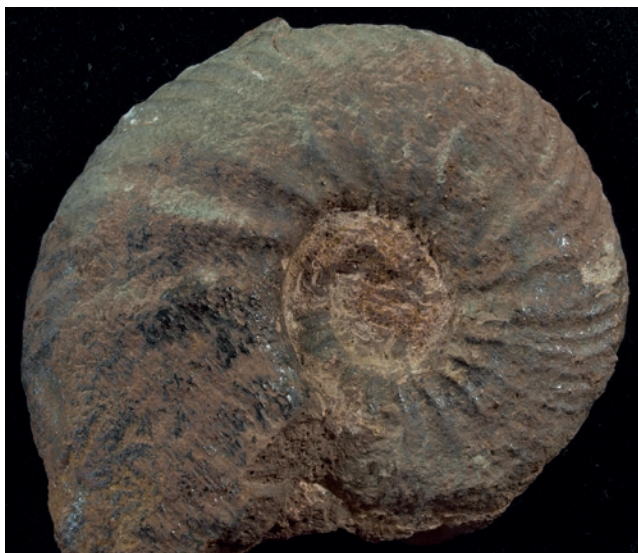


Bild 12: Quenstedtoceras lamberti, SOWERBY, 1819, 75 mm grosser Makroconch. Lamberti-Schicht Hauptstollen. Sammlung Peter Bitterli-Dreher 13/42.

Illustration 12 : Quenstedtoceras lamberti, SOWERBY, 1819, macroconche de 75 mm. Couche Lamberti-Schicht de la galerie principale. Collection Peter Bitterli-Dreher n° 13/42.

Der hangende, braunrote Eisenoolith der **Lamberti-Schicht** ist fossilreich. Insbesondere der Leitammonit *Quenstedtoceras lamberti lamberti* (Bild 12) findet sich häufig, daneben treten vor allem auch diverse Oppelien auf. Es dominieren aber die aus den kühleren Nordmeeren zugewanderten Cardioceraten. Das eisenoolithische Gestein enthält eine Lage mit auffälligen Grabspuren, die eine komplexe diagenetische Entwicklung durchgemacht haben. Ihre Entstehung ist vorerst noch nicht verstanden (Bilder 11 und 13).

Über der Lamberti-Schicht ändert sich der Gesteinscharakter deutlich. Das dunkle, mergelige Gestein der **Mariae-Schicht** enthält noch recht viele bräunliche Eisenooide (Fe-Gehalt um 20 %). Die Fossilien sind meist bei der Kompaktion des tonhaltigen Gesteins zusammen gedrückt worden. Der Leitammonit *Cardioceras (Pavloviceras) mariae* wird darum nur selten in guter Erhaltung gefunden. Häufiger sind in der Mariae-Schicht Belemnitenrostren. Die Regression im späten Callovien erreicht mit der Mariae-Schicht das Maximum, der Meeresspiegel soll dabei zeitweise mehr als 40 m gefallen sein.

Eine harte eisenoolithische Kalkbank, die teilweise lückenhaft auftritt, beendet den Sedimentationszyklus der Mariae-Schicht, der mit rund 1.9 Millionen Jahren sehr lange dauerte (Tab. 1). Wir bezeichnen die harte Kalkbank als **Präcordatum-Schicht**. Bei Ueken wurde darin *Cardioceras (Scarburgiceras) praecordatum* gefunden (Bild 15). Stratigraphisch wird die Schicht als Basis der Schellenbrücke-Bank kartiert. Mit der Präcordatus-Schicht geht die eisenoolithische Sedimentation praktisch zu Ende, denn in der Cordatum-Schicht sind nur noch wenige Eisenooide zu beobachten. Die Schellenbrücke-Bank (Cordatum-Schicht) wird in einem separaten Artikel beschrieben werden.

#### 4. Die Lebewelt des Herznacher Eisenooliths

Wenn über die Fossilien von Herznach gesprochen wird, sind praktisch immer Ammoniten gemeint. Aber es treten weitere

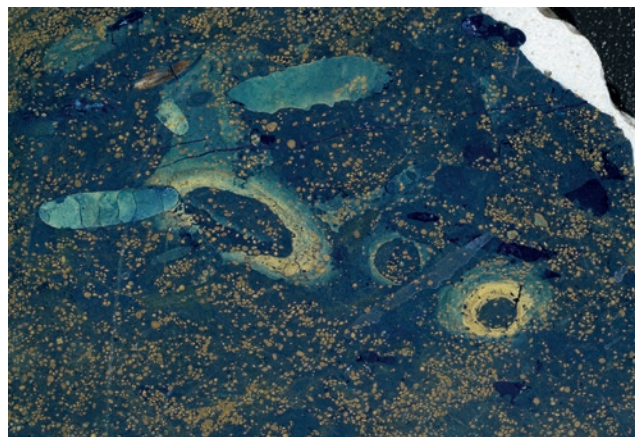


Bild 13: Grabgänge und Ammonitenquerschnitte in der Lamberti-Schicht. Die Eisenooide in den Grabgängen (Weichtiere, z.B. Würmer) sind oft im unteren Teil angehäuft (Geopetalgefüge). Die Grabspuren im Sediment verdrängen die Eisenooide girlanden-förmig. Eine Schichtung ist nicht mehr erkennbar, das Sediment wurde intensiv umgearbeitet. Platte Hauptstollen (Bild 11), Foto E. Blum.

