© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

GEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM BEREICHE DES FRÄNKISCHEN GRUNDGIPSES

VON

FLORIAN HELLER

MIT 6 TAFELN

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

1930
NATURHISTORISCHE GESELLSCHAFT NÜRNBERG

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Vorwort

Die hier vorgelegte Arbeit entstand in den Jahren 1926—28 und ist das Ergebnis zahlreicher Untersuchungen, die ich im Bereiche des fränkischen Grundgipses anstellte. Die chemischen Analysen wurden im Laboratorium des Mineralogisch-geologischen Instituts der Universität Erlangen ausgeführt.

Meinem hochverehrten Lehrer, dem Herrn Geheimen Rat Professor Dr. Hans Lenk, der mir bei meiner Arbeit vielseitige Unterstützung und Förderung zuteil werden ließ, gestatte ich mir auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank auszusprechen. Großen Dank schulde ich ferner Herrn Dr. Paul Dorn, der mir ebenfalls manche wertvolle Anregung gab.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Erklärung der beigegebenen Abbildungen

Fig. Nr. 1 und 2: Quellfalten des Gipses mit eingepreßter Mergelschieferunterlage. (Windsheim, Bruch Müller.)

Fig. Nr. 3: Große Falte im Steinbruch Müller-Windsheim.

Fig. Nr. 4: Kernstück der großen Falte mit zerbrochener Steinmergelbank.

Fig. Nr. 5: Geologische Orgeln. (Windsheim, Bruch Haberstroh.)

Fig. Nr. 6: Freigelegtes Orgelfeld. (Windsheim, Bruch Haberstroh.)

Fig. Nr. 7: Nachgesackte Mergelschichten im Steinbruch Hellmitzheim. (Verkarstung des Gipses bis zur vollständigen Auflösung.)

Fig. Nr. 8: Schichtfugenplatte mit Erosionsrillen. (Strudelform.) 1/3 nat. Gr.

Fig. Nr. 9: Schichtfugenplatte mit Randlinie. (Durch Vereinigung zweier Strömungsrichtungen entstanden.) 1/2 nat. Gr.

Fig. Nr. 10: Schichtfugenplatte (Bodenplatte) mit Zerschneidungen und Pilzfelsenbildungen. Zirka 1/3 nat. Gr.

Fig. Nr. 11: Schichtfugenplatte. Zirka 1/3 nat. Gr.

Fig. Nr. 12: Verwitterte Keupermergel mit „Schwarzerde"-bändern im Steinbruch Weid-Windsheim. (Ausfüllung ehemaliger Schichtfugengerinne.)

Sämtliche Aufnahmen vom Verfasser.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort III
Erklärung der beigegebenen Abbildungen IV
Einleitung 49
Fränkischer Grenzdolomit und Grundgips 49
Profile 51
Die Steinmergelbänke des Grundgipses 58
Die Entstehung der dolomitischen Steinmergelbänke 62
Die Gipsablagerungen 64
Die Bildung des Anhydrits 64
Die Entstehung der Gipslager 65
Die Lagerungsverhältnisse des Grundgipses 66
Petrogenese einiger Bänke 67
Die Muschelgipse 67
Der Flasergips 68
Das Quarzitbänkchen von Windsheim 69
Paläontologischer Teil 69
Die Quellungserscheinungen im Gips 76
Die Auslaugungsdiagenese im Grundgips 79
Die Kristallisation des Gipses 80
Mechanische Sprengwirkungen des sekundär kristallisierenden Gipses 81
Die Karsterscheinungen im Grundgips 82
Erosions- und Lösungserscheinungen in Schichtfugen 89
Schwarzerdeähnliche Bildungen im Gipskeuper 92
Die Seekreideablagerungen 97
Zusammenfassung 109
Literaturverzeichnis 111

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

BRARY
EW YORK
OTANICAL
ARDEN

EINLEITUNG

Mein Arbeitsgebiet umfaßt jenen Teil des fränkischen Gipskeupers, der von den Städten Neustadt a. A., Windsheim, Rothenburg, Uffenheim und Iphofen begrenzt wird. Als Kartenunterlage benützte ich den topographischen Atlas von Bayern 1: 50000, und zwar die Blätter Windsheim, Scheinfeld und Rothenburg. Meine Untersuchungen beschäftigten sich hauptsächlich mit dem Werden und Vergehen der Gipslager des Grundgipses. Über die Entstehung derselben konnte nur wenig Neues gesagt werden. Um so dankbarer war das Studium aller jener Erscheinungen, die mit der Abtragung und Zerstörung des Gipses in Zusammenhang stehen; denn auf diesem Gebiete wurde in Franken bisher wenig gearbeitet. Wenn im folgenden von Grundgips die Rede ist, so ist damit stets der Schichtenkomplex zwischen dem Grenzdolomit und der Bleiglanzbank gemeint.

Fränkischer Grenzdolomit und Grundgips

Die Unterlage des Grundgipses bildet in unserem Arbeitsgebiet überall der gutentwickelte Fränkische Grenzdolomit, der den Lettenkohlenkeuper nach oben abschließt. Über dem Grenzdolomit liegen in der Regel bunte Mergel (Keuperletten) von mehreren Metern Mächtigkeit; dann erst folgen die Gipsablagerungen des Gipskeupers. Stellenweise fehlen die trennenden Mergel, so daß der Grundgips dem Grenzdolomit unmittelbar aufliegt. In diesem Falle zeigt der Grenzdolomit in seinen oberen Schichten eine deutliche Vergipsung, die zuweilen ziemlich tief hinuntergeht. Es besteht kein Zweifel, daß der Gips des Grenzdolomits aus dem Grundgips stammt. Gipshaltige Sickerwässer haben den porösen, luckigen, zelligen Grenzdolomit allmählich vergipst. Diese Vergipsung ist also keine primäre, sondern eine sekundäre Erscheinung. Eine Lösung des Dolomits und Verdrängung der schwer löslichen Karbonate durch Gips hat nicht stattgefunden; wir haben es nur mit einer Infiltration von Gips zu tun.

Über die Grenze zwischen Lettenkohle und Gipskeuper gehen die Ansichten stark auseinander. Die petrographischen Verhältnisse deuten darauf hin, daß sie zwischen dem weitverbreiteten Grenzdolomit und dem Grundgips bzw. dessen bunten Mergeln zu suchen ist. In paläontologischer Hinsicht freilich ist die Grenzführung etwas schwieriger; denn viele Fossilarten der Lettenkohle erscheinen bereits im Muschelkalk und gehen auch noch in den Grundgips und darüber hinauf. Auf Grund des Fossilinhaltes müßte die Grenze Lettenkohle-Gipskeuper in den Grundgips oder sogar noch etwas höher hinauf verlegt werden, wenn wir nicht die ganzen in Frage kommenden Ablagerungen überhaupt zum Muschelkalk stellen wollen. In Franken hat man aber seit Thürachs Zeiten den paläontologischen Funden im Gipskeuper keine so große Bedeutung beigemessen wie

AUG 15 1931

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

im benachbarten Württemberg. Hier legte man besonderes Gewicht auf das Auftreten der Myophoria goldfussi, die man als das wichtigste Leitfossil des Grenzdolomits ansah. Meines Erachtens hat Myophoria goldfussi als Leitfossil keinen besonders hohen Wert, da sie ja nicht auf den Grenzdolomit beschränkt bleibt, sondern wie bereits erwähnt auch im obersten Muschelkalk, in der unteren Lettenkohle, im Flammendolomit und in dem vielumstrittenen Grundgips auftritt.

Zeller (107 S. 43) leugnet das Vorkommen von Myophoria goldfussi im Grundgips, d. h. er will alle Schichten, welche dieses Fossil enthalten, insbesondere die Muschelbänke im Gips, zum Grenzdolomit gezählt wissen.

Auch die älteren württembergischen Autoren ziehen den fränkischen Grundgips wegen seiner fossilführenden Steinmergelbänke zum Grenzdolomit. Gegen diesen Versuch, den größten Teil der Gipsablagerungen Frankens zur Lettenkohle zu stellen, wandte sich bereits Thürach (88). Nach ihm ist der Gips, in dem die Muschelbänke liegen, eine primäre Bildung. In Württemberg dagegen vertrat man lange Zeit die Ansicht, daß er sekundär entstanden sein müsse durch nachträgliche Vergipsung des Grenzdolomits. Daß stellenweise eine Vergipsung stattgefunden hat, soll nicht geleugnet werden und wurde auch eingangs bereits erwähnt. Wo aber wasserundurchlässige Mergelschichten zwischen Grenzdolomit und Gips eingeschaltet sind — und das ist in Franken an vielen Stellen der Fall —, kann man von einer Vergipsung des unterlagernden Grenzdolomits nichts wahrnehmen. Der fränkische Grundgips mit seinen Muschelbänken dürfte also wirklich eine primäre Bildung sein.

Große Verwirrung entstand, als man im fränkischen Grundgips nach der in Baden und Südwürttemberg so charakteristischen Mauchach- oder Myoconchabank suchte. Über die Höhenlage dieser Bank wurden wiederholt abweichende Angaben gemacht. Nach Weigelin (100) und Pfeiffer (54) liegt sie 1,50—2 m über dem Grenzdolomit. Silber (80) gibt an, daß die Bank in einer zirka 1,50—2 m mächtigen Mergellage anzutreffen sei. Nach Frank (16) dagegen liegt die Myoconchabank 3,50 m über dem Grenzdolomit. Pfeiffer (54) wollte in Thürachs Profilen von Nordheim (III Nr. 14) und Windsheim (IV Nr. 11) die Mauchachbank wieder erkennen. Das war ein Irrtum, der dadurch entstand, daß man den schwäbischen oder Rottweiler Grenzdolomit dem fränkischen Grenzdolomit gleich erachtete. Als Klingler (38) behauptete, daß die Mauchachbank zwischen dem Rottweiler- und dem Fränkischen Grenzdolomit nach Norden zu auskeile, schloß Pfeiffer (56) sich dieser Ansicht an.

Erst Prosi[1] (60) hat durch seine Untersuchungen einwandfrei nachgewiesen, daß der Fränkische Grenzdolomit im Norden mit der Mauchach-(Myoconcha-)bank im Süden identisch ist. Die Mauchachbank liegt aber in Baden und Südwürttemberg schon mitten in Gipsablagerungen, während der ihr äquivalente Fränkische Grenzdolomit in Nordwürttemberg und Franken erst die Unterlage der mächtigen Gipsbänke bildet. Der Schwäbische und der Fränkische Grenz-

[1] Da mir die Arbeiten von Klingler und Prosi nicht zur Verfügung standen, mußte ich mich auf die Angaben von Hennig, Frank und andere stützen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

dolomit sind also streng auseinander zu halten. Der letztere ist wesentlich jünger als der erstere. Während im Süden bereits die Eindampfung der Meeresbecken und die Gipsausscheidung erfolgte, lagerten sich im Norden immer noch Sedimente der Lettenkohle ab.

Einen wichtigen stratigraphischen Horizont bilden die grünen oder grauen, auch gelbgrünen Mergel, die sowohl die Mauchach-(Myoconcha-)bank als auch den Fränkischen Grenzdolomit Nordwürttembergs unterlagern. Auch in unserem Arbeitsgebiete liegen unter dem Grenzdolomit mehrere Meter mächtige graugrüne bis gelbgrüne Mergelschichten. Diese Übereinstimmung im stratigraphischen Aufbau liefert wohl den besten Beweis, daß Fränkischer Grenzdolomit und südschwäbische Mauchachbank zur gleichen Zeit zur Ablagerung kamen und somit vollständig identisch sind.

Bisher wurde die Mauchachbank dem Grundgips zugerechnet, der Fränkische Grenzdolomit aber zur Lettenkohle gestellt. Nachdem beide Bildungen äquivalent sind, muß eine neue Grenzlinie zwischen Gipskeuper und Lettenkohle gezogen werden. Läßt man die Lettenkohle mit dem Rottweiler (schwäbischen) Grenzdolomit abschließen, so muß die Grenze in Franken nach unten verschoben und der Fränkische Grenzdolomit samt den darunter liegenden gelbgrünen Mergeln zum Gipskeuper gezogen werden. Will man aber weiterhin den Fränkischen Grenzdolomit als Abschluß der Lettenkohle gelten lassen, so muß in Baden und Südwürttemberg die Grenze so weit nach oben verlegt werden, daß die Mauchachbank noch in die Lettenkohle fällt.

Es läßt sich darüber streiten, welche Grenzführung die bessere ist. Frank (16) hat den Vorschlag gemacht, um eine Übereinstimmung mit den Verhältnissen in Baden und Südwürttemberg herbeizuführen, wo bereits unter der Mauchachbank Gips auftritt, die so viel umstrittene Zone des Fränkischen Grenzdolomits noch zum Grundgips zu stellen.

In Franken wird man sich dagegen sträuben, weil hier der Gips erst über dem Grenzdolomit auftritt und zudem, wie schon erwähnt, meist durch eine Mergelschicht von ihm scharf getrennt ist. Da wir in Franken eine dem schwäbischen Grenzdolomit vergleichbare leitende Schicht nicht haben, so wird man bei uns der bisherigen Grenzführung den Vorzug geben und auch weiterhin die Lettenkohle mit dem Grenzdolomit abschließen lassen.

Es folgen nunmehr die Profile der wichtigsten, in unserem Arbeitsgebiete beobachteten Aufschlüsse.

Profile

I. Windsheim (Bruch Haberstroh)

Hangendes: Rote, graue und grünliche Mergel

1. Gipsbank	0,45 m
2. Graue Mergel	1,25—1,30 m
3. Gipsbank	0,45—0,50 m
4. Graue Mergel	0,35—0,40 m

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

5. Gipsbank . . . . . 0,80—1,00 m
6. Graue Mergelschiefer . . . . . 1,00 m
7. Kristalline Gipslage . . . . . 0,13—014 m
8. Dünne Mergelschieferlage mit Fasergipsschnüren . . . . 0,12 m
9. Dichter, hellgrauer Gips mit dünnen Mergelstreifen in den unteren Partien . . . . . 1,90 m
10. Graue, dolomitische Mergelschiefer, nach oben zu durch Gips mehr und mehr verfestigt . . . . . 0,06—0,07 m

(f) 11. Grauer, braungefleckter, schwach toniger Steinmergel (fossilführend) . . . . . 0,06—0,08 m

12. Graue Mergelschiefer mit Fasergipsschnüren . . . . . 0,01—0,03 m
13. Dichter bis feinkörniger Gips, durchzogen von grauen Gipsspatschichten . . . . . 0,52—0,72 m
14. Gelbbrauner, überaus lockerer, oolithischer Steinmergel oder weißer Gips mit vielen kleinen, grauen, oolithischen Dolomitkörnchen und größeren, abgerundeten Dolomitstückchen (Muschelgips) . . . . . 0,07—0,23 m

(e) 15. Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, durch dünne Mergelzwischenlage geteilt (fossilführend) . . . . . 0,10—0,25 m
(Obere harte Bank zirka 0,10 m, Mergelzwischenlage 0,03—0,07 m, untere harte Bank 0,07—0,08 m.) Die Mergellagen mit Fasergipsschnüren.

16. Flasergips . . . . . 0,00—0,37 m

(b) 17. Hellgrauer, dichter bis körniger Felsengips mit Gipsspatlinsen 2,50—3,00 m

(d) 18. Grauer, oft kristalliner Gips mit Mergeleinlagerungen und Fasergipsschnüren, manchmal auch mit Steinmergelbänkchen. (Die unterste Lage stellenweise als oolithische Bank entwickelt.) . . . . . 0,20—0,30 m

(c) 19. Gelblichgrauer Steinmergel, oft stark gebogen (fossilführend). Manchmal mit Fasergipsschnüren. Die Unterseite dieser Steinmergelbank mit eigenartigen Vertiefungen, in die sich zapfenförmige Gebilde der darunterliegenden kristallinen Gipsschicht einfügen . . . . . 0,10—0,13 m

20. Gips, kristallin mit eigenartigen Zapfen . . . . . 0,02—0,04 m

(a) 21. Weißer, wenig grauer, dichter Gips (Felsengips) in mehreren Lagen. In den untersten Lagen vereinzelte gelbliche, dünne Dolomitbänkchen . . . . . 1,60—2,00 m

Liegendes: Grauer Steinmergel.

II. Windsheim (Bruch Müller)

Hangendes: Graue Mergel, nach oben mehr oder weniger in Humus übergehend

1. Dichter, hellgrauer bis weißer, gebankter Gips . . . . . 1,90—2,00 m
2. Graue, dolomitische Mergelschiefer, oben manchmal mit kleinen Gipsbänkchen (0,01—0,02 m mächtig). Darüber

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zuweilen weitere dünne Mergelschichten. Mergel mit Fasergipsschnüren . . . . . 0,05—0,09 m

(f) 3. Grauer, braungefleckter, schwach toniger Steinmergel (fossilführend) . . . . . 0,05—0,07 m

4. Graue Mergelschiefer . . . . . 0,02—0,03 m

5. Dichter Gips . . . . . 0,70—0,77 m

(e) 6. Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, durch dünne Mergelzwischenlage geteilt (fossilführend) . . . . . 0,20—0,25 m
(Obere harte Bank zirka 0,08 m, Mergelzwischenlage 0,04—0,07 m, untere harte Bank 0,10—0,12 m.) Die Mergelzwischenlagen mit Fasergipsschnüren

7. Flasergips . . . . . 0,00—0,10 m
(An einigen Stellen war der Übergang von Mergeln zum Flasergips besonders schön zu sehen.)

(b) 8. Dichter Felsengips mit vereinzelten Gipsspatlinsen . . . . 2,15—2,25 m

(d) 9. Folge von oolithischem Gips, Steinmergeln; oder Mergeln
(c) mit Fasergips und Gipsspatschichten, stark gewellt . . . 0,00—0,22 m

(a) 10. Gips mit Gipsspatschichten, nicht weiter aufgeschlossen .

III. Windsheim (Bruch Weid)

Hangendes: Keupermergel in Ackerboden übergehend

(g) 1. Dolomitisches Quarzitbänkchen, mehr oder weniger zusammenhängend, mit Fischresten . . . . . 0,00—0,02 m

2. Graue Mergel, stark verwittert . . . . . 0,30—0,32 m

3. Vereinzelte Gipsblöcke, von Mergel umgeben (sog. „Hocker") 0,62—0,80 m

4. Graue Mergel mit Fasergipsschnüren . . . . . 0,30—0,40 m

5. Gipsbänkchen . . . . . 0,02—0,04 m

6. Grauer Mergel mit gelblichen Flecken und Fasergips . . . 0,70—0,72 m

7. Gipsbänkchen . . . . . 0,08 m

8. Graue Mergelschiefer mit Fasergipsschnüren . . . . . 0,12 m

9. Dichter, weißer bis hellgrauer Gips mit dünnen Mergelstreifen in den unteren Partien . . . . . 1,86 m

10. Graue, dolomitische Mergelschiefer, nach oben Gips aufnehmend . . . . . 0,07—0,08 m

(f) 11. Grauer, braungefleckter, schwach toniger Steinmergel (fossilführend) . . . . . 0,05—0,08 m

12. Graue Mergelschiefer mit Fasergipsschnüren . . . . . 0,01—0,03 m

13. Dichter, weißer bis grauer Gips mit Gipsspatlinsen . . . . 0,74—0,76 m

(e) 14. Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, durch dünne Mergelzwischenlage geteilt (fossilführend) . . . . . 0,21—0,22 m
(Obere harte Bank 0,05—0,08 m, Mergelzwischenlage 0,03—0,04 m, untere harte Bank 0,10—0,12 m.)

15. Flasergips . . . . . 0,00—0,25 m

(b) 16. Hellgrauer, dichter bis körniger Felsengips . . . . . 2,25 m

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

(c) 17. Hell-dunkelgrauer Steinmergel oder Mergel mit Fasergipsschnüren, überaus unregelmäßig und stark gebogen . . . 0,00—0,05 m
(a) 18. Weißer bis grauer, dichter Gips (Felsengips) in mehreren Lagen, mit auffallend vielen Gipsspatlinsen. Nach unten kristallin werdend . . . . . 1,90—2,00 m
19. Grauer Steinmergel (fossilführend).

IV. Windsheim (Steinbruch am Galgenberg)

(e) 1. Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, durch dünne Mergelzwischenlage geteilt . . . . . 0,16—0,19 m
(Obere harte Bank 0,06 m, Mergelzwischenlage 0,05 m, untere harte Bank 0,07 m)
2. Flasergips . . . . . 0,00—0,25 m
(b) 3. Dichter, weißer Felsengips in mehreren Lagen . . . . . 2,25 m
(Hier zur Gewinnung von Werksteinen ausgebeutet.)

V. (Burgbernheim)

Ackererde.
1. Gips mit Lösungserscheinungen, stellenweise gewellt . . . 1,10—1,30 m
2. Graue Mergelschiefer . . . . . 0,15—0,22 m
(f) 3. Stark verwitterter Steinmergel . . . . . 0,12—0,17 m
4. Graue Mergelschiefer . . . . . 0,04—0,05 m
5. Gipslage . . . . . 0,15 m
6. Gelbliches Steinmergelbänkchen . . . . . 0,01 m
7. Gips, nach unten allmählich Bänder von Steinmergeln aufnehmend . . . . . 0,23—0,25 m
(e) 8. Grauer Steinmergel, unten abschiefernd . . . . . 0,10 m
9. Harter Steinmergel mit Spuren der Sprengwirkung durch auskristallisierten Gips . . . . . 0,21—0,25 m
(b) 10. Gips, plattig brechend . . . . . 1,50 m
11. Felsengips. . . . aufgeschlossen . . . . . 0,50 m

(VI. Nordheim (nach Thürach)

1. Weißer Gips mit grauen Mergelstreifen. . . . . 0,50 m
2. Graue schiefrige Mergel. . . . . 0,04 m
3. Weißes, stark gefaltetes Gipsbänkchen . . . . . 0,04 m
4. Graue, schiefrige, oft gipshaltige Mergel . . . . . 0,15—0,22 m
(f) 5. Grauer, braungefleckter, dolomitischer Steinmergel mit Fischschuppen . . . . . 0,08—0,11 m
6. Hellgrauer, gebänderter Gips, sehr stark gefaltet . . . . 0,30—0,48 m
7. Gelblicher, wenig gefalteter Gips . . . . . 0,17—0,02 m
8. Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel in 0,01—0,03 m dicken Bänkchen mit Myophoria goldfussi; die Bank wechselt mit Nr. 7 in der Mächtigkeit ab. . . . . 0,03—0,12 m

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

9. Weißer bis hellbrauner Gips, gefaltet . . . . . 0,50—0,60 m
(e) 10. Grauer Steinmergel in 0,01—0,03 m dicken Bänkchen . . 0,08—0,12 m
11. Flasergips . . . . . 0,00—0,25 m
(b) 12. Weiß und grau gebänderter, dichter, geschlossener Gips, etwas gefaltet . . . . . 2,25—2,30 m
(d) 13. Graue Bank, bestehend aus weißem Gips und vielen kleinen 0,2—1 mm großen, oolithischen Dolomitkörnern und einzelnen 0,01—0,03 m dicken Steinmergelbänkchen mit Myophoria goldfussi, Myophoria transversa und vielen Steinkernen kleiner Gastropoden . . . . . 0,40—0,50 m
(c) 14. Hellgraue, dolomitische Steinmergelbank mit Myophoria goldfussi, die Unebenheiten der Unterlage ausfüllend . . . 0,08—0,16 m
(a) 15. Weißer, in schönen Quadern brechender Gips mit vielen Gipsspatlinsen, nicht gefaltet . . . . . 1,95—2,00 m
16. Grauer und gelbbrauner Dolomit.