Illustration 13 : galeries de fouissage et coupes transversales d'ammonites dans la couche Lamberti-Schicht. Les oïdes ferrugineux dans ces galeries (mollusques, p. ex. vers) se sont souvent accumulés dans la partie inférieure (structure géopète). Les traces de fouissage dans le sédiment repoussent les oïdes ferrugineux de manière festonnée. Une stratification n'est plus reconnaissable, le sédiment a été remanié de manière intensive. Plaque de la galerie principale (illustration 11), photo E. Blum.

constitué d'oolites ferrugineuses, il a été épargné par les activités minières car il formait une bonne voûte de galerie. Les mineurs le qualifiaient de **couche protectrice** et les géologues de couche **Athleta-Schicht** car l'ammonite *Peltoceras athleta* était stratigraphique pour cette couche (illustration 9). La couche épaisse de tout juste 50 cm contient dans sa partie supérieure un horizon avec de grands cristaux de célestite. Il s'agit de formations diagénétiques, en effet, les cristaux ont pris la place de la roche à oolites ferrugineuses.

L'oolite ferrugineuse brun-rouge de la couche **Lamberti-Schicht** sus-jacente est fossilifère. L'ammonite stratigraphique *Quenstedtoceras lamberti lamberti* (illustration 12) en particulier y est fréquente, elle est accompagnée avant tout par diverses Oppeliidae. Les Cardioceratidae immigrés de la mer septentrionale plus froide sont en revanche dominantes. La roche à oolites ferrugineuses contient une couche avec des traces de fouissage bien visibles, qui sont passées par un développement diagénétique complexe. La manière dont cette couche s'est formée n'est pas encore comprise (illustrations 11 et 13).

Le caractère de la roche se modifie fortement au-dessus de la couche Lamberti-Schicht. La roche marneuse foncée de la couche **Mariae-Schicht** contient encore des oïdes ferrugineux brunâtres en assez grandes quantités (teneur en Fe de près de 20 %). Les fossiles ont été le plus souvent comprimés lors de la compaction de la roche argileuse. Les exemplaires de l'ammonite stratigraphique *Cardioceras (Pavloviceras) mariae* sont pour cette raison rarement bien conservés. Des rostres de bélemnites sont fréquents dans la couche Mariae-Schicht. La régression marine du Callovien tardif a atteint son maximum avec la couche Mariae-Schicht, le niveau de la mer s'est vraisemblablement abaissé par moment de plus de 40 m.

Un banc calcaire dur à oolites ferrugineuses, appelé couche **Präcordatum-Schicht** et qui apparaît parfois de façon

Tiergruppen auf, die zudem ökologische Rückschlüsse auf den Ablagerungsraum erlauben. Neben Tierresten finden sich im Herznacher Eisenoolith auch Pflanzenreste in Form von versteinertem Holz, welches von Festländern in der Umgebung ins Meer gelangte und mit Meeresströmungen in die «Herznach See» trieb.

Man kann in Herznach 2 Faunengemeinschaften unterscheiden, die im Gestein vermischt auftreten:

- Tiere, die im offenen Wasser schwimmend lebten (pelagisch). Ihre Schalen fallen nach dem Absterben auf den Meeresboden. Dazu zählen viele Ammonitenarten, aber auch Belemniten. Weiter finden sich Zähne von Fischen und Haifischen sowie seltener Knochen und Zähne von Meeressauriern.
- Tiere, die auf und im Meeresboden lebten. Zum Beispiel Muscheln und Schnecken, selten auch Brachiopoden. Von einigen Ammonitenarten nimmt man an, dass sie auf oder knapp über dem Meeresboden lebten. Dazu gehören die Perisphincten und die Erymnoceraten mit ihren aufgeblähten Schalen. Nicht selten finden sich «Schlammseeigel», die eingegraben lebten, selten auch Seelilienstielglieder. Letztere wurden wohl aus seichteren Biotopen eingeschwemmt, denn sie treten in den kondensierten Abfolgen der Umgebung von Herznach wesentlich häufiger auf.

Teile der Ammonitenfauna von Herznach wurden von Jeannet (1951, 1954) und Gygi (1998) sowie Bonnot & Gygi (1998, 2001) beschrieben. Die lange Zeitdauer der Ablagerung führt dazu, dass bedeutende Faunenwechsel erfolgten. Im unteren Erzlager dominieren noch Reineckeia, die bereits den «Herznacher Meeresboden» zusammen mit den Macrocephaliten bevölkerten. Mit *Reineckeia anceps* stellen sie

lacunaire, termine le cycle de sédimentation de la couche Mariae-Schicht, cycle qui a duré près de 1,9 millions d'années (tab. 1). *Cardioceras (Scarburgiceras) praecordatum* a été découverte près de Ueken (illustration 15). Du point de vue stratigraphique, la couche est cartographiée comme base du Banc du Schellenbrücke. La sédimentation d'oolitique ferrugineuse se termine pratiquement avec la couche Præcordatus-Schicht. En effet, la couche Cordatum-Schicht sus-jacente ne contient que peu d'ooïdes ferrugineux. Le Banc du Schellenbrücke (Cordatum-Schicht) sera décrit dans un article séparé.

#### 4. Le monde vivant de l'oolite ferrugineuse de Herznach

Lorsqu'il est question des fossiles de Herznach, on ne parle pour ainsi dire que des ammonites. D'autres groupes d'animaux sont aussi présents, ils permettent en outre des déductions écologiques de la zone de formation de dépôts. En plus de restes d'animaux, l'oolite ferrugineuse de Herznach contient également des restes de plantes sous la forme de bois. Il provient du continent environnant et a été charrié par des courants marins dans la «mer de Herznach».

A Herznach, il est possible de distinguer deux communautés fauniques mélangées dans la roche:

- des animaux qui nageaient en eau libre (pélagique) dont font partie de nombreuses ammonites et des bélemnites. Leurs coquilles se sont déposées au fond de la mer après la mort des organismes. En outre, on y trouve aussi des dents de poissons et de requins ainsi que de rares os et dents de reptiles marins.
- des animaux qui vivaient sur et dans le fond marin. Par exemple des bivalves, gastéropodes et plus rarement des brachiopodes. On suppose que certaines espèces



Bild 14: *Pholadomya escheri*, AGASSIZ, 1842, aus der *Athleta*-Schicht im Bergwerk. Die Muschel ist doppelklappig erhalten und leicht geöffnet, die Schale ist mit Eisenoolith gefüllt. Sie hat im Sediment eingegraben gelebt und versorgte sich durch einen Siphon mit Wasser und Nahrung. Sammlung und Foto E. Blum.

Illustration 14 : *Pholadomya escheri*, AGASSIZ, 1842, de la couche *Athleta*-Schicht dans la mine. Le bivalve a conservé ses deux valves et est légèrement ouvert, la coquille est remplie d'oolite ferrugineuse. Il vivait enfoui dans le sédiment et s'alimentait d'eau et de nourriture au moyen d'un siphon. Collection et photo E. Blum.



Bild 15: *Cardioceras (Scarburgiceras) praecordatum*, DOUVILLÉ, 1912, ein bislang im Schweizer Jura unbekannter Zonenleitammonit. Præcordatum-Schicht, Egg Hornussen. Der Ammonit datiert die entsprechende Gesteinsschicht im Bergwerk, die die Basis der Schellenbrücke-Bank bildet. D=44 mm. Sammlung Peter Bitterli-Dreher Nr. 17A-2.

Illustration 15 : *Cardioceras (Scarburgiceras) praecordatum*, DOUVILLÉ, 1912, une ammonite stratigraphique de biozone inconnue jusqu'ici dans le Jura suisse. Couche Præcordatum-Schicht, Egg Hornussen. L'ammonite date en conséquence la couche rocheuse dans la mine, qui constitue la base du Banc du Schellenbrücke. D=44 mm. Collection Peter Bitterli-Dreher n° 17A-2.



das Leitfossil der «Ancepsschichten» Bild 5). Aber bereits in der Leitschicht treten teilweise sehr voluminöse Steinkerne von *Erymnoceras* und *Erymnocerites* auf (Bilder 7 und 8). Im oberen Erzlager finden sich neu Formen von *Collotia*, sie gehören zu den Perisphincten und können respektable Grössen erreichen. Als Seltenheiten erscheinen hier erste Cardioceraten. Der Leitammonit *Peltoceras athleta* in der Athleta-Schicht tritt in Herznach eher selten auf, häufiger ist *Peltoceras trifidum* (Bild 8). Die Lamberti-Schicht ist, wie erwähnt, ein fossilreicher Horizont. Neben den sehr häufigen Quenstedtoceraten, finden sich vor allem auch zahlreiche Vertreter der Oppelien. In der Mariae-Schicht dominieren Cardioceraten und Peltoceraten. Unbestimmbare Reste grösserer Ammoniten zeigen zudem, dass wohl noch weitere Familien vorkamen.

Wichtig für die Interpretation des Ablagerungsmilieus sind wie erwähnt andere Fossilien. Neben Gastropoden (meist *Pleurotomaria*-Steinkerne) treten im Eisenoolith ab und zu doppelklappig erhaltene Muscheln auf. Darunter vor allem Pholadomyen (Bild 14). Diese lebten eingegraben im Sediment und versorgten sich durch einen Sypho mit Wasser und Nahrung. Sie zeigen, dass der Meeresboden stabil, aber auch weich war, denn nur so konnten sich die Muscheln mit ihrem Fuss ins Sediment eingraben. Auch seltene Exemplare von *Pecten* sp. wurden geborgen, die auf dem Meeresboden lebten. Schliesslich wurden im Eisenoolith auch Seeigel gefunden (*Holactypus*, *Collyrites*). Es handelt sich um Formen, die im Sediment eingegraben lebten.

Nebst diesen Schalen tragenden Tieren gibt es Anzeichen, dass schalenlose Weichtiere das Sediment durchwühlten. Die Schichtung ist praktisch nie erhalten, man sieht im Gestein zahlreiche Wühlgefüge (Bild 13). Die Beobachtung, dass die Tiere beim durchwühlen des Sedimentes Eisenooide beiseite drückten, zeigt, dass diese zur Zeit der Ablagerung im Sediment vorhanden waren und nicht rein diagenetischen Ursprungs sind.