VII. Hellmitzheim (Bahnhof)

Ackererde.
1. Mehrere Meter meist graue Mergelschiefer mit einzelnen Gipsbänken.
2. Gipsbank (Plattengips) . . . . . 1,00 m
3. Gipsbänkchen (1 cm) mit dunkel gefärbten Mergelschieferzwischenlagen wechsellagernd, leicht gewellt . . . . . 0,60 m
4. Graue Mergelschiefer . . . . . 0,50 m
5. Mergelschiefer und dünne Gipsbänkchen wechsellagernd . 0,50 m
6. Gipsbänkchen, unten allmählich Mergelschieferlagen aufnehmend . . . . . 0,15 m
7. Mergelschiefer mit Gipseinlagerungen. . . . . 0,20 m
8. Plattiger Gips . . . . . 0,30 m
9. Sehr harter, oolithischer Steinmergel oder Gips mit Steinmergeleinschlüssen (fossilführend) . . . . . 0,50—0,65 m
übergehend in
10. Grauer Steinmergel . . . . . 0,14—0,20 m
(stellenweise Einlagerungen von gewelltem Gips) . . . . 0,10 m
11. Gips mit Steinmergeleinschlüssen oder Steinmergel mit Oolithen (fossilführend) . . . . . 0,20—0,30 m
12. Graue Mergelschiefer . . . . . 0,05 m
13. Graue Mergeleinlagerungen, stellenweise Gips . . . . . 0,10 m
14. Grauer Steinmergel mit vielen dünnen Gipseinlagerungen, unrein . . . . . 0,65—0,72 m
(Gips durch Sprengwirkung aufgenommen, splittrig zerfallend.)
15. Mergelschiefer . . . . . 0,02—0,03 m
(f?) 16. Steinmergel, stark zerklüftet . . . . . 0,12 m

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

17. Mergelschiefer . . . . . 0,04—0,05 m
18. Gips . . . . . 0,80—0,85 m
(e) 19. Steinmergel und Mergelschiefer . . . . . 0,04—0,11 m
20. Flasergips . . . . . 0,00—0,16 m
(b) 21. Felsengips . . . . . aufgeschlossen . . . . . 1,20 m

VIII. Hellmitzheim (neuer Bruch)

1. Mergel, mehrere Meter mächtig.
2. Plattengips . . . . . 0,90—1,00 m
übergehend in
(f) 3. Grauer, stellenweise stark zerfressener Steinmergel . . . 0,10—0,15 m
4. Gips mit Mergellagen, leicht gewellt . . . . . 0,26—0,33 m
5. Stark verfestigter Mergel . . . . . 0,06—0,07 m
(Horizontale und vertikale Fasergipsschnüre.)
(e) 6. Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, oft stark oolithisch, durch dünne Mergelzwischenlage geteilt . . . . . 0,26—0,30 m
(Obere harte Bank 0,15—0,17 m, Mergelzwischenlage 0,04 bis 0,05 m, untere harte Bank 0,10—0,12 m. Stellenweise Aufteilung in obere und untere Steinmergelbank, mit Gipsschicht als Zwischenlage.)
7. Gipslage, nur stellenweise vorhanden . . . . . 0,00—0,15 m
(Scharfe Grenze Mergel:: Gips.)
8. Unreiner Gips . . . . . 0,32—0,40 m
9. Grauer Steinmergel . . . . . 0,12—0,16 m
10. Plattiger Gips, unten durch Aufnahme von Steinmergelgeröllen allmählich oolithisch werdend, stark gebogen . . 0,90 m
11. Oolithische Lage und Steinmergel . . . . . 0,09—0,10 m
12. Grauer Steinmergel . . . . . 0,04—0,06 m
13. Flasergips . . . . . 0,00—0,21 m
(b) 14. Felsengips . . . . . 2,00—2,10 m
d?) 15. Steinmergel } ungenügend . . . . . 0,10 m
16. Gips } aufgeschlossen . . . . . 0,23 m
(c) 17. Steinmergel, mit schönen Erscheinungen der Sprengwirkung durch auskristallisierten Gips . . . . . 0,23—0,50 m
(a) 18. Felsengips . . . . aufgeschlossen . . . . . 1,50 m

IX. (Markt Einersheim)

1. Mergel und Steinmergel, stark verwittert . . . . . .
(f) 2. Grauer Steinmergel . . . . . 0,08 m
3. Blaugraue Mergel . . . . . 0,25 m
4. Gips, unten oolithisch werdend . . . . . 0,10 m
5. Gips mit Steinmergeleinschlüssen oder oolithischer Steinmergel mit viel Gips . . . . . 0,10 m
(e) 6. Grauer Steinmergel, nach unten Gips aufnehmend . . . 0,30 m

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

7. Mergelschieferlage . . . . . 0,05 m
(b) 8. Reiner Gips in mehreren Bänken . . . . . 2,40 m
9. Gips mit vielen Oolithen oder Steinmergel, oolithisch, mit Gips, nach unten mehr und mehr in Steinmergel übergehend 0,68—0,70 m
(c) 10. Grauer Steinmergel, dicht, unregelmäßig auf dem Gips auflagernd . . . . . 0,09—0,11 m
(a) 11. Felsengips . . . . . aufgeschlossen 1,68—1,70 m

X. Endsee (Bahnhof)

1. Rote Mergelschiefer } stellenweise . . . . . 2,00 m
2. Rote und grüne Mergelschiefer } mit . . . . . 0,80 m
3. Violette Mergel } Gipseinlagerungen . . . 1,30 m
4. Schiefriger Gips . . . . . 0,30 m
5. Rote, graue und andersfarbige, wenig feste Mergel . . . 3,70 m
6. Unreiner, rötlicher und bräunlicher Gips . . . . . 0,80 m
7. Graugrüne, wenig feste Mergel . . . . . 1,45 m
8. Gipsbank . . . . . 0,50 m
9. Mergelschiefer mit Gipsschnüren . . . . . 2,20—2,30 m
10. Fester Gips in zwei Bänken . . . . . 1,15—1,50 m
übergehend in
11. Gips mit Steinmergeleinschlüssen . . . . . 0,45—0,50 m
12. Stark verfestigte Mergel mit Geröllen und Fischresten . . . 0,04 m
13. Graugrüne Mergel . . . . . 0,15 m
(e?) 14. Steinmergel, stellenweise als Muschelgips (fossilführend) . . 0,70 m
15. Mergel und Gips . . . . . 0,20 m
(b) 16. Felsengips in mehreren Lagen . . . . . 5,00—5,30 m
(davon 0,00—0,10 m Muschelgips)
17. Mergel . . . . . 0,01—0,06 m
18. Gips mit Gipskristallen . . . . . 0,20—0,40 m
(a) 19. Felsengips . . . . . mehrere m

XI. (Gebsattel bei Rothenburg)

In Humus- und Schwarzerdeböden zirka 0,25 m Gips.
1. Graue Mergel . . . . . 0,17 m
(e) 2. Grauer Steinmergel . . . . . 0,11 m
3. Graue Mergel und Gips . . . . . 0,20—0,25 m
4. Graue Mergel . . . . . 0,10—0,12 m
(b) 5. Gips in mehreren Lagen . . . . . 3,50 m
(c) 6. Grauer Steinmergel, stark gebogen . . . . . 0,00—0,10 m
(a) 7. Gips in mehreren Lagen . . . . . 2,00 m
übergehend in Muschelgips
nicht weiter aufgeschlossen.

Die Aufschlüsse der eben gebrachten Profile haben verschiedene Höhenlage, sind aber in ihrer Gesteinsausbildung ziemlich gleichbleibend. Dagegen ist die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Mächtigkeit der Gips- und Mergelbänke äußerst wechselnd. Deshalb ist eine Parallelisierung mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Thürach hat versucht, alle von ihm gebrachten Gipskeuperprofile miteinander in Einklang zu bringen. Die einander entsprechenden Schichten hat er in seinen Profilen mit den gleichen Buchstaben versehen. Ich folge seinem Beispiel, wenn es auch schwer ist, in weit voneinander entfernten Aufschlüssen gleiche Schichten wieder zu erkennen. Wie sehr verschieden die Schichtenfolge selbst in benachbarten Aufschlüssen sein kann, zeigt ein Vergleich der beiden Hellmitzheimer Profile, die nur einige hundert Meter voneinander entfernt sind.

Gut brauchbar ist die von Schuster zuerst angewandte Gliederung in Platten- und Felsengips. In jedem tiefer aufgeschlossenen Gipsbruch fällt auf, daß massige Felsengipse von dünnen Bänken des Plattengipses überlagert werden. Erstere schimmern bläulich, letztere zeigen einen mehr grauen bis weißlichen Farbton. Beide werden durch Steinmergelbänke (Grind) geschieden. Der Felsengips bildet kompakte Massen, die nur selten von kleinen Steinmergelbänken unterbrochen werden.

Die Steinmergelbänke des Grundgipses

Die Steinmergelbänke des oberen Gipskeupers wurden schon öfter chemisch und petrographisch untersucht, die fossilführenden Steinmergel des Grundgipses aber in dieser Beziehung stark vernachlässigt. Dies hat mich veranlaßt, den letzteren etwas mehr Aufmerksamkeit zu schenken und einige analytische Untersuchungen vorzunehmen. Dabei stellte sich heraus, daß die Steinmergelbänke stark mit sekundär ausgeschiedenem Gips durchsetzt sind, so daß nur verhältnismäßig wenige Steinmergel ein einigermaßen richtiges Bild der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung geben können.

Zur Untersuchung wurden nur schwach vergipste bzw. gipsfreie Proben verwendet; beigemengte Gipsschüppchen und Fasergipsschnüre wurden nach Möglichkeit zuvor entfernt.

Die Analysen hatten folgendes Ergebnis:

Probe I

Mergelzwischenlage aus dem hellgrauen, dolomitischen Steinmergel, Profil III Nr. 14 (Windsheim, Bruch Weid)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	15,50	$CaCO_3$	27,67
MgO	9,68	$CaSO_4$	Spur
Fe_2O_3	2,34	$MgCO_3$	20,32
Al_2O_3	7,80	Fe_2O_3	2,34
SO_3	Spur	Al_2O_3	7,80
SiO_2	24,08	SiO_2	24,08
Unlöslich	14,75	Unlöslich	14,75
Glühverlust	25,71	H_2O	2,90
	99,86%		99,86%

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Probe II

Graue, dolomitische Mergelschiefer, Profil III Nr. 10
(Windsheim, Bruch Weid)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	13,92	$CaCO_3$	24,85
MgO	8,58	$CaSO_4$	Spur
Fe_2O_3	2,31	$MgCO_3$	18,01
Al_2O_3	3,78	Fe_2O_3	2,31
SO_3	Spur	Al_2O_3	3,78
SiO_2	33,30	SiO_2	33,30
Unlöslich	17,71	Unlöslich	17,71
Glühverlust	21,06	H_2O	0,70
	100,66%		100,66%

Probe III

Grauer, braungefleckter, schwach toniger Steinmergel, Profil III Nr. 11
(Windsheim, Bruch Weid)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	23,31	$CaCO_3$	41,62
MgO	14,59	$CaSO_4$	Spur
Fe_2O_3	2,06	$MgCO_3$	30,63
Al_2O_3	3,10	Fe_2O_3	2,06
SO_3	Spur	Al_2O_3	3,10
Unlöslich	20,40	Unlöslich	20,40
Glühverlust	35,69	H_2O	1,34
	99,15%		99,15%

Probe IV

Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, Profil I Nr. 15, oberste Schicht
(Windsheim, Bruch Haberstroh)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	24,18	$CaCO_3$	43,08
MgO	16,54	$CaSO_4$	Spur
Fe_2O_3	1,82	$MgCO_3$	34,73
Al_2O_3	1,58	Fe_2O_3	1,82
SO_3	Spur	Al_2O_3	1,58
SiO_2	11,16	SiO_2	11,16
Unlöslich	5,69	Unlöslich	5,69
Glühverlust	38,45	H_2O	1,35
	99,42%		99,42%

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Probe V

Hellgrauer, dolomitischer Steinmergel, Profil I Nr. 15, unterste Schicht (Windsheim, Bruch Haberstroh)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	28,08	$CaCO_3$	47,50
MgO	18,15	$CaSO_4$	3,60
Fe_2O_3	1,33	$MgCO_3$	38,11
Al_2O_3	1,07	Fe_2O_3	1,33
SO_3	2,12	Al_2O_3	1,07
SiO_2	5,68	SiO_2	5,68
Unlöslich	2,59	Unlöslich	2,59
Glühverlust	40,93	H_2O	0,07
	99,95%		99,95%

Probe VI

Gelblichgrauer Steinmergel Profil I Nr. 19 (Windsheim, Bruch Haberstroh)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	26,64	$CaCO_3$	46,21
MgO	18,19	$CaSO_4$	1,85
Fe_2O_3	1,50	$MgCO_3$	38,19
Al_2O_3	1,05	Fe_2O_3	1,50
SO_3	1,09	Al_2O_3	1,05
SiO_2	6,79	SiO_2	6,79
Unlöslich	4,06	Unlöslich	4,06
Glühverlust	40,41	H_2O	0,08
	99,73%		99,73%

Probe VII

Grauer Steinmergel Profil I Liegendes (Windsheim, Bruch Haberstroh)

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	27,72	$CaCO_3$	46,55
MgO	17,90	$CaSO_4$	4,01
Fe_2O_3	1,47	$MgCO_3$	37,59
Al_2O_3	0,59	Fe_2O_3	1,47
SO_3	2,36	Al_2O_3	0,59
SiO_2	5,40	SiO_2	5,40
Unlöslich	3,67	Unlöslich	3,67
Glühverlust	40,45	H_2O	0,28
	99,56%		99,56%

Wie aus vorstehenden chemischen Analysen hervorgeht, handelt es sich bei unseren Mergeln und Steinmergeln durchweg um dolomitische Gesteine. Die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

wesentlichen Komponenten sind $MgCO_3$, $CaCO_3$, Tonerde und SiO_2 (feinster Sand). Daneben enthalten sie noch kleinere Mengen von Fe_2O_3 bzw. $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, Phosphate und Sulfide. Einige Bänke enthalten auch etwas primären Anhydrit bzw. Gips.

Harte Steinmergelbänke und weiche, schüttige Mergel wechsellagern mit Gips. Die harten Steinmergel enthalten mehr Karbonate, die Mergel dagegen mehr tonige Bestandteile. Feinkörnige, dolomitische Gesteine mit 5—35% Tongehalt dürfen wir als Steinmergel bezeichnen. Überschreitet aber der Tongehalt 35%, so verliert das Gestein seine Festigkeit und geht in gewöhnliche Mergel über. Die weichen Schichten verwittern viel leichter als die harten Bänke, weshalb die letzteren im Steinbruch gewöhnlich gesimsartig hervortreten. Weiche Mergel zeigen schilferigen, harte Steinmergel dagegen glatten, oft muscheligen Bruch. Die Farbe ist meist grau bis grünlich, seltener sind rote und violette Mergel. Solche finden sich besonders in höheren Lagen und enthalten dann nur noch wenig Gipseinlagerungen.

Die feste Beschaffenheit der Steinmergel, das Fehlen aller Anzeichen einer nachträglichen mechanischen Sackung und von Schwundrissen verrät, daß der Dichtezustand sich nach der Ablagerung nur noch wenig geändert hat. Außer vereinzelten organischen Resten enthalten die Steinmergel Bleiglanz, Zinkblende und Zersetzungsprodukte von Eisenkies. Ferner zeigen manche Bänke kleine Einsprenglinge von grauem Anhydrit und Gips, die leicht auswittern, wodurch dem Gestein ein eigentümliches, löcheriges Aussehen verliehen wird. Besonders auffallend sind Oolithe, die in vielen Steinmergeln in großer Menge beobachtet werden können.

Unter dem Mikroskop erweisen sich die Steinmergel als äußerst feinkörnig. Die feinen Schüppchen und Körnchen sind nicht oder nur sehr wenig miteinander verwachsen. In der feinkörnigen Grundmasse liegen vereinzelte Erzkörner, hauptsächlich Bleiglanz und Zinkblende, aber auch Eisenerze, die von einem Oxydationshof umgeben sind. Die eingeschlossenen Muschelschalen sind sämtlich in Gips umgewandelt. Die Vergipsung kann ebensogut primär als sekundär erfolgt sein. Genaueres läßt sich hierüber nicht sagen. Die schon erwähnten kleinen, dunklen Einsprenglinge von Anhydrit und Gips dürfen wir aber sicher als primäre Bildung ansehen; denn sie sind so fest mit dem Steinmergel verzahnt, daß eine nachträgliche Ausfüllung von später entstandenen Hohlräumen wohl ausgeschlossen ist. Wahrscheinlich handelt es sich um Kristallisationen, die den Beginn der späteren Anhydritbildung andeuten.

Die bereits erwähnten Oolithe sind mehr oder weniger rund. Sie bestehen aus demselben feinkörnigen Material wie die Hauptmasse des Gesteins und müssen daher als Pseudo-Oolithe bezeichnet werden. Durch ihre dunklere Färbung heben sie sich aber deutlich ab. Wahrscheinlich sind sie bitumenreicher als das umgebende Gestein; damit kann auch die Tatsache erklärt werden, daß sie viel schwerer verwittern. Die Pseudo-Oolithe sind fast durchweg dicht. Eine dunklere Außenzone (Pigmenthülle) umschließt einen helleren Kern. Nur in den seltensten Fällen enthalten sie kleinere oder größere Körner von Anhydrit bzw. Gips. In

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Hauptsache dürften die Oolithe anorganische Bildungen sein. Die dunkle Färbung dürfte darauf hinweisen, daß die Bildung in einer an organischen Kolloiden reichen Masse erfolgte.

Die Entstehung der dolomitischen Steinmergelbänke

Die Entstehung des Dolomits ist ein Problem, das trotz vieler Laboratoriumsversuche bis heute noch nicht restlos gelöst ist. Die älteren Autoren glaubten, daß zur Bildung des Dolomits hoher Druck bzw. hohe Temperaturen unbedingt erforderlich seien. Nach Pfaff (53) soll in Meerestiefen, die einem Druck von 40—200 Atmosphären entsprechen, durch die Einwirkung von Magnesiumsalzen auf kohlensauren Kalk bei gleichzeitiger Anwesenheit von NaCl eine Dolomitisierung erfolgen, deren Intensität mit der Stärke der Konzentration des Meereswassers zunimmt. Alle dolomitischen Gesteine, die mit Gips und Steinsalz vergesellschaftet sind, sollen auf diese Weise entstanden sein. Dazu würden also auch die Steinmergelbänke des Grundgipses gehören. Die fossilen Einschlüsse lassen aber erkennen, daß wir es hier nicht mit der Bildung eines tiefen Meeres zu tun haben. Auch die neueren Meeresforschungen haben ergeben, daß Dolomit nur in Meeren mit geringer Tiefe sich bildet.

H. Fischer (12), Linck und seine Schüler (1) haben durch ihre Untersuchungen nachgewiesen, daß die allermeisten Dolomite keine primäre Bildung darstellen, sondern als Umwandlungsprodukte anderer Sedimente anzusprechen sind. H. Fischer (12) konnte feststellen, daß selbst unter extremsten Verhältnissen (stärkste Konzentration und höchste Temperatur) aus Meerwasser durch den Einfluß von Ammonkarbonat nur wenig $MgCO_3$ primär ausgefällt werden kann. Auf diese Weise können also wohl schwach dolomitische Mergel entstehen, nicht aber Steinmergel und Dolomite.

Linck (44) erhielt aus einer Lösung $MgCl_2$, $MgSO_4$ durch Vermischung mit einer Lösung von $(NH_4)_2CO_3$ und Zugabe von gelöstem $CaCl_2$ einen gallertigen Niederschlag, der beim Erwärmen kristallin wurde. Die chemische Analyse ergab eine ähnliche Zusammensetzung, wie sie der natürliche Dolomit zeigt. Trotzdem hatte Linck nicht Dolomit, sondern nur ein Mischsalz Calcium-Magnesiumkarbonat gewonnen, das ausschließlich aus runden oder ovalen, z. T. unvollkommen ausgebildeten Sphärolithen bestand. Dieselben erinnern uns an die bereits erwähnten Oolithe mancher Steinmergelbänke.

Klements Erklärungsversuch (37) setzt das Vorhandensein eines festen kalkreichen Bodenkörpers voraus. Nach ihm entsteht Dolomit durch Einwirkung konzentrierter Lösungen von $MgSO_4$ auf Aragonit bei gleichzeitiger Anwesenheit von konzentriertem NaCl und hoher Temperatur. Diese Bedingungen sollen in der Natur gegeben sein, wenn vom offenen Meere abgeschnürte Wasserbecken sich stark erhitzen und konzentrieren. Für die Verhältnisse zur Zeit der Ablagerungen des Grundgipses wäre eine solche Erklärung wohl denkbar. Die Ausfällung von Gips bzw. Anhydrit beweist, daß eine erhebliche Konzentration der Salzlösungen stattgefunden hat. Der Ausscheidung des Gipses (Anhydrits) aber

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

muß die Ausfällung der Eisensalze und des kohlensauren Kalkes vorausgegangen sein. Dadurch wird der Bodenkörper geschaffen, auf den im Sinne Klements die konzentrierten Salzlösungen ($MgSO_4$, NaCl) einwirken könnten, um schließlich Dolomit zu erzeugen. Ob aber die hohen Wassertemperaturen (über 60°), die Klement zur Dolomitbildung benötigt, in der Natur ebenfalls gegeben waren, ist äußerst fraglich. Vielleicht spielt ein bisher wenig beachteter Faktor eine große Rolle, nämlich die Zeit.

Wie gesagt, die Entstehung des Dolomits ist noch nicht ganz geklärt. Jedenfalls wirken dabei die verschiedensten Faktoren zusammen:

Kalkhaltiger Bodenkörper,
organische und anorganische Kolloide,
große Mengen von Ammoniak und Ammonsalzen, sonstige organische Stoffe und Verbindungen,
Konzentration der Salze, hauptsächlich der Mg-Salze,
hohe Temperatur und hoher Druck.

Bei der Dolomitbildung der Steinmergel des Grundgipses spielen nach meinem Dafürhalten Ammoniak und Ammonsalze eine ganz besonders wichtige Rolle. Dies geht auch daraus hervor, daß alle Versuche Lincks, kalkige Bodenkörper durch Mg-Salze in Dolomit zu verwandeln, ergebnislos verliefen, sobald Ammoniak ausgeschaltet wurde.

Ammonsalze bilden sich bekanntlich bei der Verwesung organischer Stoffe. Solche müssen auch im Schlamm des Grundgipsmeeres in großer Menge vorhanden gewesen sein. In der Tat finden wir in den Steinmergeln Reste von Fischen und Bivalven. Die merkwürdigen, rhizocorallienähnlichen Wülste beweisen das Vorhandensein von Würmern, die im Schlamm ihre Gänge gegraben haben. Wie groß aber mag erst das Heer der Organismen gewesen sein, die ohne Hinterlassung von Resten oder Lebensspuren im Meere zugrunde gingen? Nicht zu unterschätzen ist vor allem auch die Tätigkeit der Bakterien, die selbst bei verhältnismäßig weit fortgeschrittener Konzentration des Meerwassers immer noch Kalk abscheiden können. Auch die Schwermetallsulfide: Bleiglanz, Zinkblende und die Zersetzungsprodukte des Eisenkieses, die wir in den Steinmergeln finden, beweisen, daß eine Verwesung organischer Körper stattgefunden haben muß, wodurch H_2S, CO_2, Ammoniak und Ammonsalze in großen Mengen entstanden.

Der Schlamm des Meeresbodens, aus dem sich später die Steinmergelbänke bildeten, bestand wohl zu einem großen Teil aus organogenem Fällungskalk, der stark mit organischen Kolloiden und Ammonsalzen durchsetzt war. Möglicherweise enthielt er auch schon geringe Mengen von kohlensaurem Magnesium. Die eigentliche Dolomitisierung des Sediments dürfte aber erst begonnen haben, als mit der fortschreitenden Eindampfung des Meerwassers eine starke Konzentration der Salze eintrat. Dies scheinen mir auch die zahlreichen Gips- bzw. Anhydriteinsprenglinge zu beweisen, die in den Steinmergeln auftreten. Die durch die Verwesungsprozesse gebildeten Ammonsalze, insbesondere das Ammonkarbonat wirkten nun auf $MgSO_4$ und $MgCl_2$ zersetzend ein, es entstand $MgCO_3$,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

das als Bikarbonat in Lösung blieb. Durchtränkten nun diese Mg-Bikarbonatlösungen den organogenen Kalkschlamm, so mußten sie mit den Gelen und Kolloiden in Berührung kommen, worauf sie absorbiert wurden. Nach den Ergebnissen der kolloidchemischen Forschung gilt es als sicher, daß dort, wo Gele in Ablagerungen sich anreichern, basisches Magnesiumkarbonat dem Wasser entnommen wird.

In welcher der drei uns bekannten Modifikationen der kohlensaure Kalk in dem kalkigen Bodenkörper vorlag, läßt sich heute nicht mehr feststellen.

Die Gipsablagerungen

Wie schon im stratigraphischen Teil ausgeführt wurde, zeigt der Gips der Grundgipsschichten eine zweifache Ausbildung. Die unteren, massigen Felsengipse sind ziemlich einheitlich in Farbe und Struktur. Die weniger mächtigen Lagen des Plattengipses zeigen eine Wechsellagerung vieler heller und dunkler Gipsbänder. Einige Gipsbänke enthalten als besonders auffällige Erscheinung große idiomorph ausgebildete Gipskristalle. Unter dem Mikroskop ist das Gefüge des Gipses grano-lepidoblastisch. Der Felsengips ist weniger grobkörnig als der Plattengips. Beim Anschliff des letzteren treten verschiedenfarbige kleine Bänder auf, die jedoch im Dünnschliff wieder verschwinden. Wahrscheinlich ist dies auf Unterschiede in der Dichte des Gesteines zurückzuführen. Auffallend sind die häufigen Einschlüsse von Anhydrit, die auch Thürach, Weigelin und Fischer aus dem Grundgips angeben. Hier handelt es sich offenbar um Reste, die bei der Umwandlung des Anhydrits in Gips übriggeblieben sind. Daß eine solche Umwandlung nachträglich stattgefunden hat, beweisen auch die häufigen, wellenförmigen Biegungen der Gipslager.

Die Bildung des Anhydrits

Bis zum Jahre 1900 bestand allgemein die Anschauung, daß Anhydrit sich nur bei sehr hoher Temperatur bilden könne; denn künstliche Herstellung gelang nur, wenn die mit NaCl gesättigte Gipslösung einer stärkeren Erhitzung ausgesetzt wurde. Heute weiß man, daß die Natur solch hohe Wärmegrade nicht benötigt, um Anhydrit zu erzeugen. Die höchste Temperatur des Meereswassers wird in der Gegenwart mit 35°C angegeben. Wir dürfen mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daß diese Höchsttemperatur auch in der geologischen Vergangenheit nicht wesentlich überschritten wurde.

Nach Arrhenius und Lachmann (3) erreicht die Temperatur bei der Bildung der Salzlagerstätten niemals 25°, vermutlich sogar niemals 20°. Die Umwandlung primär ausgeschiedenen Gipses in Anhydrit vollzieht sich nach van't Hoff und Weigert (92) bei gleichzeitiger Anwesenheit konzentrierter Chlornatriumlösungen bei 25°. Bei einer Temperatur über 25° fällt $CaSO_4$, bei Anwesenheit von NaCl-Lösungen sofort als Anhydrit aus. Es steht fest, „daß man von 25° an bei der natürlichen Salzlagerbildung im wesentlichen mit Anhydrit zu tun hat und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

das Auftreten von Gips unberücksichtigt bleiben kann. Wir haben deshalb mit einem Mittelwert 30° als Bildungstemperatur von Anhydrit bei Anwesenheit von Chlornatrium gerechnet."

Wenn Kochsalz nicht vorhanden ist, so ist eine Temperatur von mindestens 65° erforderlich, um Gips in Anhydrit zu verwandeln.

Übertragen wir das auf den Grundgips, so folgt daraus, daß ohne Anwesenheit von NaCl eine Überlagerung mit mindestens 1500 m Deckschichten angenommen werden müßte, um die zur Umwandlung primär ausgeschiedenen Gipses notwendige Temperatur zu erzeugen. Wir dürfen aber annehmen, daß im Grundgipsmeer sich nicht nur Gips, sondern auch Chlornatrium ausgeschieden hat. Wenn auch jetzt der größte Teil des leicht löslichen Steinsalzes und der Kalisalze namentlich in den oberen Schichten nahezu vollständig verschwunden ist, so verrät sich doch der Salzgehalt des Bodens durch gelegentliche Salzausblühungen und salzhaltige Quellen. Wir wissen nun nach den Untersuchungen van't Hoffs und seiner Schule, daß bei Anwesenheit von Steinsalz eine Umwandlung des Gipses in Anhydrit schon bei 30° erfolgen kann. Das würde etwa einer Gesteinsdecke von 700 m Mächtigkeit entsprechen. Nies (51) hat die Anhydritbildung des Grundgipses auf ähnliche Weise zu erklären versucht; denn er spricht von einer Versenkung der Schichten bis zu der zur Erhöhung der Temperatur notwendigen Tiefe und hierdurch bedingten Umwandlung des Gipses in Anhydrit.

Meines Erachtens ist aber die Annahme einer so gewaltigen Schichtenfolge über dem Grundgips gar nicht notwendig. Wir können die Bildung des Anhydrits ja auf viel einfachere Weise erklären, wenn wir annehmen, daß im Grundgipsmeer bei einer Temperatur von 25—30° Anhydrit sich primär abgelagert hat. Daneben mag gleichzeitig eine Umwandlung des bereits vorhandenen wasserhaltigen Gipses, der bei tieferer Temperatur zur Ausscheidung kam, in Anhydrit stattgefunden haben, und zwar unter dem Einfluß konzentrierter NaCl-Lösungen, die sicher vorhanden waren.

Die Entstehung der Gipslager

Über das Zustandekommen der mächtigen Gipslager im Grundgips gehen die Meinungen noch stark auseinander. Thürach (88) führt sie auf die Verdunstung eines Binnenmeeres zurück, in welches zeitenweise der Ozean eindrang (Steinmergelbänke).[1] Auch Weigelin (100) vertritt eine solche Anschauung. Dem kann entgegengehalten werden, daß durch Eindampfung eines abgeschnürten Meeres unmöglich solch mächtige Gipsablagerungen erfolgen können; denn 1000 m Meerwasser würden heute beim Verdunsten erst 1 m Gips zurücklassen. Wir müßten also ungeheuerliche Tiefen annehmen, wenn wir die Entstehung der 6—8 m mächtigen Gipslager auf diese Weise erklären wollten.

Die eingeschlossene Fauna der Steinmergel zeigt aber, daß die Sedimente des Grundgipses Ablagerungen eines Flachmeeres sind. Deshalb erklären Fraas (15),

[1] Eine ständige Verbindung mit dem offenen Meere durch eine kleine Pforte wird von Thürach nicht angenommen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Pfeiffer (54) und Silber (80) die Gipslager als Absätze großer Lagunen, in welche der Rest des Salzgehaltes des Muschelkalkmeeres, der noch im Boden steckte, zusammengeschwemmt wurde. Gips und Salz sollen durch Regenwasser im Boden gelöst, die Lösung kapillar an die Oberfläche gesaugt worden sein, wobei das verdunstende Wasser Gips und Steinsalz als Ausblühungen zurücklassen mußte, die bei neuen Regengüssen wiederum gelöst und schließlich in die germanische Senke verfrachtet wurden.

Gegen diese Art der Erklärung lassen sich ebenfalls verschiedene Einwände vorbringen; denn es tauchen Fragen auf, die schwer zu beantworten sind. Warum nahm der stark ausgetrocknete Boden mit den Niederschlägen nicht auch die ausgeblühten Salze wieder auf? Wie konnten die geringen Mengen von Gips und Salz, die das sich zurückziehende Muschelkalkmeer hinterließ, solche mächtigen Gipslager bilden?

Die beste Erklärung liefert nach meiner Meinung die Ochseniussche Barrentheorie und die Annahme der Existenz eines Unter- und Oberstroms. Nach dieser Theorie brachte ein Oberstrom von der Rhonesenke her das Meerwasser in die Becken, worin nach erfolgter Konzentration der Gips zur Ausfällung kam. Der Unterstrom dagegen führte die leichter löslichen Salze wieder dem offenen Meere zu. Ein Teil des Gipses mag allerdings auch vom Festlande stammen; denn sicher haben die Flüsse ebenfalls gelösten Gips in die Senken und Becken getragen.

Die zwischen den Gipslagern eingeschalteten Steinmergelbänke führe ich mit Thürach u. a. auf gelegentliche Einbrüche des Ozeans zurück.

Als die Abschnürung vom offenen Meere eine vollkommene wurde, zogen sich die salzhaltigen Wasser in die tiefsten Teile des großen Beckens zurück und wurden dort allmählich vollständig eingedampft. Es darf wohl angenommen werden, daß auch bei uns in Franken Kochsalz und vielleicht auch Kalisalz ausgeschieden wurde, wenn wir dieselben auch nicht mehr gut nachweisen können. Die Salzlager fielen einer späteren Auslaugung bis auf geringe Reste zum Opfer und nur einige salzhaltige Quellen verraten uns ihre ehemalige Existenz.

Die Lagerungsverhältnisse des Grundgipses

Die Schichten des Grundgipses streichen in unserem Gebiet nicht überall gleichmäßig durch, sondern keilen oft plötzlich aus und werden durch Mergel ersetzt. Manche Autoren (Nies 51, Schuster 76) glauben deshalb, der Gips habe sich in Form von Linsen in Vertiefungen des Meeresbodens abgelagert. Andere (Thürach 87, Wagner 99 usw.) sind der Ansicht, daß die Gipsablagerungen erst nachträglich durch Verkarstung in einzelne Stöcke zerschnitten worden seien, so daß wir heute nur noch die Reste eines früher einheitlichen Gipsflözes vor uns hätten. Auch ich bin der Meinung, daß die sogenannten Gipslinsen oder Gipsstöcke ursprünglich unter sich zusammenhingen.[1] Sie bildeten einst die Ausfüllung der tiefsten Senke des ehemaligen abgeschnürten Meeresbeckens. Diese Senke hatte eine sehr unregelmäßige Form, war bald schmäler, bald breiter

[1] Vgl. die oben gegebenen Profile.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

und besaß dementsprechend gewaltige Ein- und Ausbuchtungen. An den tiefsten Stellen (wohl in der Mitte des Beckens) mußten naturgemäß die mächtigsten Gipsablagerungen erfolgen. Gegen den Rand der großen Senke mußten die Gipsbänke immer schwächer werden. Wo aber Bodenschwellen (bestehend aus früher abgelagerten Mergelschichten) landzungenartig ins Beckeninnere vorsprangen, da konnte überhaupt keine Gipsausscheidung stattfinden. So lassen sich ganz ungezwungen die auffallenden Mächtigkeitsschwankungen, sowie das häufige Auskeilen und Wiederauftauchen der Gipsschichten erklären. Später kam dazu noch eine weitgehende Verkarstung, die einzelne Teile vom Hauptstock loslöste, so daß sie heute in Form von Linsen im Mergel eingesprengt erscheinen.

Die mächtigsten Gipslager befinden sich bei Windsheim, Hellmitzheim und Endsee. In den dortigen Steinbrüchen lassen sich darum auch die eigenartigen Lagerungsverhältnisse des Grundgipses am besten studieren. In den dazwischen liegenden Gebieten ist der Gips nur geringmächtig entwickelt; an vielen Orten fehlt er vollständig. Der tiefste Punkt des alten Meeresbeckens dürfte bei Windsheim gewesen sein. Ganz zutreffend vergleicht Schuster die Form des in unserem Arbeitsgebiete abgelagerten Gipses mit einer Schaufel, deren Stielansatz bei Windsheim liegt.

Petrogenese einiger Bänke

Die Muschelgipse

Wegen ihres großen Fossilreichtums verdienen die sogenannten Muschelgipsbänke ganz besondere Beachtung. Sie treten stratigraphisch in verschiedenen Höhenlagen auf und lassen sich nicht auf große Entfernungen hin verfolgen, weil sie gewöhnlich sehr rasch wieder auskeilen. Während in den Steinmergeln Versteinerungen nur selten auftreten — eine Ausnahme bildet Myophoria goldfussi —, drängt sich in den Muschelgipsbänken fast die gesamte Fauna des Grundgipses auf engem Raume zusammen. Ihren Namen verdanken die Bänke den zahlreichen kleinen und allerkleinsten Schnecken, welche von den Steinbrucharbeitern als „Muscheln" bezeichnet werden.

Der Muschelgips ist petrographisch keine einheitliche Bildung; denn bald setzt sich das Gestein aus mehr oder weniger stark gipshaltigen Steinmergeln zusammen, bald besteht es aus Gips, dem wechselnde Mengen von karbonatischen Bestandteilen in Form von Oolithen und kleinen, abgerundeten Steinmergelresten beigemengt sind. Zuweilen finden sich in diesem Gips auch größere Steinmergeltrümmer, die sich leicht herauslösen lassen.

Der typische Muschelgips zeigt unter dem Mikroskop in einer granoblastischen Gipsgrundmasse zahlreiche Dolomitkörnchen, Oolithe und Schneckchen, vereinzelt auch Anhydritreste. Die Oolithe sind meist vollkommen rund und aus mehreren konzentrischen Schalen zusammengesetzt. Gewöhnlich umhüllt eine dunklere Zone einen helleren Kern, doch kommt zuweilen auch der umgekehrte Fall vor. Manchmal sind mehrere Oolithe zusammengewachsen und von einer gemeinsamen Hülle umschlossen. Nicht selten erscheinen kleine, längliche Stein-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

mergelstückchen, die vollständig mit Gipskristallen erfüllt sind. Möglicherweise verdanken diese eigenartigen Gebilde ihre Entstehung kalkabscheidenden Algen. Ebenso häufig sind abgerundete Stückchen und Oolithe, die durchgehende Risse mit Gipsausfüllung zeigen. Wahrscheinlich handelt es sich hier um rein mechanische Sprengwirkung, hervorgerufen durch den Volumendruck des in feinen Spältchen auskristallisierenden Gipses. Die Karbonateinschlüsse sind in der Regel am Rande glatt und nur selten korrodiert. Mitunter besitzen sie eine Gipshülle, welche aus senkrecht zur Oberfläche gestellten Kriställchen besteht.

Wie ist nun dieser Muschelgips entstanden?

G. Fischer (11) glaubt, daß eine metasomatische Verdrängung von Karbonat durch Gips stattgefunden habe. Wegen des Vorkommens von kleinen Anhydritresten nimmt er eine direkte Metasomatose Anhydrit-Erdalkalikarbonate an. Diese Deutung scheint mir nicht richtig zu sein; denn wenn wirklich eine metasomatische Verdrängung vorläge, dürften die Steinmergeleinschlüsse sich nicht so leicht aus der Grundmasse herauslösen lassen als es tatsächlich der Fall ist. Sie müßten mit dem Gips viel fester verwachsen sein, ja sogar in ihn übergehen. Der Gips erscheint aber lediglich als Bindemittel, das die Steinmergelstückchen und Steinkerne der Fossilien zusammengekittet hat.

Man könnte auch annehmen, daß eine Vergipsung der Steinmergel durch eingedrungenes, gipshaltiges Wasser und eine mechanische Zerreißung und Lockerung des Gesteins durch die Ausdehnung des auskristallisierten Gipses stattgefunden habe. Am natürlichsten aber erscheint mir die Annahme, daß die fossilreichen gipsführenden Steinmergelbänke und die sogenannten Muschelgipse Strandbildungen darstellen. Die Brandung des Meeres (Einbruch einer neuen Meerestransgression) mag an geeigneten Stellen abgerundete und leicht bewegliche Gesteinstrümmer (zerstörte Steinmergelbänke) und die mit Schlamm erfüllten Gehäuse abgestorbener Meerestiere in großen Mengen zusammengeschwemmt haben. Je nachdem nun diese lockeren Ablagerungen später mit Kalkschlamm zugedeckt oder durch Gips (Anhydrit) verkittet wurden, mußten daraus fossilreiche Steinmergelbänke oder Muschelgipse entstehen. Man kann also die Bildung dieser merkwürdigen Schichten auch ohne Zuhilfenahme einer Metasomatose erklären.

Der Flasergips

Die durch die Mergelstreifen stark verunreinigten Gipsschichten hat Thürach mit dem Namen „Flasergips" bezeichnet. Sie sind fast in jedem Steinbruch zu sehen; doch ist ihre Mächtigkeit großen Schwankungen unterworfen. Stellenweise sind sie überhaupt nicht zur Ausbildung gekommen. Die Struktur des Flasergipses ist pseudobrecciös. Die unregelmäßig geformten Gipstrümmer sind von einer Mergelhülle umgeben. Von Anhydrit ist im Dünnschliff keine Spur zu entdecken. Offenbar ist der primär abgeschiedene Anhydrit vollständig in Gips umgewandelt.

Nach Thürach sind die Flasergipse dadurch entstanden, daß heftig einströmendes Meerwasser die bereits gebildeten Gipsschichten aufwühlte und zerstörte

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

und die Trümmer mit Mergeln vermengte. Diese Deutung dürfte richtig sein; denn überall da, wo Flasergips auftritt, zeigen die unterlagernden Gipsschichten eine unregelmäßige Oberfläche. Über horizontal gelagertem, unversehrtem Gips treten dagegen keine Flasergipse auf.

Das Quarzitbänkchen von Windsheim

In Profil III tritt ein gelbliches, grobkörniges, dolomitisches Sandsteinbänkchen auf, in dem vereinzelte Fischreste gefunden werden (Nr. 1). Dasselbe dürfte mit der Schicht übereinstimmen, die Thürach von den Gipsbrüchen bei Opferbaum und Bergtheim (Profil II Nr. 12) angibt. Das Bänkchen liegt in Mergel eingebettet und setzt sich aus vielen kleinen, meist bikonvexen Linsen zusammen. Das Material besteht, wie Dünnschliffe erkennen lassen, aus kleinen Mergelgeröllen und mehr oder weniger abgerundeten, kaum verzahnten Quarzkörnern, die durch mergeliges Zement fest verkittet sind. Wahrscheinlich handelt es sich um die Ausfüllungen ehemaliger Rippelmarken.

Paläontologischer Teil

Fossile Wurmröhren von Rhizocoralliden

Die Steinmergelbänke des Grundgipses sind manchmal (Profil III Nr. 11 und 14) auf der Unterseite mit eigenartigen Wülsten bedeckt, für die man keine andere Erklärung weiß, als daß es ausgefüllte Wurmröhren sein müssen. Diese Bildungen verlaufen ganz unregelmäßig und teilweise überlagern sie einander. Hebt man eine Platte des Gesteins von der Unterlage ab, so sieht man deutlich, wie die Wülste in den weichen Mergeln der liegenden Schicht eingebettet sind. Gewöhnlich sind sie fest mit dem Hangenden verwachsen und gehen ohne erkennbare Grenze in den Steinmergel über; zuweilen aber liegen sie frei und lassen sich dann leicht aus dem Liegenden herausnehmen.

Andere organische Reste sind in den Steinmergeln mit Rhizocoralliden-Wülsten selten; nur hier und da erscheint eine Myophoria goldfussi oder ein kleiner Knochenrest. Der größere Teil der Wülste ist unregelmäßig schlangenförmig gewunden, manchmal auch verzweigt. Andere sind so stark gekrümmt, daß die beiden Enden sich kreuzen und einander überlagern.

Seltener sind U-förmig gebogene Wülste mit einem Verbindungsstück, der sogenannten Spreite.

Die schlangenförmig gewundenen Wülste sind auf ihrer Oberfläche mit erhabenen Netzstreifen versehen, die bald größere, bald kleinere Maschen bilden. Ähnliche Bildungen sind in der Literatur beschrieben unter dem Namen: Rhizocorallium jenense Zenker. Ursprünglich als Hornschwämme gedeutet, erblickt man heute in ihnen fast allgemein die ausgefüllten Röhren eines wurmartigen Tieres.

Die Entstehung der netzigen Streifung ist noch nicht ganz geklärt. Die meisten Forscher halten die Netzskulptur, die nur oberflächlich ist und sich nicht ins Innere erstreckt, für Scharr- oder Kratzspuren (Fuchs 18 S. 421, Douvillé 10

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

S. 369—370). Reis (63) S. 249 glaubt, daß sie von den grabenden Tieren absichtlich hervorgerufen seien, um rauhe Stellen für den Einbau der anorganisch-organischen Röhrenhülle zu gewinnen.

Die rezenten Rhizocoralliden bohren sowohl im festen Gestein, als auch im weichen Schlamm und im lockeren Sand. Unsere Bildungen dürften wohl auf die wühlende Tätigkeit von Schlammbewohnern zurückzuführen sein. Im zähen plastischen Schlamm können sie bei ihrer Wühlarbeit wohl Kratzspuren hinterlassen haben; daß aber durch Kratzen die charakteristische Netzskulptur entstanden sein soll, das will doch nicht recht einleuchten. Wir müssen daher nach einer anderen Entstehungsmöglichkeit Ausschau halten. Bekanntlich kleiden viele rezente Rhizocoralliden ihre Röhren mit Schleimhäuten aus, um dem Bau eine gewisse Festigkeit zu verleihen. So erwähnt z. B. Richter (68) S. 206, daß Polydora im Sand schleimige Wohnungen baue und daß es ihm auch geglückt sei, Fetzen dieser schleimigen Bauten aus dem Sande auszuspülen. Auch die fossilen Rhizocoralliden dürften ihre Gänge und Röhren im zähen Schlamm mit Schleimhäuten versehen haben. Nach dem Trocknen werden solche Häute pergamentartig und schrumpfen ein, so daß Runzeln entstehen. Möglicherweise sind durch solche Runzeln der Röhrenhülle die Netzstreifen entstanden. Man könnte aber auch daran denken, daß die Tiere beim Bau der Hülle zunächst ein Netz von gröberen Schleimfäden gezogen und dann auf dieses Gerüst eine dünne Schleimschicht aufgetragen haben, so daß die Oberfläche eine netzige Skulptur erhalten mußte. Das eigentümliche Maschenwerk der Streifen findet sich zuweilen auch in den Zwischenräumen nicht zusammengehöriger Wülste. Hier dürfte es sich um losgerissene Fetzen der Schleimbauten handeln, die beim Ausräumen der Hohlräume mit ins Freie gelangten. Selbstverständlich läßt sich auch hierüber nichts Sicheres sagen. Das Rätsel der Netzstreifen bleibt vorläufig noch ungelöst und es müssen noch viel eingehendere Untersuchungen und Beobachtungen an lebenden Rhizocoralliden angestellt werden, um eine befriedigende Erklärung der Entstehung der merkwürdigen Netzstreifen geben zu können.

Die U-förmig gebogenen Wülste sind, wie gesagt, seltener. Der Bau bildete einst eine hufeisenförmige Tasche (Spreite) mit einer Erweiterung am Rande. Auf dieser Spreite fehlen an unseren Exemplaren die Netzstreifen, dagegen sind parallel laufende bogenförmige Linien vorhanden. Richter (68 S. 204, 207 und 211) erklärt diese Linien für Zuwachsstreifen, die beim fortgeschrittenen Bau der Höhlung als Reste früherer Scheitelbögen stehen geblieben sind. Unter der glatten Oberfläche der Schenkelwülste, manchmal auch unter der Spreite sind kleine elliptische Körperchen eingebaut, deren Größe ziemlich gleich bleibt (zirka 1 mm breit und 1—2 mm lang). Über diese Baukörperchen, die wohl auch zur Versteifung der Röhrenhülle dienten, hat Reis (63 S. 236) eingehende Untersuchungen angestellt; doch weiß man bis heute noch nichts Endgültiges über die Natur derselben.

Dünnschliffe, die ich anfertigte, zeigten nur, daß die Baukörperchen aus dem Material der Steinmergel zusammengesetzt sind. Manche Autoren glauben, daß es sich um Koprolithen handle, die von den Rhizocoralliden als Bausteine in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

die schützende Hülle an besonders gefährdeten Stellen eingefügt worden seien. Andere (Reis 64 S. 628) dagegen sehen diese ovalen Körperchen als eigens zu Bauzwecken verfertigt an. Tatsächlich gibt es Würmer (Terebella figulus u. a.), die Schlamm verschlucken und denselben in geformten Partikelchen durch den Mund wieder ausscheiden, um sie als Bausteine zu verwenden.

Netzleisten und Baukörperchen scheinen sich gegenseitig auszuschließen. Jedenfalls ist auffallend, daß letztere überall da fehlen, wo die beschriebene Netzskulptur vorhanden ist.

Brachiopoda

Lingula tenuissima Bronn

Mit Lingula tenuissima Bronn muß Lingula zenkeri v. Alb. zu einer Gesamtart vereinigt werden, denn eine natürliche Trennung ist nicht gut möglich. Der Erhaltungszustand der Windsheimer Formen, die meist nicht die Größe typischer Exemplare erreichen, läßt leider etwas zu wünschen übrig.