## 5. Klima und Umwelt an der Wende Callovien-Oxfordien

Geologen haben seit einiger Zeit die Möglichkeit, mit Hilfe von stabilen Isotopen ( $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ) in fossilen Schalen oder

d'ammonites vivaient sur le fond marin ou tout juste au-dessus. Il s'agit notamment des Perisphinctidae et des Pachyceratidae avec leurs coquilles ballonnées. Il n'est pas rare de trouver des oursins qui vivaient enfouis dans le limon, toutefois les articles de tiges de crinoïdes sont peu fréquents. Ces derniers auront vraisemblablement été entraînés par l'eau depuis des biotopes peu profonds, car ils apparaissent beaucoup plus souvent dans les successions condensées des environs de Herznach.

La faune d'ammonites de Herznach a été décrite en partie par Jeannet (1951, 1954), Gygi (1998) ainsi que Bonnot & Gygi (1998, 2001). La longue période de sédimentation a eu pour conséquence des changements fauniques significatifs. Le genre *Reineckeia* domine encore dans le gisement métallifère inférieur, il peuple le fond marin de Herznach en compagnie des *Macrocephalites*. *Reineckeia anceps* représente le fossile stratigraphique des couches Ancepsschichten (illustration 5). Toutefois, des moules internes très volumineux de *Erymnoceras* et *Erymnocerites* apparaissent déjà ça et là dans la couche de référence (illustrations 7 et 8). De nouvelles formes de *Collotia* se trouvent dans le gisement métallifère supérieur, elles appartiennent aux *Reineckeinae* et peuvent atteindre des tailles respectables. Les premières et très rares *Cardioceratidae* font ici leur apparition. L'ammonite stratigraphique *Peltoceras athleta* est plutôt rare dans la couche Athleta-Schicht de Herznach, tandis que *Peltoceras trifidum* y apparaît plus fréquemment (illustration 8). La couche Lamberti-Schicht forme comme mentionné, un horizon fossilifère. Outre les représentants très fréquents du genre *Quenstedtoceras*, ceux des *Oppeliidae* en particulier y sont aussi très nombreux dans cette couche. Les *Cardioceratidae* et les *Peltoceratidae* dominent quant à eux dans la couche Mariae-Schicht. Des restes non déterminables de plus grandes ammonites indiquent que d'autres familles s'y trouvaient aussi.

Les autres fossiles mentionnés sont importants pour l'interprétation du milieu de formation des dépôts. En plus des gastéropodes (la plupart du temps des moules internes de *Pleurotomaria*), des bivalves avec leurs deux valves, en

Tabelle 1: Aus stabilen Isotopen ( $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ) ermittelte **Meerwassertemperaturen** für das Gebiet des östlichen Pariser-Beckens und des Schweizer Juras im Zeitraum Mittleres Callovien-Unteres Kimmeridgien. Aus Dromart et al. (2003a und b).

Tabelle 1: **températures de l'eau de mer** déterminées à partir d'isotopes stables ( $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ) pour la région s'étendant à l'est du Bassin parisien au Jura suisse à l'époque du Callovien moyen au Kimmeridgien inférieur. De Dromart et al. (2003a et b).

	Ammoniten-Zone	Alter Basis [Ma] Âge base [ma.]	Dauer Zone [Ma]	Durée Zone [ma.]	Wassertemperatur Température de l'eau [T°C]
<b>Callovien</b>	<i>Macrocephalites gracilis</i>	164.68	1.21		26.3
	<i>Reineckeia anceps</i>	163.47	0.17		25.2
	<i>Erymnoceras coronatum</i>	163.30	0.65		24.6
	<i>Peltoceras athleta</i>	162.65	0.20		23.1
	<i>Quenstedtoceras lamberti</i>	162.45	0.92		19.0
<b>Oxfordien</b>	<i>Quenstedtoceras mariae</i>	161.53	1.87		17.3
	<i>Cardioceras cordatum</i>	159.66	0.56		14.6 <sup>1</sup>
	<i>Dichotomosphinctes luciaeformis</i>	156.90			16.4 <sup>2</sup>
<b>Kimmeridgien</b> <b>Kimmeridgien</b>	<i>Sutneria platynota</i> <sup>3</sup>	153.42			22.4
<sup>1</sup> Haizahn aus Ueken; <sup>2</sup> Haizahn aus Siblingen; <sup>3</sup> Entspricht dem Baden-Member. <sup>1</sup> Dent de requin de Ueken; <sup>2</sup> dent de requin de Siblingen; <sup>3</sup> correspond au Membre de Baden.					

Zähnen ektothermer Tiere (Körpertemperatur = Wassertemperatur), die Temperaturen des Meerwassers, in dem die Tiere lebten, zu bestimmen. Durch Messungen an Zahnschmelz von Haifisch- oder Fischzähnen wurde ermittelt, dass die Temperatur zur Zeit des Callovien/Oxfordien sehr wechselhaft war. Es kam an der Wende der beiden Zeitalter zu einem massiven Kälteeinbruch und die Temperatur des Meerwassers fiel um rund 10 Grad ab. Ein *Lamna*-Zahn aus dem Gebiet von Ueken (*cordatum*-Zone) ergab nur gut 14 Grad. Da das Wasser mit zunehmender Meerestiefe kühler wird, hängt allerdings die Temperatur auch noch vom bevorzugten Lebensraum des Tieres ab.