Ihre Hauptverbreitung hat Lingula tenuissima in der Steinmergelbank Nr. 6 Profil II, wo sie massenhaft erscheint. Unmittelbar darüber beginnt sofort der Gips; damit erklärt sich auch das plötzliche Verschwinden der Lingula. In den tiefer gelegenen Schichten des Steinmergels tritt Lingula nur vereinzelt auf.

Lingula tenuissima fand sich ferner im Profil I Nr. 15, sowie Profil III Nr. 14 und 19. In der letztgenannten Bank hatten die Schälchen eine bläulich-weiße Färbung. Thürach erwähnt aus dem Grundgips nur einmal das Vorkommen der Lingula tenuissima, und zwar in seinem Profil II Nr. 18.

Lamellibranchiata

Gervillien sind äußerst selten und befinden sich meist in einem derart schlechten Erhaltungszustand, daß eine Bestimmung mit großen Schwierigkeiten verbunden ist. Doch kann mit Sicherheit gesagt werden, daß alle bis jetzt beobachteten Formen der Gruppe der Gervillia substriata Credn. angehören. Zeller hat in der Lettenkohle drei Arten von Gervillien nachgewiesen, nämlich Hoernesia (Gervillia) socialis v. Schloth., Gervillia subcostata Goldf. und Gervillia substriata Credn. Die beiden erstgenannten kommen im Grundgips nicht vor, wenigstens sind sie bis heute noch nicht gefunden worden. Die beobachteten Formen zeigen einen Achsenwinkel von nur 30—35 Grad und damit kennzeichnen sie sich als zu Gervillia substriata gehörig.

Der Muschelgips (Nr. 14) des Profils I enthält zwei Varietäten der Gervillia substriata, nämlich eine etwas größere mit Radialstreifung, die durch die Umwandlung der Schale in Gips leider etwas an Deutlichkeit eingebüßt hat: Gervillia substriata Credn. var. lineata Goldf. und eine kleinere ohne Radialstreifung, mit konzentrischen Streifen versehene Form: Gervillia substriata var. tenuicostata Zeller.

Beide Varietäten nur im Windsheimer Profil I Nr. 14. Aus der gleichen Bank gibt auch Thürach eine Gervillia lineata Goldf. an.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Pecten (Velopecten) albertii Goldf.

Von dieser seltenen Art liegen einige gut erhaltene Stücke vor. Sie erreichen meist nicht 1 cm Durchmesser. An einem stark gewölbten Exemplar aus Profil I Nr. 14 ist am äußersten Rande noch etwas von einer feinen Radialstreifung zu erkennen. Ein weiterer Steinkern aus Profil I Nr. 11 zeigt die feine Radialstreifung sehr deutlich. Wieder andere dagegen besitzen nicht die geringste Spur von Streifung. Nach Alberti ist die Verschiedenheit der Radialstreifung auf die mehr oder weniger starke Abnützung der Schale zurückzuführen. Die Ausgangsform Pecten inaequistriatus Goldf. mit sehr deutlichen Streifen, läßt sich an Steinkernen nicht mehr erkennen. Dagegen kann man Pecten albertii Goldf. und den völlig streifenlosen Pecten obliteratus Schaur. auffinden. Verhältnismäßig zahlreich fand sich Pecten albertii im Profil VII Nr. 9. Thürach gibt diese Art an im Profil I Nr. 14.

Nucula goldfussi v. Alb.

Ein Dolomitsteinkern von 11 mm Länge und 9 mm Höhe dürfte zu dieser Art gehören.

Vorkommen: Profil I Nr. 14.

Myophoria goldfussi v. Alb.

Die häufigste Art im Grundgips. Sie tritt fast in sämtlichen Steinmergeln auf. Manche Schichten sind vollständig aus Myophorien aufgebaut. Die besterhaltenen Exemplare fanden sich im Profil I Nr. 14. Manche Stücke hatten auf den Rippen in der Nähe des Randes deutlich sichtbare konzentrische Linien und zeigten deshalb eine schöne Dornenbildung. Die Individuen aus dieser Schicht erreichen ganz besondere Größe (Länge bis 17 mm).

Myophoria intermedia Schaur., vulgaris Schloth., transversa Bornem.

Die Unterscheidung dieser drei einkantigen Arten bereitet oft große Schwierigkeiten, weil sie durch Übergänge miteinander verbunden sind. Größe, Art der Berippung, Schärfe der Kanten und Umriß geben kein brauchbares Unterscheidungsmerkmal. Am leichtesten noch läßt sich eine Trennung durchführen, wenn man den sog. Seebachschen Quotienten zu Hilfe nimmt (Verhältnis der Entfernung der Nebenkante von der Arealkante zur Länge der Arealkante). Doch auch dieses Unterscheidungsmerkmal ist nicht konstant, so daß es nach Rübenstrunk (69 S. 198) sehr fraglich ist, „ob die Myophoria vulgaris, transversa und intermedia weiterhin als selbständige Arten angesehen werden dürfen". Wahrscheinlich handelt es sich um eine einzige Art, welche ihre Form je nach den Lebensbedingungen ändert. In brackischen Gewässern erscheint sie als Myophoria transversa, in marinen dagegen als vulgaris oder intermedia.

Im Grundgips findet sich Myophoria intermedia nicht häufig. Der Seebachsche Quotient beträgt bei typischen Stücken 1 : 4 bzw. 1 : 5. Zwischen den beiden Rippen befindet sich eine sanft ausgehöhlte Furche.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Vorkommen: Profil I Nr. 14 (von hier gibt sie auch Thürach an) und Profil X Nr. 14.

Die zweite Form des Grundgipses muß zu Myophoria vulgaris gestellt werden. Ihre Trennung von Myophoria transversa ist trotz der Beschreibungen von Bornemann, Seebach, Schauroth, Zeller u. a. überaus schwierig.

Der Seebachsche Quotient beträgt bei Myophoria transversa 1 : 1,8—1 : 2, bei Myophoria vulgaris 1 : 2,24—1 : 2,79. Außerdem soll sich Myophoria transversa durch die quer verlängerte Form, die abgerundete Hauptkante und die gestrecktere Gestalt von Myophoria vulgaris unterscheiden.

Die Windsheimer Form besitzt in ihren größten Exemplaren eine Länge von 42 mm und eine Breite von 34 mm. Die Hauptkante ist bald abgerundet, bald scharf. Der Seebachsche Quotient beträgt fast 1 : 3, nähert sich also ziemlich dem der Myophoria vulgaris. Nachdem dieser Quotient das Hauptunterscheidungsmerkmal bildet, müssen wir die Formen des Grundgipses zu Myophoria vulgaris stellen. Selbst die kleineren Exemplare neigen mehr zu vulgaris als zu transversa.

Ähnlich verhalten sich die Stücke, die aus den Steinmergelbänken stammen. Beim besterhaltenen Exemplar ist sogar eine, wenn auch schwach angedeutete dritte Kante zu erkennen, so daß man an Myophoria raibliana Boué et Desh. erinnert wird. Die meisten Myophorien des Grundgipses gehören also zu Myophoria vulgaris, wenn sie auch nicht immer in typischer Ausprägung vorkommen. Typische Myophoria transversa fehlt; einzelne stark abweichende Formen könnte man vielleicht als cfr. transversa bezeichnen.

Myophoria vulgaris ist eine marine, Myophoria transversa eine brackische Form. Das Fehlen der letzteren beweist, daß der Grundgips eine marine Ablagerung ist.

Vorkommen: Vergipste Schalen: Profil I Nr. 14; Profil X. Steinkerne: Profil III Nr. 11 und 14.

Auch in der Münchener Staatssammlung liegt eine Myophoria aus Windsheim, die als Myophoria vulgaris bestimmt wurde.

Myophoria cfr. struckmanni Stromb.

Zu dieser Art dürfte ein vergipstes Schalenexemplar aus Profil I Nr. 14 gehören.

Gastropoden

Im sog. Muschelgips (Profil I Nr. 14) kommen winzige Schneckchen in ungeheurer Anzahl vor. Man gewinnt sie am leichtesten, wenn man einige Proben des Gesteins im Wasser auflöst. Die Steinkerne der Schneckchen, die fast durchweg in Dolomit umgewandelt sind, bleiben im Lösungsrückstand zurück und können dann ohne weitere Mühe ausgesucht werden.

Aus dem reichen Material konnten mit Sicherheit nachgewiesen werden:

Rissosa gregaria Schloth.
Neritaria cognata Gieb.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Rissoa giebeli Schauroth.
Omphaloptycha pusilla Schmid.
Oonia minima Schmid
Actaeonina sp.

Aber auch größere Schnecken kommen in der gleichen Schicht vor. Es seien erwähnt:

Polygyrina gracilior Schaur. = Rissoa dubia var. gracilior Schaur.

Ein schöner Steinkern von schlanker Form mit sieben Umgängen.

Rissoa strombecki var. genuina Schaur.

Wahrscheinlich synonym mit Holopella multitorquata Münst. Dazu gehört ein Gehäusefragment, das noch vier Umgänge aufweist.

Undularia (Rissoa) scalata var. conica Schaur.

Kegelförmige Schneckchen mit fünf bis sechs vollständig ebenen Umgängen. Von Thürach in derselben Schicht gefunden.

Undularia (Rissoa) cfr. scalata var. genuina Schaur.

Wahrscheinlich gehört dazu ein Steinkern von 15 mm Länge und sechs Umgängen. Von Thürach ebenfalls angegeben.

Rissoa dubia var. subplicata Schaur.

Zeigt eine deutliche Skulptur, bestehend aus kleinen Rippen.

Vertebrata

Pisces

Hybodus sp.

Hierher gehören verschiedene Zahnspitzen, die nicht näher bestimmt werden können (Profil I Nr. 14).

Acrodus minimus Ag. bzw. Acrodus lateralis Ag.

Kleine Zähnchen mit durchlaufendem Querkiel, die Schmelzrippen der Oberfläche breit und deutlich. Mangels reicheren Materials läßt sich eine einwandfreie Bestimmung nicht vornehmen. Wahrscheinlich handelt es sich um Acrodus minimus Ag., der auch aus dem Lettenkohlenkeuper angegeben wird.

Palaeobates angustissimus Ag.

Ungekielte, flach gerundete Zähne mit punktierter Oberfläche (Profil I Nr. 14 und Profil III Nr. 14).

Saurichthys sp.

Nur ein winziger Zahn (Profil II Nr. 6).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Colobodus frequens Dames

Verschiedene Schuppen und Zähne, die bisher unter den verschiedensten Namen beschrieben wurden, wie Tetragonolepis triasicus Winkler.

Colobodus maximus Qu.

Eine Schuppe mit sechs hinten in Spitzen ausgezogenen Rippen (Profil III Nr. 14).

Reptilia

Nothosaurus sp.

Einzelne Wirbel und Zähne. Die wenigen Reste genügen nicht zur genauen Bestimmung der Art.
(Profil I Nr.14, Profil II Nr.6, Profil III Nr.11 und 19.)

Pflanzenreste

Ziemlich selten werden Pflanzenreste im Gips gefunden. Vereinzelt tritt in den untersten Bänken eine Conifere auf mit nadelförmigen, oben abgerundeten oder auch schwach zugespitzten Blättern, die an der Basis lange am Stengel entlang laufen. Es handelt sich um Voltzia fraasi Schütze, die schon öfter mit Widdringtonites keuperianus Heer verwechselt wurde. Die Angabe Thürachs, daß auch Widdringtonites im Windsheimer Grundgips vorkomme, muß daher noch auf ihre Richtigkeit nachgeprüft werden.

Verbreitung der Arten

	Grundgips	Lettenkohlen-keuper	Oberer Muschelkalk
Rhizocorallium	+	—	+
Lingula tenuissima Bronn.	+	+	+
Gervillia substriata Credn. var. lineata Goldf.	+	+	substriata
Gervillia substriata Cred. var. tenuicostata Zeller	+	+	substriata
Pecten (Velopecten) albertii Goldf.	+	+	+
Nucula goldfussi Alb.	+	+	+
Myophoria goldfussi Alb.	+	+	+
Myophoria intermedia Schaur.	+	+	+
Myophoria vulgaris Schloth.	+	+	+
Myophoria transversa Bornem., nicht typisch	+	+	+
Myophoria cfr. struckmanni Stromb.	+	+	+
Rissoa gregaria Schloth.	+	+	?
Neritaria cognata Gieb.	+	+	+

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

	Grundgips	Lettenkohlen-keuper	Oberer Muschelkalk
Rissoa giebeli Schaur.	+	+	—
Omphaloptycha pusilla Schmid.	+	+	—
Oonia minima Schmid.	+	+	—
Actaeonina sp.	+	—	—
Polygyrina gracilior Schaur.	+	+	+
Rissoa strombecki var. genuina Schaur.	+	+	—
Undularia (Rissoa) scalata var. conica Schaur.	+	+	—
Undularia (Rissoa) scalata var. genuina Schaur.	+	+	—
Rissoa dubia var. subplicata Schaur.	+	+	—
Hybodus sp.	+		
Acrodus minimus Ag.	+	+	+
Palaeobates angustissimus Ag.	+	+	+
Saurichthys	+	—	—
Colobodus frequens Dames.	+	+	+
Colobodus maximus Qu.	+	—	+
Nothosaurus sp.	+	+	+
Voltzia fraasi Schütze	+	+	—

Aus der vorstehenden Liste ist zu ersehen, daß sämtliche Arten des Grundgipses entweder schon im Muschelkalk oder wenigstens in der Lettenkohle auftreten. Auch geht daraus hervor, daß keine einzige nicht marine Art vorhanden ist. Gervillia substriata und Myophoria vulgaris haben zwar ganz nahe Verwandte in brackischen Ablagerungen, doch sucht man diese im Grundgips vergeblich. Myophoria goldfussi und Pecten albertii sind Bewohner des küstennahen Flachmeeres oder der Küste, desgleichen die zahllosen Gastropoden. Estheria, ein Vertreter der nicht mehr rein marinen Fauna, die im oberen Gipskeuper so überaus häufig auftritt, fehlt im Grundgips vollständig. Lingula tenuissima kommt sowohl in marinen als auch in brackischen Faunengesellschaften vor. Auch die meisten Wirbeltiere, z. B. Palaeobates angustissimus, Acrodus minimus, Nothosaurus, Colobodus tragen marinen Charakter. Fassen wir das alles zusammen, so ergibt sich, daß die Tierwelt des Grundgipsmeeres eine rein marine ist. Mit jeder neuen Transgression müssen marine Arten in die zeitweise vom offenen Ozean abgeschnürten Grundgipssenken eingewandert sein. Brackische und halbmarine Formen fehlen vollständig.

Die Quellungserscheinungen im Gips

Die Grundgipsschichten zeigen vielfach Lagerungsstörungen, die sich als eigentümliche Verbiegungen und Stauchungen dünner Gipsbänder bemerkbar machen. Zweifellos handelt es sich um Quellungserscheinungen. Bekanntlich

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

findet bei der Umwandlung des Anhydrits in Gips durch Wasseraufnahme eine Volumvermehrung von ca. 33% statt. Durch die Auflockerung der Masse wird zugleich eine Änderung des spez. Gewichtes hervorgerufen (2,3 statt 2,9). Die Aufquellung des Gesteins löst einen gewaltigen Druck aus, dessen Wirkungen leichteren tektonischen Bewegungen gleichkommen.

Binder (5) konnte die Wirkungen dieses Druckes besonders gut beobachten beim Bau des Weinsberger Tunnels an der Bahnstrecke Crailsheim—Heilbronn. Die stärksten Tragbalken konnten dem Druck des aufquellenden Anhydrits nicht Widerstand leisten und knickten zusammen, so daß der Bau mit den denkbar größten Schwierigkeiten verbunden war.

Die Verbiegungen und Stauchungen im Grundgips werden heute fast allgemein auf solche Quellungen zurückgeführt. Anders verhält es sich mit den Faltungen im Gekröseanhydrit des Muschelkalks, die Reis in seiner Arbeit (62) beschreibt. Die Entstehungsursache dieser Verbiegungen ist nicht in Aufquellungen durch Wasseraufnahme, sondern in einfachen, primären Rutschungen des Anhydrits kurz nach der Sedimentation zu suchen.

Die Faltungserscheinungen im Grundgips treten immer wieder im Gips selbst auf. Anhydritbänder fehlen vollständig. Die letzten Zeugen des einstigen Vorhandenseins mächtiger Anhydritlager liegen nur noch in den Restvorkommen kleiner Anhydritkristalle im dichten Gips vor.

In den Windsheimer Gipsbrüchen lassen sich die Faltungserscheinungen des aufgequollenen Gipses besonders gut studieren, weniger allerdings im Felsengips als im Plattengips. Der tieferliegende Felsengips zeigt fast gar keine Faltung, was ich auf die größere Mächtigkeit der hangenden Schichten, auf eine dadurch bedingte langsamere Umwandlung des Anhydrits und auch auf die größere Geschlossenheit der Schichten zurückführen möchte. Die schwächeren, gebänderten Bänke des Plattengipses dagegen sind viel deutlicher gefaltet, namentlich dort, wo sie auf Steinmergelbänken und Mergelschichten aufruhen. Vermutlich bewirkten diese nahezu wasserundurchlässigen Schichten eine starke Ansammlung des Grundwassers. Dies aber hatte eine starke Quellung des Anhydrits zur Folge. Das sein Volumen vermehrende Gestein suchte sich nun nach allen Seiten hin auszudehnen, stieß aber überall auf großen Widerstand. Schließlich mußte es nach der Seite des geringsten Druckes (nach oben) ausweichen. An besonders schwachen Stellen erfolgte daher eine Aufwölbung der Schichten und es entstand die charakteristische Faltung und Stauchung, die sonst nur durch tektonische Vorgänge erzeugt wird. Die weichen Mergel der Unterlage wurden bei der Aufwölbung des Gipses infolge plötzlicher Entspannung in den entstandenen Hohlraum hineingepreßt und schwollen deshalb an solchen Stellen mächtig an (Fig. Nr. 1/2).

Eine auffällige Erscheinung ist das allmähliche Ausklingen der Falten nach oben hin. Zuletzt verschwindet jede Faltung und die horizontale Lagerung ist wiederhergestellt. Um dies zu erklären, müssen wir annehmen, daß die unteren Anhydritschichten, die auf den wasserundurchlässigen Mergeln ruhten, viel rascher in Gips sich umwandelten als die höheren. Je weiter sich die Anhydrit-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

schichten von den Mergelbänken entfernten, desto weniger kamen sie mit Wasser in Berührung und desto gleichmäßiger und langsamer mußte ihre Aufquellung und Hebung erfolgen.

Mit der Aufwölbung ging offenbar eine horizontale Bewegung der aufquellenden Schichten Hand in Hand. Dafür spricht die Erscheinung, daß der höchste Punkt der Falten gewöhnlich nicht in der Mitte liegt, sondern etwas seitlich verschoben ist. Die Wirkung zweier verschiedener Bewegungsrichtungen zeigt besonders schön die große Falte im Steinbruch Müller-Windsheim (Fig. Nr.3), wo es selbst zu Gekrösefaltung des Gipses gekommen ist. Auf dem gleichen Bilde sehen wir auch, wie durch die Gewalt eines plötzlich frei gewordenen Druckes eine nahezu senkrechte Stellung der Gipsschichten hervorgerufen worden ist. Das Kernstück der großen Falte enthielt eine zertrümmerte Steinmergelbank (Fig. Nr.4). Das läßt darauf schließen, daß gerade an jener Stelle ein ganz besonders starker Druck von unten her erfolgt sein muß, dem der feste Steinmergel nicht widerstehen konnte und deshalb zerbrach. Derartige Störungen sind ziemlich selten. Nur Nies (51) berichtet über eine ähnliche Beobachtung, die er in einem Steinbruch bei Hüttenheim machen konnte. Gewöhnlich sind die Steinmergelbänke nur ganz wenig in Mitleidenschaft gezogen und bilden die ungestörte Basis der Gipsfalten. Auf größeren, für den Abbau freigelegten Flächen kann man nicht selten über den Steinmergeln die Gipsfalten als Erhebungen beobachten. Die abgedeckte Fläche erinnert an eine flachwellige Hügellandschaft. Eine Abhängigkeit von tektonischen Störungslinien, denen die Falten folgen müßten, war nirgends festzustellen. Die Falten erheben sich ganz unregelmäßig und beweisen, daß hier Schwächezonen im Verband des Gipsflözes vorliegen.

Eine interessante Beobachtung, die ich im Steinbruch Weid-Windsheim machen konnte, gibt einigen Aufschluß über die Vorgänge bei der Quellung des Gipses. Über der Steinmergelbank Nr.14, die nicht von Mergelschichten überlagert ist, zeigte der noch flach auf dem Steinmergel aufruhende Gips vor der aufsteigenden Falte an einzelnen Stellen Rutschstreifen. Diese können nur durch den harten Steinmergel, über welchen der Gips hinweggleiten mußte, hervorgerufen worden sein. Die bandförmigen Rutschflächen verlaufen nicht gerade, sondern zeigen eine leichte Biegung. Dies läßt darauf schließen, daß die quellenden Gipsschichten so lange eine drehende und zerrende, horizontale Bewegung hatten, bis sie nach Überwindung des Gebirgsdruckes durch Zerreißung und Aufwölbung den Weg nach oben fanden. Wir verdanken die Rutschstreifen lediglich dem glücklichen Umstand, daß keine Mergelschichten vorhanden waren. In der Regel bilden aber weiche Mergel die Unterlage des Gipses und dann können Rutschspuren nicht erwartet werden. Aber auch zwischen den einzelnen Gipsbändern innerhalb der Falten sind kleine Rutschstreifen sichtbar. Diese Erscheinung beweist, daß bei der Aufquellung eine ungleichmäßige Bewegung der einzelnen Bänder stattgefunden hat.

Bruchlose Faltung kommt nur in beschränktem Maße vor. Fast stets ist die Faltung mit Bruch verbunden, so daß die Falten eigentlich aus mehreren ein-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zelnen Stücken zusammengesetzt sind. Die Bruchstellen häufen sich ganz besonders an den höchsten Erhebungen der Falten, am Scheitelpunkt. Hier sind die Falten außerdem noch von vielen kleinen, oft gleichgerichteten Rissen und Spältchen durchzogen, die sehr oft die großen Bruchspalten kreuzen. Fast immer sind die Spalten und Risse nachträglich mit großen Gipskristallen wieder ausgeheilt worden.

Die vielfachen Lagerungsstörungen im Bereiche des Grundgipses können also, wie die bisherigen Untersuchungen ergeben haben, nur auf die Volumvermehrung zurückgeführt werden, die das Gestein bei der Umwandlung des Anhydrits erfuhr. Von subaquatischen Rutschungen während oder kurz nach der Sedimentation kann nicht die Rede sein.

Die Auslaugungsdiagenese im Grundgips

Das Problem der Auslaugungsdiagenese findet in letzter Zeit erhöhte Beachtung. Durch die verdienstvolle Arbeit Spitz' und Wepfers (101) wurde die Aufmerksamkeit darauf gelenkt und so sind bereits aus den verschiedensten Formationen Beispiele hierfür bekannt geworden.

Auch im Grundgips begegnen wir Erscheinungen, die auf Auslaugungsdiagenese zurückgeführt werden müssen. Die leichte Löslichkeit der Gesteine hat Stoffwanderungen zur Folge; was auf der einen Seite aufgelöst und weggeführt wird, wird an anderer Stelle wieder abgesetzt. Uns interessiert hier in erster Linie die Veränderung der Steinmergelbänke, welche, obwohl schwerer löslich als der Gips, ebenfalls angegriffen werden. Die Veränderung des Gesteins ist verschieden, je nachdem die Auslaugung flächenhaft oder räumlich arbeitet. Auf flächenhafte Auslaugung führe ich zurück die schwankende Mächtigkeit der Steinmergelbänke, ihre Stauchungen und Verbiegungen, sowie ihr stellenweise vollständiges Aussetzen. Die dunklen, tonigen Streifen, die das Gestein durchziehen, verraten, daß eine Auflösung und Wegführung stattgefunden hat. Die in ihrer Mächtigkeit reduzierten und ihres Bindemittels teilweise beraubten Bänke leisten quellendem Anhydrit keinen großen Widerstand und werden daher leicht verbogen und gestaucht.

Ähnliche Erscheinungen zeigt das Wellengebirge des Muschelkalks. Die wellige Struktur ist hier nach Spitz und Wepfer auf ein Zusammensacken bzw. Absacken des tonig mergeligen, ausgelaugten Gesteins zwischen den noch nicht ausgelaugten, festen Karbonatgesteinsresten zurückzuführen.

Auch die Wärme spielt bei den Lösungsvorgängen eine wichtige Rolle. Die durch den Druck der Deckschichten oder durch den Quellungsdruck erzeugte Wärme erhöht die Löslichkeit des Gesteins und beschleunigt die Auslaugungstätigkeit des CO_2-haltigen Wassers.

Die Auslaugung der Steinmergel hinterläßt dunkel gefärbte Mergelschmitzen oder Schlieren. Im Dünnschliff zeigen sich rasch auskeilende, oft stark gewellte Tonhäutchen, die an Mikrostylolithen erinnern. Sie enthalten als Einlagerung Gips und zahlreiche Erzkörner. Gerade die letzteren kennzeichnen die Lösungs-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

bahnen des Wassers in den unzähligen kleinen und größeren Spältchen des Gesteins. Ihre Anhäufung in den tonigen Flasern läßt erkennen, daß eine beträchtliche Menge des Gesteins aufgelöst und weggeführt wurde. Ob durch die Auflösung des Gesteins nur eine Anreicherung der Erze oder auch eine Vergrößerung der Erzkörner durch neu zugeführte Minerallösungen erfolgte, ist schwer zu entscheiden.

Durch Gabelung und Wiedervereinigung zweier Lösungsflächen werden Kerne unversehrten Gesteins von tonigen Häutchen eingeschlossen. Anschliffe lassen diese Erscheinung besonders deutlich hervortreten.

Seltener finden sich in den Steinmergeln echte Stylolithen und stylolithische Linien. Die Größe der Stylolithen erreicht meist nur 1 cm. Ihre Köpfe tragen eine dünne Kappe dunkler Auflösungsrückstände. Einzelne Stylolithen sind mit deutlichen Längsstreifen versehen. Die Stylolithen gehen, wie diesWagner (98) besondes hervorhebt, aus den welligen, durch tonige Rückstände gekennzeichneten Lösungsbahnen (Drucksuturen) hervor. Sie sind weiter nichts als die zu Zapfen vergrößerten, unregelmäßigen Erhebungen der Lösungsflächen, die durch Druckwirkung bei den Lösungsvorgängen in die leichter angreifbare Gegenseite hineinwachsen.

Eine ganz merkwürdige Verzahnung von grobkristallinem Gips und Steinmergel konnte ich im Steinbruch Haberstroh-Windsheim beobachten (Profil I Nr. 19 und 20). Der Steinmergel ist stellenweise auf seiner Unterseite durch Auflösung stark reduziert und mit rundlichen, unregelmäßigen Vertiefungen versehen. Der kristalline Gips dagegen zeigt rundliche Erhebungen, die sich ganz genau in die Vertiefungen der darüberliegenden Steinmergelbank einfügen. Derartige Verzahnungen, die man nicht als Stylolithen bezeichnen kann, sind meines Wissens bisher noch nicht beschrieben worden. Die Erklärung ihrer Entstehung bereitet einige Schwierigkeiten. Wahrscheinlich hat durch die lösende Tätigkeit desWassers eine starke Zerstörung der ursprünglich auf dichtem Gips aufruhenden Steinmergelbank stattgefunden, so daß zwischen Steinmergel und Gips eine klaffende Lücke entstand. Später dürfte der so entstandene Hohlraum mit allen Vertiefungen in den beiderseitigen Wänden mit kristallinem Gips ausgefüllt und ausgeheilt worden sein. Zu dieser Annahme berechtigt die Tatsache, daß überall da, wo kein kristalliner Gips auftritt, die Steinmergelbank viel mächtiger und vollständig unversehrt ist und direkt auf dichtem Gips aufliegt.

Die Kristallisation des Gipses

Die leichte Löslichkeit des Gipses hat eine große Wanderungsfähigkeit desselben zur Folge. Der gelöste Gips wird vom Wasser weggeführt und kommt an anderen Stellen durch Auskristallisieren wieder zum Absatz. So werden Sprünge und Risse, die durch Quellung des Gipses oder infolge tektonischer Vorgänge entstanden sind, häufig mit Gipskristallen wieder ausgeheilt. Ebenso sind Schichtfugen nicht selten mit schönen Gipsrosetten bedeckt. Auch in Hohlräumen, die der Quellung und Lösung ihre Entstehung verdanken, werden zuweilen gut aus-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

gebildete, prismatische Kristalle angetroffen. Besonders schöne Kristalle konnte ich in Profil III Nr. 16 beobachten. Diese Schicht wurde durch Lösungsvorgänge teilweise stark zerfressen. Die Folge ist eine Anhäufung toniger Lösungsrückstände, die sich später durch Auskristallisieren von Gips wieder verfestigten. In Vertiefungen liegen einzelne prismatische Kristalle von 2—3 cm Länge, sowie größere Kristallaggregate von ovalem Umriß. Die letzteren bestehen aus zahlreichen Einzelindividuen der bekannten dicktafeligen Ausbildung. Sie sind alle in gleicher Richtung angeordnet, so daß Längsfläche an Längsfläche und Prisma an Prisma zu liegen kommt. Dieser merkwürdige Bau legt die Vermutung nahe, daß es sich eigentlich nicht um Aggregate, sondern um größere Einzelkristalle handelt, die aus Subindividuen aufgebaut sind, aber wegen ungenügender Stoffzufuhr nicht zur vollen Raumerfüllung gelangten. (Daher die scheinbar ovale Form.)

Auffallend ist ferner das Vorkommen großer, dunkler, idiomorpher Kristalle, die allseitig von dichtem Gips eingeschlossen sind. Ihre Form ist bald kugelig, bald oval. Sie zeigen Risse und Sprünge, die mit hellfarbigen Gipskristallen wieder ausgeheilt wurden. Die Untersuchung dieser eigenartigen Kristalle hat ergeben, daß sie noch Reste von Anhydrit enthalten. Dies läßt darauf schließen, daß die Zerreißung der Kristalle auf nachträgliche Quellung der eingeschlossenen Anhydritreste zurückgeführt werden muß. Die Entstehung der Kristalle erfolgte sicher nicht auf Kosten der dichten Gipsgrundmasse. Wir müssen vielmehr annehmen, daß sich die Kristalleinschlüsse direkt aus dem Anhydrit bildeten.

Mechanische Sprengwirkungen des sekundär kristallisierenden Gipses

Verschiedene Erscheinungen im Grundgips deuten darauf hin, daß eine Zersprengung des Gesteins durch sekundär auskristallisierten Gips stattgefunden hat. Am deutlichsten zeigen sich diese Sprengwirkungen in einzelnen Steinmergelbänken, die von zahlreichen unregelmäßigen, nahezu horizontal verlaufenden Rissen und Sprüngen durchzogen sind (z. B. Hellmitzheim). Auf tektonische Vorgänge können diese Risse nicht zurückgeführt werden; denn dazu sind sie viel zu unregelmäßig. Ebensowenig kann der Druck, welcher bei der Umwandlung des Anhydrits in Gips auf die Steinmergelschichten ausgeübt wird, dafür verantwortlich gemacht werden; denn wo aufquellender Gips die darüberlagernden Steinmergel zerbricht, verlaufen die Sprünge mehr in vertikaler Richtung.

Die erwähnten Risse sind mit Gipskristallen ausgefüllt. Das läßt darauf schließen, daß durch Kristallisation und damit verbundener Ausdehnung des Gipses eine Zersprengung des Gesteins verursacht wurde. Gipshaltiges Wasser dringt durch haarfeine Spältchen ins Gestein und scheidet nach erfolgter Konzentration Gipskristalle aus. Diese bewirken durch Sprengung eine Erweiterung der Klüfte. Neue Gipszufuhr bewirkt weitere Aufspaltung und Zerreißung. So wird das ursprünglich feste Gestein immer mehr gelockert und zerspalten.[1] Der ausgeschiedene Gips kittet die einzelnen Trümmer wieder fest zusammen, so daß im Laufe

[1] Diese Kristallisationssprengungen erinnern an die Sprengwirkungen des Frostes.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Zeit eine vollständige Ausheilung erfolgt. Viele Steinmergel zeigen diese interessante Erscheinung. Manche Sprünge sind noch nicht vollständig ausgeheilt, manche dagegen enthalten eine so regelmäßige Gipseinlagerung, daß Schichtung vorgetäuscht wird.

Die Karsterscheinungen im Grundgips

Karstformen im Gips wurden bisher nur selten beschrieben. Dies hat seinen Grund hauptsächlich darin, daß große, ausgedehnte Gipsvorkommen in Deutschland verhältnismäßig nicht häufig sind. Am bekanntesten sind die Gipsablagerungen des Zechsteins am Harzrande, die wegen ihrer Verkarstungserscheinungen eine gewisse Berühmtheit erlangt haben.

Aus dem Grundgips des süddeutschen Keupers wurden wohl vereinzelte Lösungserscheinungen beschrieben, doch wurden keine eingehenderen Untersuchungen hierüber angestellt. Der Gipskarst des Grundgipses ist daher ein Neuland für die Karstforschung. Er fand bisher wenig Beachtung, weil er in der Landschaft nicht besonders auffällt und die unterirdischen Hohlräume nur schwer zugänglich sind. Auch erreicht er in keiner Weise die Großartigkeit der Karsterscheinungen im Harz.

An der Oberfläche macht sich die Verkarstung des Gipses nur wenig bemerkbar, wenn nicht zufällig Deckeneinstürze und Erdfälle vorhanden sind. Die zutage tretenden Gipsfelsen verwittern sehr rasch zu Scherben infolge ihrer feinen Schichtung, namentlich unter dem Einfluß der winterlichen Temperaturschwankungen. Man kann an diesen Gipsbrocken kleine Regenrillen beobachten, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Viel großartiger sind die Phänomene der Verkarstung, die wir in den zahlreichen Steinbrüchen des Grundgipses beobachten können, wenn die deckenden Schichten der Keupermergel durch die Steinbrucharbeit entfernt sind.

Penck (52 S. 175) unterscheidet zwei Arten des unter Tage liegenden Karstphänomens. Wenn der Karst mit seinen Verwitterungsprodukten bedeckt ist, nennt man ihn „bedeckten Karst" (Ed. Richter). Hat aber die Verkarstung unter einer unlöslichen Gesteinsdecke stattgefunden, so spricht man mit Katzer vom „unterirdischen Karst". Letzteren bezeichnet Lozinski (47 S. 708) als „Kryptokarst", Gradmann als „subkutanen Karst". Beide Arten lassen sich jedoch nicht immer scharf trennen; denn sie gehen ineinander über.

Sämtliche Karsterscheinungen des Gipskeupers müssen dem unterirdischen Karst zugerechnet werden.

Meist sind die Gipslager von Keupermergeln und deren Verwitterungsprodukten bedeckt, die normalerweise wenig Wasser durchlassen. Während der warmen Jahreszeit trocknet aber der zähe Mergelboden sehr stark aus und bekommt breite Risse und Sprünge, die nicht selten bis zu einem Meter in die Tiefe gehen. In Regenzeiten schließen sie sich langsam, nachdem sie vorher ungeheure Mengen Wasser verschluckt haben. Das eingedrungene Wasser beginnt dann in der Tiefe seine zerstörende und auflösende Tätigkeit.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Wie schon erwähnt, hat der Gips bei seiner Entstehung aus Anhydrit durch Wasseraufnahme gewaltige Volumzunahme und als deren Folge eine starke Zerklüftung erfahren. Ein Teil der beobachteten Klüfte ist allerdings auch tektonisch bedingt, wie aus ihrer Streichrichtung ersichtlich ist. Die Sprengklüfte haben einen unregelmäßigen Verlauf. Bald sind es klaffende Risse, bald haarfeine Spältchen, die sich oft rasch wieder im Gestein verlieren. Diese unregelmäßige Klüftung ist charakteristisch für Gipslager, die erst nachträglich aus Anhydrit entstanden sind und unterscheidet sich ganz wesentlich von den Klüften der Kalkgesteine. Sie ist auch von größter Bedeutung für die Bildung der Karstformen; denn die zahlreichen Klüfte im Gipsgestein liefern dem eindringenden Wasser große Angriffsflächen und Abflußbahnen. Durch die lösende Tätigkeit des Wassers erweitern sich die Spalten zu trichter-, sack- oder schlotförmigen Vertiefungen, die man als Orgeln bezeichnet (Fig. Nr. 5). Diese Orgeln laufen in der Regel nach unten spitz zu und endigen schließlich in Klüften, wenn sie nicht direkt auf horizontale Schichtfugengerinne stoßen. Ist in einem Gipsbruch das Hangende, bestehend aus Keupermergel und Verwitterungsrückständen, beseitigt, so heben sich vom weißen Gipsgestein deutlich rundliche, dunkle Flecken ab. Es sind die noch zugeschütteten Orgeln, die mit Mergel und Verwitterungsschutt erfüllt sind. Nach Entfernung des lockeren Ausfüllungsmaterials erscheinen die Orgeln als unregelmäßige Trichter oder Röhren im Gips.

Unser Bild Fig. Nr. 6, das so lebhaft an die Karstlandschaft Istriens erinnert, stellt ein im Steinbruch Haberstroh-Windsheim freigelegtes Orgelfeld dar.

Die obersten Ränder der Röhren sind mit vertikalen Rillen bedeckt, die als kleinste Lösungsformen anzusprechen sind. Die Wände sind verhältnismäßig glatt. Die weniger widerstandsfähigen und mehr tonigen Schichten sind stärker angegriffen und zeigen zahlreiche Löcher und Buckel. Ist der Wechsel zwischen weichen und härteren Schichten besonders stark, so sind die Wände der Röhren mit ringartigen Wülsten versehen. Manchmal zeigen die Röhrenwandungen auch stärkere Korrosionserscheinungen. Sie fühlen sich dann rauh an und werden stellenweise von kleinen, senkrecht verlaufenden Rinnen zerfurcht. Während oben jede feinere Skulptur bereits verwischt ist, sind die unteren Partien der Orgelwände überaus unregelmäßig zerfressen. Jeder einzelne von oben herabsickernde Wassertropfen sucht sich seinen eigenen Weg. Dadurch entstehen zahlreiche wirr durcheinander laufende Rillen und Löcher. Besonders wirksam wird die zerstörende Tätigkeit des Wassers, wenn die senkrechten Röhren mit horizontal verlaufenden Höhlensträngen zusammentreffen. Die starke Wasserführung dieser Hohlräume begünstigt die Korrosion in besonders starkem Maße und es entstehen Zacken, Durchbohrungen und allerlei andere zierliche Filigranformen.

Die Orgeln sind überaus mannigfaltig nach Größe und Form. Die kleineren Röhren haben rundliche oder elliptische Öffnungen. Größere Röhren dagegen sind meist unregelmäßig und zweifellos durch Vereinigung mehrerer kleinerer Orgeln entstanden. Sie können bisweilen ganz beträchtliche Dimensionen annehmen. So beobachtete ich im Steinbruch Weid-Windsheim unter Steinmergel eine Riesenorgel mit einem Durchmesser von 5,30 m zu 2,50 m. Auch Tiefen bis

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zu 3 m sind nicht selten. Das Wachstum nach der Tiefe wird, wie ich mich wiederholt überzeugen konnte, durch Steinmergel- und Mergelbänke, die als Zwischenlagen auftreten, auf die Dauer nicht aufgehalten. Sobald die Aushöhlung unterhalb der trennenden Mergelbank größere Fortschritte gemacht hat, stürzt das schwerer lösliche Gestein in die Tiefe, und die beiden bisher getrennten Orgeln vereinigen sich zu einer einzigen.

Wie erklärt sich nun die Ausfüllung der Gipsorgeln? Hoffmann (31) hält die Orgeln im Zechsteingebiet des Harzes für Karrenbildungen, die „im Diluvium durch lösende Tagewässer gebildet sind und deren Erhaltung wir nur der alsbaldigen Bedeckung durch den diluvialen Lehm verdanken". Grewingk (25) sieht in den Orgeln des devonischen Gipses bei Riga Strudel- und Sickerwasserlöcher, die dem Schmelzwasser des Gletschereises ihre Entstehung verdanken und von diesem mit gelbem, geschiebeführendem Sand ausgefüllt wurden. Penck (52), der sich ebenfalls mit dem Karstphänomen des Harzes beschäftigte, unterscheidet zwischen Orgeln am Hang, die gleich nach der Entstehung von Gekriech zugeschüttet wurden, und Säcken auf der Hochfläche, die sich unter einer Decke bildeten, die sofort nachsackte.

Nach Haefke (27) sind sowohl die Orgeln des Harzes als auch die Säcke (zusammengewachsene Orgeln) der Hochfläche durch Nachsacken der Deckenschichten ausgefüllt worden. Meine Beobachtungen im fränkischen Gipskeuper lassen nur die eine Deutung zu, daß es sich hier um Nachsackungserscheinungen handelt. Bodengekriech und nachträgliche Einschwemmung scheiden aus. Die stehengebliebenen Gipsblöcke, welche die Steinbrecher „Hocker" nennen, sitzen im Gipskeupermergel. Wenn die Mergel durch Wasser eingeschwemmt worden wären, müßte die Schichtung in den Orgeln nahezu horizontal verlaufen. Dies ist aber nicht der Fall. Überall, wo Vertiefungen im Gipsgestein sich bemerkbar machen, schmiegen sich die darüberliegenden Mergelschiefer mit ihrer ganzen Schichtung denselben eng an. Über den Hockern, den Resten des einst zusammenhängenden Gipsflözes, befinden sich die Mergel noch in horizontaler, ungestörter Lagerung. In den tiefen Orgeln aber ist das nachgesackte Deckengestein verbogen und teilweise zerrissen und zeigt eine auffallende Steilstellung. Noch merkwürdiger werden die Verhältnisse, wenn der Gips durch Auslaugung vollständig entfernt ist. Dann setzt sich das Deckengestein an die Stelle des aufgelösten Gipses, ist aber so unregelmäßig hin- und hergebogen, daß man an eine Faltung, hervorgerufen durch quellenden Gips, oder an subaquatische Rutschungen denken könnte (Fig. Nr. 7, aufgenommen in einem Steinbruch bei Hellmitzheim). Daß eine Aufquellung nicht stattgefunden hat, beweist die horizontale Lagerung der Mergel an jenen Stellen des Bruches, woselbst der Gips noch unverändert zwischen Mergelbänken eingebettet liegt und keinerlei Auslaugung erfahren hat. Es besteht somit kein Zweifel, daß lediglich durch langsames Nachsacken der Deckschichten die auffällige Lagerung der Mergel verursacht wurde.

Diese Nachsackungserscheinungen beweisen einwandfrei, daß die Orgeln unter einer zusammenhängenden Decke von Keupermergeln sich bildeten. Die Orgelfelder stellen keine fossilen Landoberflächen dar, die mit Verwitterungsschutt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zugedeckt wurden, sondern sind eine Bildung des sogenannten Kryptokarstes oder unterirdischen Karstes, der erst dann zutage tritt, wenn er durch Menschenhand seiner Decke beraubt wird. Trotz ihrer subterranen Entstehung gehören die Orgelfelder den Karrenformen an; sie sind weiter nichts als unterirdische Karrenoberflächen.

Wie schon erwähnt, setzt sich das Ausfüllungsmaterial der Orgeln in der Hauptsache aus Mergeln zusammen, die durch Beimengung zahlreicher Humusstoffe eine tiefschwarze Färbung annehmen. Sind die hangenden Mergelschichten nur von geringer Mächtigkeit, so besteht die Ausfüllung teilweise auch aus Ackererde.

Die Orgelbildung ist auch heute noch nicht zum Stillstand gekommen. In den stehengebliebenen Gipsblöcken werden durch die auflösende Tätigkeit des Wassers neue Vertiefungen, Näpfe und Röhren angelegt, bis schließlich nur noch schwache Pfeiler die zahlreichen Orgeln trennen. Zuletzt fallen auch diese trennenden Pfeiler; die Röhren wachsen zusammen und bilden ganz große Säcke, von den Steinbrucharbeitern „Erdlöcher" genannt. Solch große Hohlformen konnten besonders schön im Steinbruch Haberstroh beobachtet werden. Des öfteren hatten sie nachstehende Form:

Man sieht deutlich, wie die kleineren Röhren von den größeren angeschnitten werden und wie sie miteinander verwachsen. Meist sind die Verwachsungsstellen durch Abrundung undeutlich geworden, doch sind zuweilen zwischen zwei vereinigten Orgeln auch noch kleine scharfkantige Vorsprünge vorhanden.

Ganz große Hohlformen rufen schließlich an der Oberfläche der Landschaft gewisse Veränderungen hervor, weil das nachsackende Material der Deckschichten die Hohlformen nicht mehr ganz auszufüllen vermag. So entstehen Mulden und Schüsseln, dolinenartige Gebilde, die in der Landschaft wegen der geringen Mächtigkeit der Gipslager allerdings weniger auffallen als die Dolinen der Kalkgebirge.

Dolinen können auf zweierlei Weise entstehen, entweder durch allmähliche Auflösung des Tiefengesteins und gleichzeitiges Nachrutschen der hangenden Schichten oder durch plötzlichen Einsturz unterirdischer Hohlräume. Man spricht deshalb von Lösungsdolinen und Einsturzdolinen. Für die meisten Dolinen im Kalk wird heute die Einsturztheorie, die in Tietze ihren eifrigsten Vertreter hatte, abgelehnt. Dagegen bekennt man sich zur Ansicht Cujvics, der die überwiegende Mehrzahl der Kalkdolinen der Auslaugungstätigkeit des atmosphärischen Wassers zuschreibt und sie als Oberflächenerscheinungen betrachtet.

Unter den Begriff Lösungsdolinen fallen auch die bisher beschriebenen muldenförmigen Vertiefungen im Grundgips des Gipskeupers. Im Gipskarst kommen aber auch nicht selten echte Einsturzdolinen oder Erdfälle vor. Meyn bezweifelte die Möglichkeit solcher Erdfälle in Gipsgebieten, weil seiner Auffassung nach (48) die massige Natur des Gipses, die unregelmäßige Zerklüftung, sowie die weiche und zähe Beschaffenheit des Gesteins keinen Einsturz zulasse. Sollte sich wirklich einmal ein Einsturz ereignen, so könnte er sich nicht bis an die Oberfläche fortsetzen. Die neuere Forschung hat jedoch durch einwandfreie Beobachtungen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

festgestellt, daß tatsächlich im Gips des öfteren Deckeneinstürze unterirdischer Hohlräume erfolgen, die zur Bildung von Erdfällen führen. Auch im Grundgips des Windsheimer Gebietes kommen gar nicht selten solche Einstürze mitten in der Ackerflur vor. Sogar Unglücksfälle haben sich dabei nach den Schilderungen der Grundstücksbesitzer zugetragen, indem Tiergespanne während des Pflügens mit in die Tiefe gerissen wurden. Die Erdfälle ereignen sich besonders häufig in der Gegend zwischen Nordheim und Herbolzheim. Unterirdische Wasserstränge haben dort ein ziemlich großes Gebiet durch Auflösung des Gipses unterhöhlt. In der Landschaft zeigen sich eigentümliche Mulden, die nur auf Einsturz unterirdischer Hohlräume zurückgeführt werden können. Die meisten Erdfälle mögen schon vor mehreren Jahrzehnten, ja vielleicht Jahrhunderten entstanden sein. Im Laufe der Zeit wurden sie wieder mit Schutt erfüllt, so daß nur noch kleine, flache Vertiefungen übrig geblieben sind. Im Jahre 1924 bildete sich in einem Acker bei Nordheim ganz plötzlich ein neuer Erdfall. Sein Umriß war fast kreisrund, der Durchmesser betrug zirka 5 m, die Tiefe zirka 3 m. Das Profil zeigte oben Ackererde, dann tiefgründigen Verwitterungsboden, aus welchem Gipsfelsen hervorragten. Der Schuttkegel war ebenfalls fast kreisrund, nach allen Seiten gleichmäßig abfallend und rings mit Wasser umgeben. Nach Lozinski (47 S. 717) ist die Form eines Erdfalls abhängig von der Mächtigkeit der darüberlagernden Lehm- oder Schuttdecke. Wenn das Lehmmaterial den ganzen Erdfall nicht auszukleiden vermag, so ist die Form assymetrisch, indem auf der einen Seite der entblößte Gips sehr steil oder senkrecht abfällt, auf der anderen dagegen der nachsinkende Lehm eine mäßig steile Neigung annimmt. Eine stärkere Lehmdecke hat nach demselben Autor einen kreisrunden Umriß und eine regelmäßige Trichterform zur Folge. . . . „Da der Lehm in der Regel eine gleichmäßig lockere Beschaffenheit besitzt, strebt er von allen Seiten der im Gewölbe des Hohlraums entstandenen Öffnung in demselben Maße zu und dadurch bildet sich auf der Lehmoberfläche — genau wie in einer Sanduhr — eine trichterförmige Bodensenkung."