Der Beginn der Abkühlung fällt mit einer markanten Absenkung des Meeresspiegels während der *athleta*- und *lamberti*-Zone zusammen. Man bringt dies in neueren Publikationen mit einer zeitweisen Vereisung des Nordozeans zusammen, da neuerdings glaziale Sedimente gefunden wurden (Dromart et al., 2003b). Das zunehmend kühlere Wasser beeinflusste die Zusammensetzung der Ammonitenfauna. Der Herznacher Ammonitenboden entstand noch vor der Abkühlung. Perisphincten, Reineckien und Macrocephaliten dominierten die Fauna, sie sind aus dem südlichen, wärmeren Tethys Ozean ins Herznacher Schelfmeer eingewandert (Strahler 2/2020). Die Abkühlung erlaubte den Tieren des Nordmeeres (boreale Faunen), nach Süden vorzudringen. Kosmoceraten und Cardioceraten hatten sich im Verlauf der frühen Jurazeit in den kühlen Nordmeeren entwickelt. Die Wanderungen setzen schon vor der Zeit der Bildung des Herznacher Meeresbodens allmählich ein (z.B. Anwil-Bank). Erste Kosmoceraten erscheinen in Herznach in der obersten Schicht der Unter-Erli-Bank aber erst ab der «Athleta-Bank» treten sie dann häufiger auf.

Wierzbowski & Rogov (2011) zeigen ein eindrückliches Beispiel aus dem Mittelrussischen Meer. Sie haben Temperaturbestimmungen an Belemniten und Ammoniten gemacht. Dabei ergaben die Schalen der oberflächennah, pelagisch lebenden Ammoniten (v.a. Cardioceraten) eine Wassertemperatur von etwa 13 Grad, während die tiefer lebenden Belemniten Temperaturen von 5–8 Grad anzeigten. Das kalte arktische Wasser ist also zu Beginn als Tiefenwasser in die südlicheren Meere eingedrungen.

Die Gesteinsabfolge im Bergwerk umfasst die Callovien/Oxfordien-Kaltzeit vollständig, der kälteste Abschnitt fällt auf das Schichtpaket von der Lamberti-Schicht bis ins Birnenstorf-Member (*transversarium*-Zone). Eine deutliche Erwärmung beobachtet man erst zu Beginn des Kimmeridgien (Schwarzbach-Formation und Baden-Member). Im Schweizer Jura entstanden mit dieser Erwärmung ausgedehnte Korallenriffgürtel. Doch warum kam es zur Abkühlung? Die Gründe werden kontrovers diskutiert, es stehen folgende Hypothesen im Vordergrund:

1. Da die Tone und Mergel des mittleren Calloviens weltweit hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff enthalten, wird spekuliert, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre wegen der intensiven Bioproduktion damals massiv abgesunken war. Gleichzeitig erstreckten sich Karbonatplattformen unüblich weit in die gemässigten Zonen hinein. Nachdem der CO<sub>2</sub>-Pegel im Verlauf der Jurazeit meist 2000–3000 ppm betrug, soll er damals auf unter 500 ppm gefallen sein (Dromart et al., 2003a). Damit sei die Erwärmung durch das Treibhausgas deutlich reduziert worden, was schlussendlich die Abkühlung ausgelöst haben soll.

2. Es wurde bereits auf die Intensivierung der Plattentektonik zur dieser Zeit hingewiesen. Die damit verbundenen, weltweiten, aktiven Subduktions-Vulkangürtel dürften gewaltige

particulier des *Pholadomya* (illustration 14), apparaissent de temps en temps dans l'oolite ferrugineuse. Ils vivaient enfouis dans le sédiment et s'alimentaient d'eau et de nourriture au moyen d'un siphon. Ils indiquent que le fond marin était stable mais aussi mou, condition sine qua non pour que le bivalve puisse s'enfouir dans le sédiment avec son pied. De rares exemplaires de *Pecten* sp. ont aussi été dégagés, ils vivaient sur le fond marin. Finalement, des oursins (*Holectypus*, *Collyrites*) ont aussi été découverts dans l'oolite ferrugineuse. Il s'agit de formes qui vivaient enfouies dans le sédiment.

Outre ces animaux à coquilles, il y a des indices que certains mollusques sans coquilles fouillaient le sédiment. La stratification n'est pratiquement jamais conservée, on distingue de nombreuses structures de turbation dans la roche (illustration 13). L'observation que les animaux repoussaient les ooïdes ferrugineux de côté lors du fouissage indique que ces ooïdes étaient déjà présents du temps des dépôts dans le sédiment et n'ont pas une origine purement diagénétique.