Der Nordheimer Erdfall gleicht keinem dieser beschriebenen morphologischen Typen. Trotz der geringen Schuttdecke hat er einen regelmäßigen Umriß. Das in die Tiefe gestürzte Material ist nicht trichterförmig, sondern kegelförmig angehäuft. Das dünne Gipsgestein, das die Last der Lehmdecke nicht mehr tragen konnte, ist an den Bruchstellen ringsum sichtbar. Beim Einsturz ist also die Gipsdecke des Hohlraums mit der Überlagerung gleichmäßig in die Tiefe gesunken. Der Erdfall stimmt vollständig überein mit einer Einsturzdoline, wie sie Knebel (39 S. 148) in seiner Höhlenkunde abgebildet hat.

Vom Schuttkegel aus konnte man ein Stück weit in die unterirdischen Hohlräume eindringen. Sie waren ziemlich hoch mit kristallklarem Wasser erfüllt, das keinerlei Fließbewegung erkennen ließ. In der Höhle ist offensichtlich der Grundwasserspiegel angeschnitten.

Wenige Meter von obigem Erdfall entfernt zieht eine längere, flußartig gewundene Mulde durch das Gelände, ein blindes Tälchen ohne oberirdischen Wasserlauf. Dasselbe kann ebenfalls nur durch Einsturz unterirdischer Hohl-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

räume entstanden sein. Es handelt sich dabei um eine Reihenanordnung mehrerer Erdfälle über einem unterirdischen Wasserstrang. Besonders auffallend sind die stehengebliebenen abgerundeten Kuppen, die wie große Maulwurfshügel aus der Mulde aufragen. Diese Gipshügel sind nicht bloß geologisch, sondern auch botanisch interessant, weil hier das seltene Federgras Stipa pennata, ein Steppenrelikt, noch zahlreich vorkommt.

Der neu entstandene große Erdfall ist heute nicht mehr zugänglich. Er ist zum Teil verfallen und wegen der Gefahr des Hineinstürzens vom Grundstückbesitzer mit Reisig zugedeckt und eingeplankt worden. Es wurden aber zwei andere Eingänge entdeckt, die bequemer das unterirdische Höhlensystem befahren lassen. Möglicherweise waren sie einmal zugleich die Austrittsstellen des Grundwassers in früheren Zeiten. Beim ersten Besuch der Höhlen konnte wegen des hohen Standes des Grundwassers nicht weit vorgedrungen werden. Beim zweiten und dritten Besuch jedoch waren infolge langandauernder Trockenheit die Wasserverhältnisse günstiger geworden. Der Wasserspiegel hatte sich bedeutend gesenkt, so daß es an einigen Stellen sogar möglich war, die Höhlen trockenen Fußes zu begehen. Dabei konnte auch eine genauere Durchforschung der Hohlräume vorgenommen werden. Sie sind durchschnittlich nicht ganz 2 m hoch und ihr Verlauf (Hauptrichtungen: W-O, ferner NW-SO; im westlichen Teile der Höhle häufig NO-SW) läßt deutlich erkennen, daß sie auf mehrere tektonische Spalten zurückzuführen sind. Hinsichtlich ihrer Entstehung weichen sie von den bisher bekannt gewordenen wasserführenden Gipshöhlen des Harzes stark ab. Diese letzteren sind fast sämtlich durch unterirdische Flüsse gebildet. Nur die berühmten Mansfelder Schlotten, die erst durch Bergbau in großer Tiefe (zirka 600 m) erschlossen wurden, können nicht durch Flußläufe ausgewaschen sein. Freiesleben (17), der sich eingehend mit diesen Karsterscheinungen im Harz beschäftigt hat, kommt zu dem Schluß, daß die Mansfelder Schlotten durch Auslaugung der im Gips eingeschlossenen Salznester entstanden sein müssen. Penck (52 S. 183) vertritt die Anschauung, daß diese Tiefenhöhlen durch wenig bewegtes, zusammenhängendes Karstwasser infolge Auflösung des Gipses gebildet wurden. Auch die vielbesuchte, nur wenige Meter unter dem Talniveau liegende Barbarossahöhle am Fuße des Kyffhäuser, die ebenfalls erst durch Bergbau erschlossen wurde, soll nach Penck auf die gleiche Weise entstanden sein. Dies bestreitet Haefke (27 S. 121), der sämtliche Höhlen, die ans Talniveau gebunden sind, nicht mehr als Karstwasserhöhlen gelten läßt. Nach ihm ist die Barbarossahöhle ebenso wie die anderen Gipshöhlen des Harzes eine Flußwasserhöhle.

In den Nordheimer Schlotten wurde, wie bereits erwähnt, kein fließendes Wasser angetroffen, obwohl die Hohlräume ganz nahe an die Oberfläche heranreichen. Hier haben wir es mit Grundwasser in gewöhnlichem Sinne zu tun. Dieses Grundwasser erfüllt das ganze Gipskeupergebiet in zusammenhängender Weise. Seine Höhenlage, Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit ist wie überall so auch hier von der lokalen Austrittsstelle abhängig (Ehequellen bei Krautostheim). Es erstreckt sich auch durch die infolge ihrer starken Zer-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

klüftung und Schichtung wasserdurchlässigen Gipsflöze. Im Niveau des Grundwasserspiegels und seiner negativen und positiven Schwankungswerte findet die relativ stärkste Zirkulation statt. Gleichzeitig erfolgt hier auch stärkste Auflösung. Das gewissermaßen in den Grundwasserspiegel hereinhängende, geringmächtige Gipsflöz bildet naturgemäß seichtesten Karst. Von einer Flußwasserhöhle könnte man sprechen, wenn das Wasser geschlossen als Bach den Gips jemals passiert hätte. Das war aber niemals der Fall. Die labyrinthartigen Verzweigungen der Gänge lassen deutlich genug erkennen, daß eine langsame Lösung und Auslaugung durch Grundwasser an sämtlichen Kluftfugen des Gipsgesteins stattgefunden haben muß. Flußhöhlen folgen immer einem Hauptspaltenzug. Die Nebenspalten werden gewöhnlich vom fließenden Wasser nicht zur Zirkulation benützt. Wenn eine Ausweitung derselben erfolgt, so kann sie nur auf die lösende Tätigkeit des Grundwassers zurückgeführt werden.

Wir kommen nun zu den Lösungserscheinungen, die das Grundwasser in den Schlotten schuf. Die unterirdischen Gänge zeigen oft schön gerundete Formen, die künstlich hergestellte Stollen vortäuschen. Wo mehrere solche Stränge zusammenlaufen, stehen Pfeiler, wie von Menschenhand gemeißelt. Man glaubt in einem unterirdischen Klosterkreuzgang sich zu befinden. Wände, Pfeiler und Decken sind mit den prächtigsten Korrosionsformen bedeckt. Nirgends aber zeigt sich der erodierende Einfluß fließenden Wassers. Die schalenförmigen Ausnagungen an den Wänden und die rundlichen Näpfchen an der Decke bilden Formen von wundervoller Reinheit. Die Lösungsformen an der Decke verraten uns, daß das Wasser bei sehr hohem Stand den Höhlenstrang vollständig erfüllt. An manchen Stellen sind Einstürze erfolgt und die Gänge haben dadurch eine wesentliche Verbreiterung erfahren. Die aus dem Wasser ragenden Gesteinstrümmer tragen ebenfalls die Spuren der Korrosion. Auf der Oberfläche sind sie flächenhaft angeätzt; die Unterseite dagegen weist wieder mehr oder weniger tiefe Näpfchen auf. Den Höhlenboden bedeckt eine tiefe Lehmschicht, die zum Teil von den tonigen Verwitterungsrückständen des Gipses gebildet wird, zum Teil aber auch Deckeneinstürzen und geologischen Orgeln, die in die unterirdischen Hohlräume einmünden, ihre Entstehung verdankt. Der Wasserstand ist starken Schwankungen unterworfen. Zu Zeiten starker Wasserführung füllt das Wasser den ganzen Hohlraum aus, wie die bereits beschriebenen Korrosionsformen an der Decke beweisen. In trockenen Perioden fällt der Wasserspiegel beträchtlich. Diese Schwankungen bilden m. E. eine Hauptursache der Deckeneinstürze. Solange das Wasser die Höhle vollständig ausfüllt, wird die Decke von den Wassermassen getragen und kann wegen des allseitig wirkenden Druckes kein Einsturz erfolgen. Wenn aber das Wasser sinkt und der Druck nach oben aufhört, kann infolge starker Belastung oder Erschütterung der Oberfläche die Decke zu Bruch gehen, namentlich wenn Sprünge und Risse im Gestein den Zusammenhang der Schichten bereits gelockert haben.

Etwa 1 km von unseren Höhlen entfernt befinden sich drei starke Quellen, deren Abfluß die Ehe bilden. Es sind klare Quelltöpfe von fast kreisrunder Form mit steil abfallenden Rändern und beträchtlicher Tiefe (1 Lotung ergab 2,20 m).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ihre Gestaltung verdanken die Quelltöpfe der lösenden Tätigkeit des ausfließenden Wassers. Nach Form, Lage und Wasserspende handelt es sich um typische Karstquellen. Daß eine Verbindung mit unterirdischen Hohlräumen besteht, läßt sich deutlich an einigen seitlichen Löchern erkennen. Wahrscheinlich sind diese Quelltöpfe die Austrittsstellen des Grundwassers unseres Höhlensystems. Doch muß erst durch Färbungs- oder Salzungsversuche noch nachgewiesen werden, ob unsere Vermutung richtig ist.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, daß ähnliche Höhlenbildungen, wie sie der Karst des Gipskeupers zeigt, auch von Penck am Priesterstein im südlichen Harz beobachtet wurden. Die dortigen Höhlen liegen etwas tiefer unter der Erdoberfläche (zirka 15 m), haben aber keine so große Ausdehnung. Penck (52) führt sie ebenfalls auf Auslaugung durch Grundwasser zurück im Gegensatz zu Haefke (27), der ihnen den Charakter von Karstwasserhöhlen abspricht, weil seiner Meinung nach alle ans Talniveau gebundenen Höhlen als Flußwasserhöhlen angesehen werden müssen.

Erosions- und Lösungserscheinungen in Schichtfugen

Zu den auffallendsten Kleinformen der Verkarstung gehören die Erosions- und Korrosionserscheinungen in den Schichtfugen. Die bereits beschriebenen Orgeln und Klüfte münden in horizontale Hohlräume des Gipses ein. Es sind dies die erweiterten Schichtfugen der Gipsflöze, zugleich die Abfuhrbahnen des durch die Orgeln und Vertikalklüfte eingedrungenen Sickerwassers. Sohle und Decke der Schichtfugen sind oft nur wenige cm voneinander entfernt; doch können auch Fugen bis zu 20 cm Höhe und darüber beobachtet werden. Das durchströmende Wasser hat in diesen Schichtfugen sowohl auf der Sohle als namentlich auch an der Decke eine Menge der schönsten Reliefbildungen geschaffen, die im nachfolgenden beschrieben werden sollen. Wir beobachten Rillen, Grate, Wirbelbildungen, Bohrungen, Überschneidungen, Verwischungen von Rillen neben besonders stark ausgeprägten Vertiefungen, Vereinigung zweier Systeme von Rillen, Grübchen und anderes mehr.

Diese interessanten Karstformen scheinen bisher noch wenig Beachtung gefunden zu haben; denn ich konnte in der Literatur hierüber nichts finden.

Wohl beschreibt Goldschmidt (24) ähnliche Figuren an den Küstensteinen aus kohlensaurem Kalk von Lovrana in Istrien, aber diese verdanken ihre Entstehung der erodierenden und lösenden Tätigkeit des bewegten Meereswassers und nicht unterirdischen Wasserläufen. Es fehlen darum die prächtigen Erosions- und Lösungserscheinungen, die sich nur an Höhlendecken bilden können, wenn die Hohlräume vollständig mit Wasser erfüllt sind. Das Sickerwasser, das durch die Klüfte und Orgeln des Gipses eindringt, trifft auf die Schichtfugen. Dieselben laufen meist nicht horizontal, sondern sind etwas geneigt und infolge der Aufquellung des Gesteins bei der Umwandlung des Anhydrits in Gips wellenförmig gebogen. In den engsten Schichtfugen arbeitet das lösende Wasser infolge der Adhäsion nur flächenhaft; es greift sowohl die Decke als auch die Sohle in gleicher

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Weise an, vergrößert die Schichtfugen und gleicht kleine Unebenheiten aus. Sobald die Fugen etwas erweitert sind, gerät das Sickerwasser in eine langsame Fließbewegung. Die erodierende Tätigkeit des fließenden Wassers setzt ein und arbeitet zahlreiche parallellaufende Vertiefungen (Rillen) und Erhöhungen (Grate) heraus, eine Form, die wir als Rillenform bezeichnen möchten. Die Rillen können wir besonders schön und rein an der Decke beobachten. Bei der Bildung der Erosionsrinnen spielt die Härte des Gesteins eine große Rolle. Weiche Stellen fallen leichter der Zerstörung anheim als härtere und werden darum stärker ausgenagt. Letztere leisten dem Angriff des erodierenden Wassers länger Widerstand und verursachen wohl auch die Richtungsänderung der Rillen. Wenn mehrere Gerinne zusammenstoßen, bilden sich Wirbel und Strudel, die ganz eigenartige Erosionsformen herausmodellieren. Fig. Nr.8 zeigt solche Wirbelformen. An der Grenzlinie der Strömungen erfolgt eine Stauung und Ablenkung des Wassers; es bilden sich daher Grate. Treffen sich zwei Ströme in einem spitzen Winkel, so bleibt nicht selten vor der Vereinigung ein erhöhtes Stück stehen, das in eine zungenförmige Kante ausläuft. Goldschmidt (24) bezeichnet dieselbe Randlinie (Fig. Nr. 9). Solange die Ströme getrennt fließen, bildet jeder seine eigenen Rillen. Sofort nach der Vereinigung suchen sie sich gegenseitig zu beeinflussen. Der stärkere Strom trägt den Sieg davon und verwischt die Erosionsformen des schwächeren oder zerstört sie auch ganz. In größeren Schichtfugen finden, hervorgerufen durch die fortdauernde Tieferlegung der unterirdischen Gerinne, fortwährende Verlagerungen, Überschneidungen und Verwischungen der Rillen statt (Fig. Nr. 10). An der Decke erscheinen immer noch die schon erwähnten Rillen und Grate. Je größer die Fugen werden, um so ausgeglichener werden sie und desto langsamer fließt auch das Wasser, so daß schließlich gar keine Fließbewegung mehr zu beobachten ist. Die Erosion hört fast ganz auf; das stagnierende Wasser aber setzt seine lösende Tätigkeit fort. Die alten Rillen werden verwischt und zerstört, es bleiben kleine pilzförmige Inselchen stehen (Fig. Nr. 10 rechte Ecke). Bei fortschreitender Zerstörung lösen sich auch diese Inselflächen auf und es entstehen auf den Gipstafeln ähnliche Miniaturgebirge, wie sie Goldschmidt (24) an seinen bereits erwähnten Küstensteinen beschreibt.

Werden durch reiche Niederschläge oder durch Verstopfung einzelner Abzugsbahnen die großen Schichtfugen ganz mit Wasser erfüllt, so erscheinen neue Lösungsformen an der Decke. Die früher durch Erosion gebildeten Rillen lösen sich auf in rundliche oder eckige Grübchen. Nicht selten bilden sie unregelmäßige Sechsecke, die etwas an Bienenwaben erinnern.

An der Decke größerer Hohlräume zeigen sich ferner Verwitterungserscheinungen, die zum Teil auf die Wirkungen des Tropfwassers zurückgeführt werden müssen. Das aufgelöste Material wird mit dem fallenden Wassertropfen weggeführt. Es bleiben an der Decke wiederum kleine teils unregelmäßige geformte Inselchen, teils pilzförmige Hervorragungen stehen, die von einer aufgerauhten Zone umgeben sind. Während nämlich alle Erosions- und Korrosionsformen glatte Oberflächen besitzen, sind die Bildungen, die durch Tropfwasser geschaffen werden, rauh und körnig.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Wie aus vorstehenden Ausführungen ersichtlich ist, läßt sich eine gewisse Abhängigkeit der Erosions- und Lösungsformen von der Weite der Schichtfugen feststellen.

Die schönsten und reinsten Formen erscheinen stets an der Decke. Auf der Sohle des Hohlraums sammeln sich stellenweise die Lösungsrückstände des Gipses, die mergeligen Beimengungen und die vom Wasser mitgeführten Verunreinigungen und bilden eine Schutzschicht für die darunter liegenden Lösungsformen des Gipses.

Nicht selten sind die Rillen der Bodenplatten mit neu ausgeschiedenen Gipskristallen ausgefüllt. Diese letzteren verdanken ihre Entstehung einer Konzentration des Sickerwassers. Teilsweise sind die Kristalle bereits wieder zerstört oder nur noch durch kleine Reste angedeutet. Dies läßt darauf schließen, daß zu Zeiten starker Wasserführung eine Wiederauflösung erfolgte.

Die obersten Schichtfugen sind namentlich dort, wo Orgeln einmünden, mit „Gipsasche" (Verwitterungsrückstände des Gipses) und humusreichem, schwarzem Ton erfüllt. Diese Stoffe können nur durch die Orgeln eingedrungen und vom Sickerwasser in die Tiefe geführt worden sein. Auch kompakte Gipsmassen, die auf weite Strecken hin keine Orgel aufweisen, enthalten mitunter derartige Einschwemmungen. Dies ist besonders schön zu sehen in einem Gipsbruch bei Hellmitzheim (Profil VIII). Dort tritt mehrere Meter unter der Ackererde in einer Gipswand plötzlich eine Schichtfuge (23 cm hoch) auf, die ganz mit tiefschwarz gefärbtem Ton und „Gipsaschestreifen" erfüllt ist. Auch hier läßt sich einwandfrei nachweisen, daß das Ausfüllungsmaterial durch eine allerdings sehr weit entfernte Orgel eingeschwemmt worden ist.

Oft zeigt sich in den Schichtfugen eine Wechsellagerung von breiten „Schwarzerde"bändern und schmalen auskeilenden Streifen von gelblichweißer „Gipsasche". Diese Bildung beruht wohl auf jahreszeitlichen Schwankungen der Wasserführung. Die starken Niederschläge der nassen Jahreszeit führten feinste Tonteilchen als Wassertrübe in die unterirdischen Gerinne, während in den trockenen Zeiten durch Gipsverwitterung eine Ansammlung von „Gipsasche" stattfand, die später an manchen Stellen zusammengeschwemmt wurde, so daß sie sich als weißes Band über die schwarzen Tone legte.

Zuweilen treten auch in ungeschichteten Mergellagen schwarze Tonbänder auf. Sie keilen öfter aus, erscheinen jedoch immer wieder in der gleichen Höhe und bilden an manchen Stellen umgekehrt trichterförmige Verlängerungen nach oben (Fig. Nr. 12).

Diese schwarzen Bänder sind die Ausfüllungen ehemaliger Schichtfugen, die trichterförmigen Gebilde hingegen, die Ausfüllung kleiner Hohlräume zwischen Gipshockern und nachgesackten Mergeln. Durch die fortschreitende Verwitterung sind später auch die letzten Hocker verschwunden und an ihre Stelle die nachgesackten Mergel getreten. Die Unterbrechungen sind darauf zurückzuführen, daß die unterirdischen Gerinne nicht in schnurgerader Richtung verliefen, sondern wie ein oberirdischer Bach zahlreiche kleine Krümmungen im Gipsgestein machen mußten. Im Steinbruch wird daher nicht das ganze Gerinne freigelegt, sondern nur einzelne Teile desselben.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die eingeschwemmten schwarzen Tonbänder aber haben sich als die Ausfüllung einstiger Hohlräume im Gips erhalten und sind so die Zeugen der ehemaligen Schichtfugengerinne. Die umgekehrten schwarzen Trichter im Mergel sind somit als Randklüfte zu bezeichnen. Die nachfolgende Skizze, die im Steinbruch Weid aufgenommen wurde, mag ihre Entstehung veranschaulichen.

Erklärungen: 1 = Gips, 2 = Nachgesackte Mergel, 3 = Humifizierte Mergel („Schwarzerde").

Schwarzerdeähnliche Bildungen im Gipskeuper

Eine besonders auffällige Erscheinung im Bereiche des Gipskeupers unseres Untersuchungsgebietes sind die an manchen Stellen auftretenden tiefschwarzen Böden. Merkwürdigerweise werden sie in der Literatur kaum erwähnt. Nur Schuster (76) kommt darauf zu sprechen. Er bezeichnet diese Bildung als schwarzen Lehm, der aus Mergelschiefern entstanden sei, und bemerkt darüber in einer Fußnote (S. 49): „Die Ursache der tiefen Schwarzfärbung der Mergelschiefer über von Wasser angegriffenen Gipslagern ist noch nicht bekannt. Der schwarze Boden, der offenbar nicht humos ist, ist für Gips im Untergrund geradezu bezeichnend."

Wie ich mich überzeugen konnte, bildet dieser schwarze Boden über Gips keine zusammenhängende Decke. Wir finden ihn nur in Vertiefungen und Mulden, in geologischen Orgeln sowie in Erdfällen. Die Farbe schwankt zwischen tiefschwarz und grau. In gut aufgeschlossenen Profilen sieht man deutlich eine Abnahme der Schwarzfärbung nach unten zu. Nach oben geht der schwarze Boden allmählich in Ackererde über. Seine Struktur ist verschieden, bald bröckelig, bald prismatisch. Die oberen Schichten zerbröckeln leichter als die unteren, was wohl auf die weiter fortgeschrittene Verwitterung zurückzuführen ist.

In der Hauptsache besteht die schwarze Erde aus Ton. Beim Schlämmen finden sich kleinere Mengen von Quarz, sowie Zirkon und Anatas, also Mineralien die auch im Keupermergel angetroffen werden. Ferner sind vorhanden kleine Kalkkonkretionen und Gipskristalle. Durchzogen ist der schwarze Boden von Wurzelfasern.

Im Steinbruch bei Hellmitzheim konnte ich folgendes Profil aufnehmen:

1. Ackerboden . . . . 1,20 m
2. Tiefschwarzer Ton . 0,40 m
3. Rotbraune Tonlage . 0—0,05 m
4. Weniger dunkler Ton 1,60 m

Liegendes: Keupermergel.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

An anderen Stellen erreicht die Mächtigkeit der schwarzen Tone sogar 3—4 m.

Um festzustellen, ob der schwarze Boden wirklich nicht humos ist, wie Schuster glaubt, habe ich ihn eingehend chemisch untersucht. Er bildet festgefügte Brocken, die selbst beim Kochen und bei der Behandlung mit Wasserstoffsuperoxyd nicht in ihre feinsten Bestandteile zerfallen wollen.

Eine Probe wurde der trockenen Destillation unterworfen. Dabei ergab sich ein Destillat, das in der Hauptsache aus Wasser bestand, aber auch organische Stoffe enthielt. Dieselben verbreiteten einen durchdringenden naphtalinähnlichen Geruch und zeigten alkalische Reaktion.

Weitere Proben wurden mit Kalilauge behandelt. Es stellte sich geringe Braunfärbung ein, die in ihrer Stärke wieder je nach der Färbung des untersuchten Materials wechselte. Im angesäuerten Filtrat erfolgte nach längerem Stehen eine Ausflockung der in Lösung gegangenen Humussäuren. Bei der Behandlung mit Ammoniak trat keine Verfärbung ein, Schwefelsäure färbte sich je nach dem wechselnden Humusgehalt mehr oder weniger schwarz.