## 5. Climat et environnement au tournant Callovien-Oxfordien

Les géologues ont la possibilité depuis un certain temps de déterminer la température de l'eau de mer dans laquelle vivaient les animaux, et ce, à l'aide des isotopes stables (<sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O) dans les coquilles ou les dents fossiles d'animaux ectothermes, dont la température du corps correspond à celle de l'eau. Il a été constaté par des mesures sur l'émail dentaire de requins ou de poissons que la température à l'époque du Callovien et de l'Oxfordien était très changeante. Une vague de froid massive s'est abattue au tournant des deux étages et la température de l'eau de mer s'est abaissée de près de 10°C. Une dent de *Lamna* de la région de Ueken (Zone à *cordatum*) indiqua une eau d'à peine 14°C. Même si l'eau devient plus froide lorsque la profondeur augmente, la température de l'eau dépend cependant aussi de l'espace vital privilégié par l'animal.

Le début du refroidissement coïncide avec un abaissement prononcé du niveau de la mer durant la période de formation des Zones à *athleta* et à *lamberti*. Dans des publications plus récentes, ce phénomène est associé à une glaciation momentanée de l'océan septentrional, puisque des sédiments glaciaires ont été découverts récemment (Dromart et al., 2003b). La baisse croissante de la température de l'eau influença la composition de la faune d'ammonites. Le sol d'ammonites de Herznach se forma avant le refroidissement. Perisphinctidae, *Reineckeia* et *Macrocephalites* dominent la faune, elles ont émigré de l'océan Téthys méridional plus chaud vers la mer épicontinentale de Herznach (Cristallier 2/2020). Le refroidissement permit aux animaux de la mer septentrionale (faune boréale) d'avancer vers le sud. Des Kosmoceratidae et Cardioceratidae s'étaient développées durant le Jurassique précoce dans la mer septentrionale froide. Les migrations s'amorcèrent progressivement déjà avant la période de formation du fond marin de Herznach (p. ex. Banc d'Anwil). À Herznach, les premières Kosmoceratidae apparaissent dans le toit du Banc d'Unter Erli, pour devenir toutefois plus fréquentes à partir du banc «Athleta-Bank» seulement.

Wierzbowski & Rogov (2011) montrent un exemple impressionnant de la mer centrale de Russie. Ils ont déterminé la température à partir de bélemnites et d'ammonites. Les coquilles des ammonites pélagiques qui vivaient proche de la surface (principalement des Cardioceratidae) révélèrent une température d'environ 13 degrés, les rostrés des bélemnites vivant à plus grande profondeur, une température entre

Gas- und Aschewolken in die Atmosphäre geschleudert haben. Diese Schadstoffeinträge haben die klimatische Entwicklung sicher stark beeinflusst (Dromart et al. 2003a).

3. Weiter wurde geschildert, dass zur Zeit des mittleren Juras Meeresstrassen quer durch den zerbrechenden Pangaea-Superkontinent entstanden (Hispanische und Viking Meerestrassen). Letztere wurde zur Zeit des Calloviens zunehmend breiter und tiefer (Proto-Nordatlantik), so dass das nach Süden vordringende kalte Wasser ebenfalls eine Abkühlung der mittleren Breiten förderte. Ganz allgemein hat die Öffnung einer Meerestrasse gegen den westlich Pangaea liegenden Panthalassa-Ozean («Pazifik») zu einer weltweiten Umstellung der Meeresströmungen in den Ozeanen geführt, was den Wärmetransport in die kalten Zonen massgeblich beeinflusste.

Was schlussendlich den Ausschlag für die massive Abkühlung gab ist unklar. Vermutlich war ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren für die kühle Phase («Eiszeit») an der Wende Callovien-Oxfordien verantwortlich (Dromart et al. 2003b).

### **6. Wie sind die Eisenoolithe des Herznach-Members entstanden?**

Die Frage, wie im Meer Eisenoolithe entstehen können, ist schwieriger als man auf den ersten Blick meinen möchte. Im sauerstoffhaltigen, normalen Meerwasser kann Eisen nicht gelöst werden, dieses enthält darum kaum Eisen (0.02 bis 0.03 ppm). Wie also Eisenoolithe produzieren, wenn kein Eisen vorhanden ist?

Das Eisen wird bei der festländischen Verwitterung freigesetzt und kommt an Tonmineralien gebunden in die Meeresedimente. Tone enthalten darum einige Prozente Eisen. Das Eisen in den Tonmineralien kann im reduzierten, d.h. sauerstofffreien Milieu des Porenwassers im Gestein in Lösung gehen und mit dem bei der Kompaktion ausgepressten Porenwasser gegen den Meeresboden steigen. Das Sediment direkt unter dem Meeresboden ist sauerstoffhaltig. In diesem chemischen Milieu fällt das Eisen unmittelbar als Eisenhydroxid («Limonit» oder Goethit) aus. Die Frage, wie nun in dieser Meeresbodenschicht Eisenoolithe entstehen können ist komplex, es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, dies hier auszuführen. Ich werde deshalb später in einem separaten Artikel auf diese Frage eingehen.