Noch deutlicher waren die Reaktionen, wenn die zu untersuchenden Bodenproben vorher durch Salzsäure von karbonatischen Bestandteilen befreit und dann bis zum Verschwinden der Chloridreaktion mit Wasser ausgewaschen worden waren. Nun ergab eine Behandlung mit Kalilauge eine viel stärkere Braunfärbung der Lauge als vorher.

Auch durch Ammoniak konnte ein stark dunkelgefärbtes Filtrat gewonnen werden. In beiden Fällen wurde durch Ansäuern mit Salzsäure Ausflockung der Humusstoffe hervorgerufen. Das Ausziehen der Humusstoffe mit Ammoniak konnte so lange fortgesetzt werden, bis das Material eine graugrüne Färbung (ähnlich dem Mergelboden, aus dem es durch Verwitterung entstanden ist) zeigte. Es besteht also kein Zweifel, daß die Färbung der schwarzen Böden auf Humusstoffe zurückzuführen ist. Vielleicht hätte sich auf dem beschriebenen Wege auch eine quantitative Bestimmung des Humusgehaltes ermöglichen lassen (Methode Grandeau). Auf ihre Anwendung wurde verzichtet, weil sie allzu große Fehlerquellen in sich birgt. Ein Teil der Humusstoffe geht nämlich mit den Karbonaten und Sesquioxyden gleichzeitig in Lösung, so daß die Bestimmung ungenau wird.

Das Verhalten der mit Salzsäure vorbehandelten Bodenproben gegenüber Ammoniak läßt deutlich erkennen, daß die dunkle Färbung nur auf beigemengte organische Stoffe zurückgeführt werden kann. Eine rein mineralische Dunkelfärbung durch Manganverbindungen kommt nicht in Betracht; denn die chemische Analyse ließ nur Spuren von Mangan erkennen. Die Versuche, die mit karbonatfreien Proben durchgeführt wurden, zeigen, daß die Humusstoffe an Karbonate, besonders an kohlensauren Kalk, gebunden sind, daß demnach Kalkhumate vorliegen.

Adsorptiv nicht gebunden sind nur verhältnismäßig kleine Mengen von Humusstoffen, wie die leichte Braunfärbung der Kalilauge durch lufttrockene Bodenproben beweist.

Die chemische Analyse hatte folgendes Ergebnis:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Gewicht %

	I	II	III	IV
CaO	2,57	1,61	1,48	2,33
MgO	4,10	0,93	2,59	3,45
Fe_2O_3	4,79	3,98	4,77	3,30
Al_2O_3	9,86	3,61	7,52	10,42
Mn_3O_4	0,77	0,43	0,56	Spur
SO_3	Spur	Spur	—	0,14
Lösliche SiO_2	0,28	0,32	—	—
Unlöslich	62,86	80,46	75,69	68,96
Glühverlust	13,94	8,19	7,37	10,66
	99,17%	99,53%	99,98%	99,26%

Umrechnung

	I	II	III	IV
$CaCO_3$	4,58	2,97	2,64	4,00
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Spur	Spur	—	0,29
$MgCO_3$	8,61	1,95	5,43	7,24
Fe_2O_3	4,79	3,98	4,77	3,30
Al_2O_3	9,86	3,61	7,52	10,42
Mn_3O_4	0,77	0,43	0,56	Spur
Lösliche SiO_2	0,28	0,32	—	—
Unlöslich	62,86	80,46	75,69	68,96
Organische Substanz n. Knop	3,28	1,47	1,21	1,09
H_2O	4,14	4,44	2,16	3,96
	99,17%	99,53%	99,98%	99,26%

Nr. I: Von Hellmitzheim (bröckelig körnig; tiefschwarz).
Nr. II: Von Hellmitzheim aus ca. 3 m Tiefe (prismatisch).
Nr. III: Von Hellmitzheim aus obigem Profil Nr.2 (klumpig).
Nr. IV: Von Gebsattel bei Rothenburg (körnig; tiefschwarz).

Wie läßt sich nun die Bildung dieser „Schwarzerde" im Gipskeuper erklären?

Auffallend ist zunächst die Tatsache, daß alle schwarzen, humushaltigen Böden nur in muldenförmigen Vertiefungen angetroffen werden. Diese Erscheinung läßt vermuten, daß bei ihrer Bildung das Wasser eine hervorragende Rolle gespielt haben muß. Eine Anreicherung mit Humusstoffen ist nur möglich, wenn die Zersetzung der abgestorbenen Pflanzenreste langsam und unvollständig vor sich geht. Die Erfahrung lehrt, daß bei Trockenheit eine so rasche Zersetzung der Pflanzenreste erfolgt, daß nur ganz geringe Mengen von Humus übrigbleiben. Nur unter Wasser und unter teilweisem Luftabschluß können sich größere Mengen von Humusstoffen bilden, so daß eine Humifizierung des unterlagernden Gesteines erfolgen kann.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Daß im Windsheimer Gau einst große Wasseransammlungen (Seen) vorhanden waren, beweist das Auftreten der Seekreide, die im folgenden Kapitel zu behandeln ist. Auch der Grundwasserspiegel muß ehedem ein höheres Niveau eingenommen haben, wie die bereits besprochenen Karsterscheinungen in den Schichtfugen der Gipslager beweisen dürften. Ein Steigen des Grundwassers in Zeiten reicherer Niederschläge setzte wohl auch die unteren Teile der geologischen Orgeln, die mit den Schichtfugen in Verbindung standen, unter Wasser. Es bildeten sich tiefe Wasserlöcher im Gips, in denen sich Humusstoffe ansammelten, die dann die Humifizierung der Ausfüllungsprodukte (verwitterte Keupermergel) herbeiführten. In tieferen Lagen des Gipskeupers trifft man heute noch derartige Wasserlöcher gar nicht selten an. In kleinen Bodenvertiefungen der Keupermergel bildeten sich sumpfige Stellen, in denen ebenfalls die Humifizierung der Unterlage erfolgen konnte.

Die schwarzerdeähnlichen Bildungen des Gipskeupers sind nicht auf Gips allein beschränkt. Ganz ähnliche Ablagerungen treten über Seekreide auf und zwar in noch viel größerem Maßstabe. Hier dürfte es sich wohl um fossilen Faulschlamm (Sapropel, Detritusgyttja, Lebermudde) handeln, der sich im Postglazial bildete, nachdem die Seekreideablagerung zum Abschluß gekommen und bereits eine Verflachung der Seen eingetreten war. Der Faulschlamm leitete die allmähliche Verlandung der Seen ein, die heute sämtlich verschwunden sind. Zur Bildung von größeren Flachmooren scheint es nicht mehr gekommen zu sein, wenn auch vereinzelt Ansätze hierzu vorhanden sind, die sich durch kleine Torfeinstreuungen im Boden verraten.

Im folgenden gebe ich die Analyse eines Faulschlammbodens über Seekreide von Nordheim:

Gewicht %		Umrechnung	
CaO	4,26	$CaCO_3$	7,60
MgO	3,58	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Spur
Fe_2O_3	5,66	$MgCO_3$	7,51
Al_2O_3	9,67	Fe_2O_3	5,66
Mn_3O_4	0,25	Al_2O_3	9,67
SO_3	Spur	Mn_3O_4	0,25
Unlöslich	56,35	Unlöslich	56,35
Glühverlust	19,62	Organische Substanz (Elementaranalyse)	4,00
		H_2O	8,35
	99,39%		99,39%

Die Umsetzung der organischen Reste erfolgte in allen Fällen meist unter vollständiger Zerstörung der Struktur. Nur manchmal fanden sich kleinere oder größere Stückchen verkohlter Pflanzenteile. Das Bodenprofil im Hellmitzheimer Bruch zeigt eine dünne Schicht von rotbrauner Färbung mit zahlreichen eingeschlossenen Kohlenresten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

In welche Zeit die Entstehung der schwarzen, humosen Böden fällt, läßt sich nur vermuten. Es wird wohl eine Periode mit reichen Niederschlägen gewesen sein. Als solche kommt nur die sogenannte „Atlantische Zeit“[1] des Postglazials in Betracht. Die Bildung schwarzerdeähnlicher Böden hörte auf, als ein Klimawechsel eintrat, der die „Subboreale Zeit“[1] (trockene Steppenzeit) einleitete. Unter den heutigen klimatischen Verhältnissen bildet sich im fränkischen Gipskeuper wohl keine „Schwarzerde“ mehr.

Schwarzerde findet sich in Deutschland an vielen Orten, immer aber ist das Vorkommen an Niederungen gebunden. Es seien nur einige Fundstellen erwähnt. Stadler (82) beschreibt Schwarzerde aus der Passauer Gegend. Diese Schwarzerde ist humifizierter Löß, der unter dem Einfluß stagnierender Gewässer entstanden ist. Reis (65 S.167) erwähnt Schwarzerde aus der Umgegend von München, die ebenfalls ihre Entstehung dem Löß verdankt. Linstow (45 S.130) berichtet über Schwarzerde von Köthen in Anhalt, die entstanden ist durch Humifizierung von Löß und Geschiebemergel. Ich suchte diesen letztgenannten Fundort auf, um die mitteldeutsche Schwarzerde aus eigener Anschauung kennenzulernen. Sie weicht hinsichtlich ihrer Farbe und ihrer Struktur von der Windsheimer Schwarzerde ab; denn sie ist mehr braun und von viel lockerer, krümeliger Beschaffenheit. Zurückführen möchte ich dies auf die Eigenart des Muttergesteins, aus dem diese Schwarzerde sich gebildet hat. Die mitteldeutsche Schwarzerde lagert nämlich zumeist auf Geschiebelehm und Löß, die Windsheimer „Schwarzerde“ hingegen auf schwerem Keupermergel und Gips.

Die russischen Bodenforscher lassen die deutsche Schwarzerde nicht als typische Schwarzerde gelten; sie behaupten, daß in einem humiden Klima, wie es Deutschland gegenwärtig besitzt, die Schwarzerde eine Veränderung erfahren muß. Sie sprechen deshalb von veränderter Schwarzerde oder degradiertem Tschernosem. Nach den Anschauungen der Russen soll der echte Tschernosem nur in Ländern mit ausgesprochen kontinentalem Klima unter Beteiligung einer krautartigen Steppenvegetation entstehen. Wassermangel im Sommer und strenger Frost im Winter sollen einen völligen Abbau der Pflanzenreste verhindern, so daß Humus in reichen Mengen im Boden verbleibt. Diese Ansicht wird heute auch von vielen deutschen Forschern geteilt (Hohenstein 33, Ramann 61, Stremme 84). Andere namhafte Forscher aber bestreiten die Richtigkeit dieser Anschauung und verweisen auf die Tatsache, daß unter gewöhnlichen Bedingungen im trockenen Klima sich niemals so große Mengen von Humusstoffen ansammeln können, wie sie die stellenweise mehrere Meter mächtige russische Schwarzerde enthält (Lang 42, Linstow 45 u. a.). Sie sind der Ansicht, daß Schwarzerde sich nur unter Wasser bei teilweisem Abschluß der Luft gebildet haben kann. Die russische Steppe ist heute das Hauptverbreitungsgebiet der Schwarzerde und darum glauben die russischen Bodenforscher, daß eine reiche Steppenvegetation und ein ausgesprochenes Steppenklima notwendig ist zur Bildung der Schwarzerde. Sie übersehen dabei aber meiner Ansicht nach, daß

[1] Vgl. Gams-Nordhagen, Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa (20).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

die Schwarzerde eine fossile Bildung ist und eine Neubildung in den heutigen Steppenländern nicht mehr erfolgt.

Der Streit über die Entstehung der russischen Schwarzerde (Tschernosem) wird noch lange dauern. Für die fränkische „Schwarzerde" im Bereich des Gipskeupers aber besteht wohl kein Zweifel mehr, daß sie in einer Zeit mit humidem Klima durch Humifizierung der verwitterten Keupermergel unter Wasser bei teilweisem Luftabschluß entstanden ist.

Die Seekreideablagerungen

An mehreren Stellen unseres Arbeitsgebietes liegt unter dem tiefschwarzen Faulschlammboden eine feinerdige Kalkablagerung, die gewöhnlich erst beim Ausheben von Gräben zutage tritt. Die Untersuchung hat ergeben, daß es sich um sogenannte Seekreide handelt.

Über die Entstehung der Seekreide und ähnlicher Kalkablagerungen herrschen in der Literatur zahlreiche Unklarheiten und teilweise sogar Widersprüche, weshalb es notwendig erscheint, auf diese Bildungen etwas näher einzugehen und die Begriffe Kalktuff, Alm, Seekreide und Quellkalk eindeutig festzulegen.

Gemeinsam ist allen diesen Ablagerungen der hohe Prozentsatz an kohlensaurem Kalk. Der Wassergehalt ist starken Schwankungen unterworfen. Frischer Alm und Seekreide können 10—40% Wasser enthalten, während Kalktuff trotz seiner großen Porosität nur ganz geringe Wasseraufnahmefähigkeit besitzt.

Als weitere Beimengungen kommen in Betracht: Magnesium, Eisen, Alkalien, Kieselsäure und Tonerde. Doch sind diese nur von untergeordneter Bedeutung und lediglich als Verunreinigungen aufzufassen. Viel wichtiger ist der Gehalt an Humusstoffen, der manchmal bis zu 8% betragen kann. Durch chemische Analysen lassen sich Kalktuff, Seekreide und Alm in den meisten Fällen nicht unterscheiden. Von vielen Autoren wird als Unterscheidungsmerkmal der Gehalt an Magnesium angegeben. Alm und Seekreide sollen stets weniger als 1% Magnesiumoxyd enthalten. Größere Mengen als ½% sind nach Thurn (90) erst nachträglich als Magnesiumsilikate in die Ablagerungen gelangt. Nach Ansicht des Genannten rufen solche Magnesiumbeimengungen eine Veränderung des physikalischen Zustandes hervor, indem sie Verhärtung verursachen, wodurch lockere Kalkbildungen in Kalktuffe übergeführt werden. Somit wäre also ein Magnesiumgehalt bis zu ½% charakteristisch für Alm und Seekreide, ein höherer für Kalktuff. Wie jedoch Klähn (36 S. 390—340) an Kalktuffen aus dem fränkischen Jura zeigen konnte, kann der Magnesiumgehalt bis auf ganz geringe Spuren zurückgehen, ohne daß eine Änderung des physikalischen Zustandes eintritt. H. Fischer (13 S. 230) beschreibt eine magnesiumreiche Seekreide von Garbenteich im Vogelsberg, die ihren Magnesiumgehalt (21,80% MgO) der Zersetzung der Olivine im Basalt verdankt. Leider läßt sich aus der Beschreibung nichts über die physikalischen Eigenschaften dieser Seekreide in Erfahrung bringen. Ich glaube aber, daß es sich um einen Süßwasserdolomit handelt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ein Vergleich verschiedener Analysen von Alm (Seekreide hier inbegriffen) und Kalktuff zeigt deutlich, daß die Annahme, der Magnesiumgehalt bedinge die physikalischen Eigenschaften des Kalksediments, vollständig unbegründet ist. Kalktuff, der nur Spuren von Magnesium aufweist, kann trotzdem seine Härte behalten, während Seekreide (Alm) mit doppelt so viel Magnesium locker bleibt.

Aus den vorstehenden Ausführungen geht also klar hervor, daß die chemische Untersuchung nicht ausreicht, wenn wir eine genaue Einteilung und Klassifizierung der Süßwasserkalkablagerungen vornehmen wollen. Insbesondere kann der schwankende Magnesiumgehalt nicht als brauchbares Einteilungsmoment benützt werden. Wir müssen neben den chemischen vor allem die physikalischen Eigenschaften berücksichtigen; denn sie allein liefern unseres Erachtens sichere Unterscheidungsmerkmale, die eine scharfe Trennung von Kalktuff, Alm und Seekreide ermöglichen.

Der Kalktuff kann in der verschiedensten Ausbildung auftreten. Bald ist er dicht und fest, bald porös und weniger zusammenhängend. Häufig sind Hohlräume anzutreffen, die von umkrusteten Pflanzenteilen herrühren. Auch Blattabdrücke kommen nicht selten vor. Nie läßt sich Kalktuff zwischen den Fingern zerreiben, auch nicht in den weichsten Varietäten; dies ist wohl das wichtigste Unterscheidungsmerkmal gegenüber allen Seekreiden und Almen. Die Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, fehlt dem Kalktuff fast vollständig. Beim Verwittern zerfällt er nicht, sondern löst sich nur allmählich wieder auf. Wegen seiner großen Wetterfestigkeit eignet er sich besonders gut als Bau- und Zierstein.

Alm und Seekreide, die sich in ihren physikalischen Eigenschaften nicht unterscheiden, bilden im frischen Zustand eine breiige, zähe Masse, die dem Wasser in hohem Grade die Durchlässigkeit versagt. Sobald sie aber durch Senkung des Grundwasserspiegels oder durch andere Vorgänge aus dem Bereich des Wassers kommen, trocknen sie allmählich aus und bekommen dadurch eine lockere und feinkörnige Beschaffenheit. In diesem Zustande lassen sie sich mühelos zwischen den Fingern zu feinstem Pulver zerreiben. Wegen der Feinheit des Kornes sind Alm und Seekreide befähigt, große Wassermengen aufzunehmen und lange Zeit zurückzuhalten. Den Atmosphärilien gegenüber zeigen sie ein ganz anderes Verhalten als der Kalktuff. Wenn Alm und Seekreide verwittern, zerfallen sie vollständig und liefern deshalb einen vorzüglichen Kalkdünger. Eine wichtige Rolle spielt bei ihnen, wie schon erwähnt, der Humusgehalt. Durch die größere oder geringere Menge der humosen Stoffe lassen sich die physikalischen Verschiedenheiten vieler Alm- und Seekreidebildungen erklären. Die humusarmen oder humusfreien Varietäten sind in getrocknetem Zustand mürbe, zerreiblich und rauh. Die humusreicheren dagegen gehen beim Trocknen aus einem weichen Brei unter starker Volumverminderung in eine knorpelige bis hornartige Substanz über. Die älteren Autoren, wie Sendtner (78), Senft (79) und andere, die einen Unterschied zwischen Alm und Seekreide noch nicht kannten, behaupteten, der Alm sei amorph. Unter dem Mikroskop zeigt aber die Seekreide wie der Alm eine mehr oder weniger gut ausgeprägte kristal-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

line Beschaffenheit. Schon die gallertige oder schleimige Masse des Anfangsstadiums besteht in der Hauptsache aus Krümeln oder Klümpchen, die sich aus Sphäriten zusammensetzen. Manche Ablagerungen (z. B. die Seekreide von Nordheim) enthalten auch größere Körner, die aus kleinen Kalkspatrhomboedern aufgebaut sind. Seltener finden sich in der mikrokristallinen Grundmasse kleine, 1—2 mm große Einzelkristalle von Calcit (Seekreide von Grettstadt).

Auf Grund der physikalischen Eigenschaften können wir also typischen Alm und typischen Kalktuff leicht auseinanderhalten. Schwierigkeiten entstehen nur dann, wenn es sich darum handelt, Kalktuffe von sandig-körniger Beschaffenheit und Alme mit gröberem Gefüge zu trennen. Das beste Unterscheidungsmerkmal ist in diesem Falle das Verhalten des Gesteins beim Zerreiben zwischen den Fingern. Münichsdorfer (49) schlägt vor, den unzerreiblichen, feinkörnigen Kalktuff als „Tuffsand" zu bezeichnen, den grobkörnigen, aber leicht zerreiblichen Alm dagegen mit dem Ausdruck „tuffiger Alm" zu benennen. Seekreide und Alm zeigen hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften keine Unterschiede. Um sie trennen zu können, müssen wir uns noch etwas mit der Entstehungsweise der verschiedenen Kalkablagerungen beschäftigen.

Kalktuff bildet sich stets, wenn kalkhaltige Wässer als Quellen zutage treten und einen Teil ihrer Kohlensäure an die Luft abgeben, so daß das Calciumbikarbonat nicht mehr in Lösung bleiben kann und als kohlensaurer Kalk ausfallen muß. Dabei wirkt auch die Vegetation am Quellenrand mit, die ebenfalls durch Kohlensäureentzug bei der Assimilation eine Kalkausfällung verursacht. Die Kalkausscheidung kann sowohl subaerisch als auch subaquatisch erfolgen. Eine Fällung durch Humusstoffe scheint beim Kalktuff ausgeschlossen zu sein.

Alm entsteht in Mooren, wenn unter dem Einfluß von Humussolen kohlensaurer Kalk ausgeschieden wird. Er ist somit eine rein anorganische Bildung. Die hier und da eingeschlossenen Conchylien, meist Landschnecken, haben keinerlei Mitwirkung bei der Kalkabscheidung; denn sie sind erst nachträglich in die Almablagerung verfrachtet worden.

Seekreide ist eine Ablagerung offener, stagnierender Gewässer. Hier wird der Kalkabsatz durch die Lebenstätigkeit von Wasserpflanzen, hauptsächlich Characeen und Wassertieren (Conchylien) bewirkt. Die Ausscheidung erfolgt also zum größten Teil auf organischem Wege.

Nach den bisherigen Ausführungen ist also der Kalktuff ein Quellabsatz, der Alm eine Moorbildung und die Seekreide eine Ablagerung größerer stehender Gewässer.

Wenn Seekreide in einem Moorprofil vorkommt, so bildet sie die Unterlage der Torfschichten, und dies weist darauf hin, daß das Moor durch Verlandung eines ehemaligen Sees entstanden ist. Alle seekreideartigen Bildungen, die in Mooren als Zwischenlagen auftreten, sind nicht echte Seekreide, sondern Alm.

Die jeweilige Prüfung der physikalischen Eigenschaften der Kalkablagerun-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

gen sowie die Untersuchung der eingeschlossenen Tier- und Pflanzenreste wird auch in zweifelhaften Fällen Aufschluß geben über die Art der Entstehung und so eine richtige Klassifikation ermöglichen.

Betrachten wir nunmehr das Vorkommen der Seekreide bei Nordheim am Fuße des Steigerwaldes. Durch die weite fruchtbare Ebene, die von Schilfsandstein- und Blasensandsteinhöhenzügen eingeschlossen wird, fließen heute nur noch einige armselige Wässerlein, die der Ehebach sammelt. Einige, wie der Irrbach, versiegen im Sommer fast ganz. Der größte Teil der Niederschläge gelangt nicht in diese Wasserläufe, sondern versickert im stark zerklüfteten Gips, der an vielen Stellen offen zutage tritt und der von zahlreichen unterirdischen Wassersträngen durchzogen wird. An den tiefstgelegenen Stellen treten wiesenmoorähnliche Bildungen auf, die von Entwässerungsgräben durchzogen sind. Bei der Anlage dieser Gräben kommt überall Seekreide zum Vorschein. Überlagert wird sie von einer mehr oder weniger mächtigen Humusablagerung von tiefschwarzer Farbe, die wir weiter vorne bereits als Faulschlammbildung kennengelernt haben. Auch die tiefgelegenen Äcker, die ihre große Fruchtbarkeit diesem Faulschlammboden verdanken, enthalten Seekreide; durch die Wühlarbeit der Maulwürfe tritt sie überall zutage.

In einem frisch ausgehobenen Graben konnte ich folgendes Profil aufnehmen:

Wiesenboden (Humusdecke): 10 cm,
schwarzer Faulschlammboden: 30 cm,
Gelbliche Seekreide aufgeschlossen: 20 cm.

Durch eigene Grabung konnte ich eine Mächtigkeit der Seekreideablagerung bis zu 1,40 m feststellen. Doch scheint dieselbe noch tiefer hinabzugehen, da ich das Liegende mit dem Spaten nicht erreichen konnte. Bei dem Bau einer neuen Brücke über den Irrbach zwischen Krautostheim und Herbolzheim wurde ebenfalls Seekreide angeschnitten. Durch die Arbeiter erfuhr ich, daß in der weißen Erde, die sie „Schnallaputzi", d. i. Putzmittel für Pferdegeschirr, nennen, ein Schacht von ca. 3 m Tiefe angelegt wurde, ohne daß es möglich war, einen festen Baugrund zu erreichen. Selbst die eingetriebenen Holzpfähle von 5 m Länge stießen noch auf keinen Widerstand. Wir dürfen also annehmen, daß die Gesamtmächtigkeit der Ablagerung mindestens über 3 m beträgt. Beim Graben in der Seekreide fiel mir ein starker Schwefelwasserstoffgeruch auf, der nach der Tiefe immer mehr zunahm. Die Farbe der frischen, schmierigen, stark mit Wasser durchsetzten Seekreide ist fast gelb, doch nimmt sie beim Abtrocknen einen mehr weißlichen Ton an. Die eingeschlossene Fauna und Flora beweist, daß die Ablagerung in einem größeren stehenden Gewässer zum Absatz kam. Stellenweise fanden sich fetzenartige Einlagerungen von Faulschlamm, die wohl erst nachträglich durch ihre Schwere in die noch weiche gallertige Seekreide einsanken.