### **Zum Schluss**

Die Kaltzeit an der Wende vom mittleren zum späten Jura zeigt, dass in der Erdgeschichte immer wieder auch extreme Entwicklungen vorkamen. Die Mitteljura-Kaltzeit endete und mit den Korallenriffen des späten Juras kündigte sich eine Warmzeit mit optimalen Bedingungen für die Lebewelt an. Das System Erde kehrte im Verlauf der Erdgeschichte nach extremen Ereignissen immer wieder in stabile Zustände zurück. Deshalb blieben die mittleren Temperaturen auf der Erde im Phanerozoikum (letzte 542 Millionen Jahre) immer in einem Fenster von etwa 15–25 Grad. Mit knapp 15 Grad mittlerer Temperatur leben wir demnach heutzutage in eher kühlen Zeiten.

### **Verdankungen**

Diese Arbeit wäre ohne die Hilfe von Ernst Blum nicht entstanden. Er hat mit technischem Geschick die Platten des Typusprofils gewonnen, die im Bergwerk eine neue Dimension der Gesteinsbeschreibung einleiten. Weiter hat er das Typusprofil im Bergwerk präpariert. Seine Photographien sind eine weitere Grundlage dieses Berichtes.

5 et 8 degrés. L'eau arctique froide s'est donc infiltrée au début comme eaux profondes dans les mers méridionales.

La succession de roches de la mine comprend la période froide Callovien-Oxfordien dans son intégralité, la partie la plus froide correspond au paquet de couches s'étendant de la couche Lamberti-Schicht jusqu'au Membre de Birmenstorf (Zone à transversarium). On observe un réchauffement distinct seulement au début du Kimméridgien (Formation de Schwarzbach et Membre de Baden). Dans le Jura suisse, des ceintures de récifs coralliens étendues se formèrent durant ce réchauffement.

Mais pourquoi y a-t-il eu un refroidissement? Les raisons font l'objet d'un débat controversé, les hypothèses suivantes sont mises en avant.

1. Puisque les argiles et marnes du Callovien moyen présentaient mondialement une teneur élevée en carbone organique, on spéculé sur le fait que la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère s'était abaissée massivement en raison de la forte croissance de la biomasse végétale de l'époque. En même temps, les plates-formes carbonatées s'étendaient de manière inhabituelle loin dans les zones tempérées. Le taux de CO<sub>2</sub> qui se situait en général entre 2000 et 3000 ppm durant le Jurassique, se serait alors abaissé en dessous de 500 ppm (Dromart et al., 2003a), ce qui aurait réduit le réchauffement par le gaz à effet de serre et déclenché le refroidissement.

2. Proposition: l'intensification de la tectonique des plaques à cette époque a déjà été mentionnée. Les ceintures volcaniques des subductions actives qui en résultaient dans le monde entier pourraient avoir émis des quantités gigantesques de gaz et de nuages de cendres dans l'atmosphère. Ces concentrations en polluants ont certainement fortement influencé le développement climatique (Dromart et al. 2003a).

3. En outre, il a été décrit qu'à l'époque du Jurassique moyen, des détroits s'étaient formés à travers le supercontinent Pangée en dislocation, les détroits hispanique et Viking. Ce dernier s'était élargi de plus en plus durant le Callovien et devint si profond (proto-atlantique nord) que l'eau froide s'écoulant en direction du sud produisit également un refroidissement des latitudes moyennes. D'une manière générale, l'ouverture d'un détroit vers l'océan Panthalassa (Pacifique) situé à l'ouest de la Pangée a conduit à un chamboulement mondial des courants dans les océans, ce qui a eu une influence déterminante sur le transport de la chaleur dans les zones froides.

Ce qui a finalement provoqué le refroidissement massif demeure flou. Une interaction de plusieurs facteurs a probablement été responsable de la phase froide (glaciation) au tournant Callovien-Oxfordien (Dromart et al. 2003b).

### **6. Comment les oolites ferrugineuses du Membre de Herznach se sont-elles formées?**

La question de savoir comment les oolites ferrugineuses ont pu se former dans la mer est plus difficile qu'il peut paraître au premier abord. Le fer ne peut être dissous dans de l'eau de mer oxygénée normale et elle n'en contient pratiquement pas (0,02 à 0,03 ppm). Comment produire alors des oolites ferrugineuses si le fer n'est pas disponible?

Le fer est libéré lors de l'érosion continentale et parvient dans les sédiments marins lié à des minéraux argileux. Les

## Ausgewählte Literatur / Choix de littérature

- Amsler, A. (1922): Zur Bildung der Eisenoolithablagerung von Herznach-Wöflinswil. *Eclogae Geol. Helv.* Vol. 16/3.
- Bitterli-Dreher, P. (2012a): Die Ifenthal-Formation im nördlichen Jura. *Swiss Bull. angew. Geol.* Vol. 17/2, p.93–117.
- Bitterli-Dreher, P. (2012b): Grabung Anwil: Ein Fenster in die Jurazeit. *Schweizer Strahler* 2/2012.
- Bitterli-Dreher, P. (2012b): La fouille d'Anwil, une fenêtre sur le Jurassique. *Le Cristallier Suisse* 2/2012
- Bonnot, A & Gygi, R.A. (1998): Les Euaspidoceratinae (Ammonitina, Aspidoceratidae) d'Herznach (Suisse septentrionale) à la fin de la zone à Cordatum (Oxfordien inférieur). *Eclogae geol. Helv.* 91/3, p.493–512.
- Bonnot, A & Gygi, R.A. (2001): Les Euaspidoceratinae (Ammonitina, Aspidoceratidae) de la zone à Transversarium (Oxfordien moyen) de la Suisse septentrionale (cantons d'Argovie et de Schaffhouse). *Eclogae geol. Helv.* 94/3, p. 427–445.
- Bühler, R. (1986): Bergwerk Herznach – Erinnerungen an den Fricktaler Erzbergbau. AT Verlag, Aarau, Stuttgart.
- Dromart, G., Garcia, J.P., Gaumet, F., Picard, S., Rousseau, M., Atrops, F., Lecuyer, C. & Sheppard, M.F. (2003a): Perturbation of the Carbon Cycle at the Middle/Late Jurassic Transition: Geological and Geochemical Evidence. *American Journal of Science* Vol. 303, p.667–707.
- Dromart, G., Garcia, J.-P., Picard, S., Atrops, F., Lecuyer, C. & Sheppard, S.M.F. (2003b): Ice age at the Middle-late Jurassic transition? *Earth and Planetary Science letters*, 213, p. 205–220.
- Frei, A. (1962): Die Mineralien des Eisenbergwerkes Herznach und ihre Ausbildung im Lichte morphogenetischer Untersuchungen. *Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie*, 13.Liefg., Bd. 6.
- Gygi, R.A. (1998): Taxonomy of perisphinctid ammonites of the Early Oxfordian (Late Jurassic) from near Herznach, Canton Aargau, Switzerland. *Palaeontographica* Abt. A. 251/1-4.
- Gygi, R. A. (2000): Integrated Stratigraphy of the Oxfordian and Kimmeridgian (Late Jurassic) in northern Switzerland and adjacent southern Germany. *Mém. Swiss. Acad. Sci.* Vol. 104.
- Bonnot, A & Gygi, R.A. (2001): Les Euaspidoceratinae (Ammonitina, Aspidoceratidae) de la zone à Transversarium (Oxfordien moyen) de la Suisse septentrionale (cantons d'Argovie et de Schaffhouse). *Eclogae geol. Helv.* 94/3, p. 427–445.
- Haq, B.U. (2017): Jurassic Sea-level variations: A Reappraisal. *GSA Today*, no. 1.
- Jeannet, A. (1951): Stratigraphie und Paläontologie des oolithischen Eisenerzlagers von Herznach und seiner Umgebung. *Die Eisen- und Manganerze der Schweiz.* Beitr. Geol. Schweiz. geotechn. Ser. XII., Lfg. 5 (Bern).
- Jeannet, A. (1955): Die Macrocephaliten des Calloviens von Herznach (Aargau). *Eclogae Geol. Helv.* Vol 47/2.
- Moesch, C. (1867): Der Aargauer Jura und die nördlichen Gebiete des Kantons Zürich geologisch untersucht und beschrieben. Dalp, Bern.
- Wierzbowski, H. & Rogov, M. (2010): Reconstructing the paleoenvironment of the Middle Russian Sea during the Middle-Late Jurassic transition using stable isotope ratios of cephalopod shells and variations in faunal assemblages. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 299, p.250–264.

Dr. Peter Bitterli-Dreher  
Wolfgalgen 4, 5304 Endingen AG

argiles contiennent ainsi quelques pour cent de fer. Sous cette forme, il peut se dissoudre dans le milieu réduct, c'est-à-dire exempt d'oxygène, de l'eau interstitielle de la roche et remonter vers le fond marin avec cette eau interstitielle expulsée lors de la compaction. Le sédiment se trouvant directement sous le fond marin contient de l'oxygène. Dans ce milieu chimique, le fer précipite directement en hydroxyde de fer (limonite ou goethite). Comment des ooïdes ferrugineux peuvent-ils se former dans cette couche de fond marin? La question est complexe et son explication sortirait du cadre de cet article. Je reviendrai donc sur cette question plus tard dans un article séparé.

## Pour terminer

La période froide au tournant du Jurassique moyen à supérieur indique que des développements extrêmes se produisaient constamment au cours de l'histoire de la Terre. La période froide du Jurassique moyen se termina et, avec les récifs coralliens du Jurassique tardif, une période chaude lui succéda alors avec des conditions optimales pour la faune et la flore. Le système Terre a toujours retrouvé un équilibre stable après les événements extrêmes de son histoire. Pour cette raison, les températures moyennes sur la Terre au Phanérozoïque (les derniers 542 millions d'années) se sont toujours situées dans une plage d'environ 15 à 25 degrés. Avec une température moyenne de tout juste 15°C, nous vivons donc actuellement à une époque plutôt fraîche.

## Remerciement

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans l'aide de Ernst Blum. Grâce à son savoir-faire technique, il a dégagé les plaques du profil-type qui permettent d'amorcer une nouvelle détermination des roches. De plus, il a préparé le profil-type de la mine. Ses photographies constituent une base supplémentaire de ce travail.

Teil 1: Die Erdgeschichte des «Meeresbodens»,  
*Schweizer Strahler* 2/2020.

Première partie: l'histoire géologique du «fond marin»,  
*Cristallier Suisse* 2/2020.

Traduction: Daniel Hêche