An fossilen Einschlüssen fanden sich zahlreiche Reste von Characeen, insbesondere die hübschen spiralumwundenen Oogonien, ferner eine große Anzahl von Mollusken und Ostrakoden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die Mollusken, die nach Geyer (21) bestimmt wurden, setzen sich aus folgenden Arten zusammen:

Bythinia tentaculata L. s. h.,[1]
Radix ovata Drap. s. h.,
Limnaea stagnalis L. s. s.,
Valvata cristata Müll. s. h.,
Planorbis planorbis L. s. h.,
Paraspira spirorbis L. n. h.,
Armiger crista f. nautileus L. n. s.,
Physa fontinalis L. n. h.
Pisidium personatum Malm h.,
Pisidium casertanum Poli h.,
Succinea pfeifferi Rossm. h.,
Vertigo antivertigo Drap. h.,
Pupilla muscorum Müll. s. s.,
Euconulus trochiformis Montagu s. s.,
Vallonia pulchella Müll. s. s.,

Wie aus vorstehender Liste ersichtlich ist, bestehen die eingeschlossenen Reste in der Hauptsache aus Tieren, die im Wasser leben. Nur vereinzelt treten Landschnecken auf, wie Succinea pfeifferi, die bekanntlich aber auch auf Wasserpflanzen vorkommt, sowie Vertigo antivertigo, Pupilla muscorum, Euconulus trochiformis und Vallonia pulchella, die mit Vorliebe auf feuchten Wiesen oder an den Rändern von Seen sich aufhalten und daher leicht in die Ablagerungen der Seen eingeschwemmt werden können.

Ostrakoden, die bisher in Seekreide nur selten beobachtet wurden, fanden sich nach dem Schlämmen in zahllosen Mengen.

Herr Dr. K. Hucke-Templin hatte die große Güte, das gesammelte Ostrakodenmaterial in liebenswürdiger Weise zu bestimmen. Für seine Bemühungen sei ihm auch an dieser Stelle nochmals bestens gedankt.

Er konnte folgende Arten feststellen:

Cyprinotus salina Brady?,
Candona fabäeformis Fischer,
Candona parallela G. W. Müller,
Paracandona euplectella Br. u. Norm.,
Notodromas monacha O. F. Müller,
Cypridopsis aculeata Lilljeborg.

Im Schlämmrückstand fanden sich ferner neben zahlreichen Oogonien von Chara ganz vereinzelt weiße rundliche Körnchen von kohlensaurem Kalk, die aus lauter winzig kleinen Kalkspatrhomboedern zusammengesetzt sind.

Um die Zusammensetzung der Seekreide genau kennenzulernen, wurde eine chemische Analyse angefertigt. Als Analysenmaterial benutzte ich eine mög-

[1] s. h. = sehr häufig, s. s. = sehr selten, n. h. = nicht häufig, n. s. = nicht selten, h. = häufig.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

lichst reine, von allen Molluskenschalen und sonstigen Beimengungen befreite Probe. Die pulverisierte Substanz wurde bei etwas über 100° bis zur Entfernung des H_2O getrocknet.

Die Analyse ergab:

Gewicht %		Umrechnung	
Glühverlust	44,30	$CaCO_3$	91,50
Unlöslich	0,24	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	5,37
SiO_2	0,20	$MgCO_3$	0,25
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,27	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,27
CaO	52,99	Unlöslich	0,24
MgO	0,12	SiO_2	0,20
SO_3	2,50	Organische Substanz	1,08
	100,62%	H_2O (Rest)	1,71
			100,62%

Der Glührückstand war vollständig weiß. Beim Erhitzen der Substanz im Glühröhrchen machte sich ein unangenehmer Geruch bemerkbar, der am besten mit dem Geruch kalter Zigarrenasche verglichen werden kann. Bei der Behandlung mit Salzsäure erfolgte eine Ausscheidung der organischen Bestandteile. Eine Schwefelwasserstoffentwicklung trat nicht ein; dies ist insofern auffallend, als bei der Entnahme der Proben aus dem Boden sich Schwefelwasserstoffgeruch deutlich bemerkbar machte. Offenbar ist das freigewordene Gas sofort in die Luft entwichen. Mit Kalilauge behandelt zeigte sich intensive Braunfärbung. Beim Ansäuern dieses Kalilaugenauszugs mit HCl erfolgte erst nach längerem Stehen eine Ausflockung der gelösten organischen Stoffe. Auch mit Ammoniak ließ sich die organische Substanz vollständig entfernen, so daß zur Bestimmung des Humusgehalts die Grandeausche Methode Anwendung finden konnte. Eine Ausflockung des Organischen beim Ansäuern mit Salzsäure fand hier jedoch nicht statt.

Woher stammt nun der kohlensaure Kalk unserer Seekreideablagerung? Der naheliegendste Gedanke ist wohl der, daß der kohlensaure Kalk durch Auslaugung der dolomitischen Gesteine des Gipskeupers gewonnen wurde. Bei dieser Auslaugung wird zunächst der leichter lösliche kohlensaure Kalk weggeführt; dann gehen aber auch größere oder geringere Mengen von Magnesiumkarbonat in Lösung, die in den Ablagerungen der Gewässer sich wieder finden müssen. Die chemische Analyse unserer Seekreide hat aber ergeben, daß nur ganz geringe Spuren von $MgCO_3$ (0,25%) vorhanden sind. Ich glaube daher, daß dolomitische Gesteine bei der Lieferung des kohlensauren Kalkes nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen. Zwar hat Klähn in seiner Arbeit erwähnt (36), daß die aus magnesiumhaltigen Wässern hervorgegangenen Kalkablagerungen ebenfalls nur einen geringen Prozentsatz des ursprünglichen Magnesiumkarbonatgehaltes aufweisen. Doch handelt es sich hier um kalktuffähnliche Absätze, die sofort als feste Masse ausgefällt wurden. Die Seekreide hingegen wird als humose und organogene,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

gelartige Masse ausgeschieden, die aus magnesiumhaltigem Wasser nicht unbeträchtliche Mengen von Magnesiumkarbonat aufnehmen kann.

Auffallend ist nun die Tatsache, daß die chemische Analyse der Seekreide neben 0,25% $MgCO_3$ noch 2,50% SO_3 (auf $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ umgerechnet = 5,37%) ergeben hat. Das läßt darauf schließen, daß die Seekreide nicht aus dolomitischen Gesteinen, sondern aus Gips hervorgegangen ist. Es ist dies um so wahrscheinlicher, als rings um Nordheim Gips in großen Mengen auftritt und dortselbst das Hauptgestein des Bodens bildet. Das dortige Gipslager enthält zahlreiche vom Wasser ausgelaugte Höhlen, in denen sich wie schon erwähnt die interessantesten Karsterscheinungen studieren lassen. Das gipshaltige Wasser, das heute noch das weitverzweigte Höhlensystem durchzieht, mag einst in jenen großen See geflossen sein, in dem die Seekreide zur Ablagerung kam. Möglicherweise hat das durch Verwesung organischer Stoffe entstandene Ammonkarbonat Gips in kohlensauren Kalk übergeführt nach der Gleichung:

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4.$$

Eine Umwandlung des Gipses in kohlensauren Kalk kann aber auch dadurch erfolgt sein, daß durch die Zersetzung großer Mengen organischer Substanz zunächst eine Reduktion des gelösten Gipses zu Calciumsulfid stattfand. Das neugebildete CaS wird bei Anwesenheit von Kohlensäure und Wasser schließlich in kohlensauren Kalk übergeführt:

$$CaS + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + H_2S.$$

Der dabei freiwerdende Schwefelwasserstoff entweicht zum Teil in die Luft, zum Teil aber wird er auch vom Wasser absorbiert und bleibt dann der Seekreideablagerung erhalten. Auf diesen Umstand ist auch der intensive Geruch, der sich beim Herausgraben der frischen Seekreide bemerklich macht, zurückzuführen.

Ein Teil des Gipses kann jedoch bereits im Innern der mit Wasser erfüllten Schlotten des Gipslagers eine Umsetzung in kohlensauren Kalk erfahren haben. Zu dieser Annahme berechtigen gewisse Beobachtungen, die ich in allerjüngster Zeit in diesen Wasserhöhlen machte. Auf der Oberfläche des stagnierenden Wassers hatten sich zahlreiche kaum ¼ mm dicke Kristallplättchen gebildet. Stellenweise bedeckten sie den Grund in 20—30 cm Mächtigkeit als geschichtete Ablagerungen. Außer geringen Mengen von Lehm und einigen Gipsbröckchen waren keine weiteren Verunreinigungen darin enthalten. Daß in einer nicht konzentrierten Lösung solche Mengen von Kristallen sich ausscheiden können, ist eine überaus merkwürdige Erscheinung. Unter das Mikroskop gebracht, erwiesen sich die Kristallplättchen als ein zierliches Haufwerk kleinster Skalenoeder. Die chemische Untersuchung dieser Plättchen ergab, daß sie nicht aus Gips bestanden, wie man wegen des überall vorhandenen Gipsgesteins vermuten könnte, sondern aus kohlensaurem Kalk. Schwefelsäure konnte nur in ganz geringen Spuren nachgewiesen werden, obwohl Gips im Wasser in größeren Mengen aufgelöst enthalten ist. Die leichte Löslichkeit des in großen Massen vorhandenen Gipses einerseits, die geringe Mächtigkeit der viel schwerer löslichen Steinmergelbänke des Grundgipses andererseits lassen nur die eine Deutung zu, daß die merkwürdigen Kristall-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

plättchen aus Gips entstanden sein müssen. Die Reduktion des Gipses zu Calciumsulfid (CaS) und die weitere Umwandlung in kohlensauren Kalk ($CaCO_3$) erfolgt wahrscheinlich durch organische Stoffe, die im Gips schon enthalten sind, oder mit dem durch die Orgeln eindringenden Wasser erst zugeführt werden. Der leichter lösliche Gips zwingt schließlich den kohlensauren Kalk, sich in Kristallplättchen auszuscheiden.

Der bei den Umsetzungsprozessen freigewordene Schwefelwasserstoff wird zum Teil im Schlamm festgehalten, zum Teil entweicht er in die Luft. Der intensive Geruch nach Schwefelwasserstoff ist bei schönem Wetter gewöhnlich nicht wahrnehmbar, dagegen um so deutlicher bei Witterungsumschlag. Zuweilen erfolgen dann auch Gasaushauchungen, wie ich sie zum Beispiel im Oktober dieses Jahres besonders gut in den „Blautöpfen" der Ehequellen beobachten konnte. Das sonst kristallklare Wasser erfuhr plötzlich eine milchige Trübung und gleichzeitig stiegen Gasblasen auf, die ein eigentümliches, schwaches Geräusch verursachten und einen deutlichen Schwefelwasserstoffgeruch verbreiteten. Die Gasentwicklung wiederholte sich mehrmals nach längeren oder kürzeren Pausen und fand stets an den gleichen Stellen statt. Jedesmal wurde durch die aufsteigenden Gasblasen grauweißer Schlamm mit heraufgerissen, der die Trübung des Wassers verursachte. Nach einigen Minuten hörten die Gaseruptionen auf und das Wasser wurde wieder vollständig klar. Auch beim Aufwühlen des Schlammes, der den Boden der Quellen bedeckt, machte sich der intensive Geruch des Schwefelwasserstoffes deutlich bemerkbar. Es ist wohl kaum daran zu zweifeln, daß die großen Mengen des Gases weniger durch Verwesung organischer Reste auf dem Grunde der Quellen, als vielmehr durch Reduktion des Gipses im Gipslager selbst entstanden sind. Ähnliche Beobachtungen, nur noch in größerem Ausmaß, konnte auch Liebe (43) in den Geraer Schlottentümpeln anstellen.

Daß Seekreide aus Gips durch chemische Umsetzung entstehen kann, beweisen auch Beobachtungen, die in Livland gemacht wurden. Nach Doß (9) finden sich bei Dünhof und Pullandorf ausgedehnte Lager von Seekreide (Wiesenkalk) und Kalktuffen im Gebiete des devonischen Gipses. Die ganzen Lagerungsverhältnisse und der nachweisbare beträchtliche Gehalt an SO_3 (0,91—1,83%) zwingen dort ebenfalls zu dem Schluß, daß diese Bildungen nur aus Gips entstanden sein können. Aus Deutschland sind derartige Seekreidebildungen meines Wissens noch nicht bekannt geworden.

Wenn wir nun die fränkischen und livländischen Seekreiden nach ihren Analysenergebnissen miteinander vergleichen, so zeigt sich eine merkwürdige Übereinstimmung. Nur der Gipsgehalt ist bei uns größer (2,50%) als in Livland (0,92—1,83%).

Doß nimmt an, daß eine Reduktion des festen Gipses zu Calciumsulfid schon im Gipslager durch die darin vorhandenen Bitumina stattfindet. Ich selbst bin eher der Ansicht, daß diese Umwandlung erst den gelösten Gips betroffen hat.

Selbstverständlich können nicht alle Seekreideablagerungen, die etwas Sulfat enthalten, auf die gleiche Reduktion zurückgeführt werden; denn es bildet sich bekanntlich Schwefelsäure auch bei der Oxydation von Schwefelwasserstoff, be-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

sonders in stagnierenden Gewässern, bei der Verwesung von Tierleichen und bei der Reduktion von Sulfiden. Es müssen also alle Verhältnisse, insbesondere die geologische Beschaffenheit der Umgebung, genau geprüft werden, wenn wir uns über die Entstehung einer solchen Ablagerung Klarheit verschaffen wollen.

Unter dem Mikroskop erscheint die Seekreide nicht als amorphes, sondern kristallinisches Gebilde. Die einzelnen Kristallindividuen bestehen aus Calcit, nicht aus Aragonit und sind vollkommen homogen. Von Gipskriställchen zeigte sich keine Spur. Auch beim Kochen mit Wasser konnte keine Schwefelsäurereaktion nachgewiesen werden. Daraus folgt, daß weder Verwachsungen von Gips mit Calcit vorliegen, noch Mutterlaugenreste vorhanden sind. So bleibt nur noch die eine Möglichkeit, die Kristalle als Mischungsanomalien zu erklären, wie das auch Doß (9) in seiner Arbeit über livländische Seekreiden tut.

H. Vater hat auf Grund zahlreicher Laboratoriumsversuche in seiner Schrift „Über den Einfluß der Lösungsgenossen auf die Kristallisation des Calciumkarbonates" (95) nachgewiesen, daß Mischkristalle durch vollständige Vermischung zweier chemisch verschiedener, nicht isomorpher Stoffe entstehen können. Wie aus einer brieflichen Mitteilung Vaters an Doß (9 S. 135) hervorgeht, enthalten die bei Anwesenheit von $CaSO_4$ künstlich hergestellten Calcitkristalle einen auffallend hohen Prozentsatz von schwefelsaurem Kalk, der nicht auf Einschlüsse von Mutterlaugen zurückgeführt werden kann. Sie gleichen also ganz den natürlichen Calcitkristallen der Nordheimer Seekreide. Darum glaube ich annehmen zu dürfen, daß die letzteren natürliche Mischkristalle sind, die nicht nur aus Calcit, sondern auch aus Gips aufgebaut sind, bzw. im Calcit molekulare Beimengungen von nicht umgesetztem $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ enthalten.

Auch die größeren Calcit„körner", die zirka 3 mm Durchmesser erreichen, wurden einer Untersuchung unterzogen. Leider fanden sie sich nur selten. Durch die chemische Untersuchung dieser Körner hoffte ich Näheres über eine eventuelle Beimengung von schwefelsaurem Kalk zu erfahren. Deshalb wurden die ausgeschlämmten Körner zunächst gründlich gereinigt, in Salzsäure gelöst und die Lösung mit Baryumchlorid versetzt. Es ergab sich aber keine Sulfatreaktion. Daraus schließe ich, daß diese Calcitkörner keine molekulare Beimengung von Gips enthalten und eine sekundäre Bildung sind, die erst nach der erfolgten Ablagerung der Seekreide entstanden, vielleicht auch heute noch entstehen.

Seekreide kommt nicht nur bei Nordheim vor, sondern auch an vielen anderen Stellen des Windsheimer Gaues. Vor mehreren Jahren stießen Arbeiter bei Flußregulierungsarbeiten an der Aisch auf eine „lößartige, sehr hell gefärbte Ablagerung mit vielen Schnecken". Ich konnte diesen Aufschluß selbst nicht mehr sehen, doch erhielt ich einige der gesammelten Schnecken (Bythinia tentaculata L. und Planorbis) und konnte das anhaftende Gestein deutlich als Seekreide erkennen.

Später fand ich bei Windsheim Seekreide noch an mehreren Stellen, und zwar immer in frisch ausgehobenen Gräben unter schwarzer faulschlammähnlicher Decke.

Eine Analyse der Windsheimer Seekreide wurde schon früher von Wiesner (103) angefertigt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Es wurde festgestellt:

SiO_2	1,900%
Fe_2O_3	0,340%
Al_2O_3	0,870%
CaO	52,710%
SrO	Spur
MgO	0,640%
K_2O	Spur
Na_2O	0,066%
Cl	0,075%
P_2O_5	0,095%
SO_3	1,660%
CO_2	39,865%
H_2O	1,210%
Organische Substanz	0,569%
	100,000%

Berechnet auf:

$CaCO_3$	88,988%
CaO	1,592%
$MgCO_3$	1,350%
$Ca_3(PO_4)_2$	0,210%
$CaSO_4$	2,830%

Nach Wiesner war der Glührückstand dunkelgrau gefärbt. Beim Glühen ergab sich ein „penetranter" Geruch unter gleichzeitiger Abgabe von alkalisch reagierendem Wasser. Es entwichen brennbare Gase und braune Teerkörper schieden sich ab. Beim Lösen in Salzsäure war Geruch nach Schwefelwasserstoff deutlich wahrnehmbar. In Salzsäure löste sich die Seekreide unter Abscheidung organischer Körper. Kalilauge färbte sich braun; nach dem Ansäuern des Filtrats entstand ein geringer, brauner, flockiger Niederschlag von Ulminsäure.

Leider hat Wiesner keine genaue Fundortsangabe gemacht und die Analysenergebnisse nicht weiter ausgewertet.

Wenn wir nun die Windsheimer und Nordheimer Seekreide miteinander vergleichen, so finden wir in beiden nur ganz geringe Mengen von $MgCO_3$ gegenüber einem viel größeren Gehalt an $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Die Entstehung muß also hier wie dort die gleiche gewesen sein. Die Seekreide bezog den kohlensauren Kalk in der Hauptsache durch chemische Umsetzung aus dem massenhaft vorhandenen Gips, während die dolomitischen Gesteine des Gipskeupers als Kalklieferanten nur eine nebensächliche Rolle spielten. Da die Umgebung von Nordheim und Windsheim fast die gleichen geologischen Verhältnisse aufweist, so kann uns die nahezu vollständige Übereinstimmung der beiden Seekreideablagerungen nicht weiter überraschen.

Über das Alter der Seekreide läßt sich nichts Bestimmtes sagen; denn die eingeschlossene Molluskenfauna enthält nur Arten, die auch heute noch leben. Ähnlich verhält es sich mit dem Ostrakodenmaterial. Herr Dr. Hucke teilte mir auf Anfrage ausdrücklich mit, daß sämtliche Arten auch noch rezent vorkommen. Wahrscheinlich bildete sich die Seekreide in jener feuchten Periode des Postglazials, die Blytt und Sernander mit dem Namen „Atlantische Zeit" belegt haben. Die in jene Zeit fallende Senkung des Baltikums (Litorinasenkung) bewirkte ein Feuchterwerden des europäischen Klimas. Ein starkes Ansteigen des Grundwasser-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

spiegels begünstigte die Bildung neuer Quellen und neuer Seen und schuf so die Vorbedingungen zur Entstehung gewaltiger Mengen von Seekreide und Kalktuff.

Am Ausgang der atlantischen Zeit scheint ein Rückgang der Seen und eine allmähliche Verlandung derselben stattgefunden zu haben; denn die Seekreidebildung hörte auf und Faulschlammablagerungen legten sich als schützende Decke darüber.

Im Bereiche des fränkischen Gipskeupers findet sich Seekreide auch noch an anderen Orten, so besonders südlich von Schweinfurt bei Grettstadt. Die Grettstädter Moorwiesen, die durch ihre eigenartige Flora eine gewisse Berühmtheit erlangt haben, sind durch Verlandung stehender Gewässer entstanden. Man nimmt an, daß diese die Reste des alten Mainlaufes darstellen, der einst viel weiter östlich floß. Besonders gut aufgeschlossen ist die Seekreide am Unkenbach nahe der Unkenmühle. Aber auch zahlreiche Maulwurfshügel und frisch angelegte Gräben fördern Seekreide ans Tageslicht und lassen erkennen, daß diese ein ziemlich großes Gebiet bedeckt. Wie bei Nordheim und Windsheim, wird auch hier die Seekreide von Faulschlammboden überlagert.

In der Literatur fand ich über die Grettstädter Seekreide nur eine kurze Notiz von Kittler. Derselbe erwähnt in seiner Arbeit „Zur Entstehungsgeschichte der Mainlandschaft um Schweinfurt", daß unter Moorboden Kalktuffe vorkommen. Diese sogenannten „Kalktuffe" sind aber nichts anderes als Seekreide, also keine Quellenbildungen, sondern Ablagerungen stagnierender Gewässer. Das beweisen am besten die Einschlüsse. Gelegentlich eines flüchtigen Besuches der interessanten Lokalität konnten folgende organische Reste nachgewiesen werden:

Ostrakoden: Cypris reptans Baird. Candona parallela G. W. Müller. Cypridopsis aculeata Lilljeborg. Paracandona euplectella Br. u. Norm.

Mollusken: Bythinia tentaculata L. s. h. Radix ovata Drap. s. h. Bathyomphalus contortus L. s. s.

Zahlreiche Oogonien und Stengelteile von Characeen.

Die Bestimmung der Ostrakoden hat auch hier in liebenswürdiger Weise Herr Dr. Hucke-Templin vorgenommen.

Die Grettstädter Seekreide enthält außerdem vereinzelte Sandkörner und winzige, aber makroskopisch noch erkennbare, gelbgefärbte Calcitkonkretionen und wohlausgebildete Calcitkristalle. Unter dem Mikroskop zeigte die Seekreide von Grettstadt die kristalline Beschaffenheit noch viel deutlicher als die von Nordheim. Die Analyse ergab:

Gewicht %		Umrechnung	
Glühverlust	43,09	$CaCO_3$	92,82
Unlöslich	0,17	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	5,32
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,21	$MgCO_3$	0,25
CaO	53,71	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,21
MgO	0,12	Unlöslich	0,17
SO_3	2,48	Organische Substanz	0,43
	99,78%	H_2O	0,58
			99,78%

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Vergleichen wir nun die beiden Vorkommen von Grettstadt und Nordheim, so ergibt sich hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung eine nahezu völlige Übereinstimmung. Insbesondere sind die Werte für $MgCO_3$ vollständig gleich; der Gehalt an $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ zeigt nur ganz geringfügige Unterschiede. Bemerkenswert ist der geringe Prozentsatz von $MgCO_3$ (nur 0,25%). Bei der Grettstädter Seekreide ist dies um so auffälliger, als in allernächster Nähe neben Gips auch Grenzdolomit auftritt, der an mehreren Stellen gut aufgeschlossen ist. Der Kalk der Seekreide stammt auch hier in der Hauptsache aus dem Gips, der durch organische Verbindungen in kohlensauren Kalk übergeführt und dann ausgefällt wurde. Dabei wurden in ähnlicher Weise wie beim Nordheimer Vorkommen beträchtliche Mengen nicht umgewandelten Gipses (5,32%) als molekulare Beimengungen aufgenommen.

Die fast reinweiße Grundmasse enthält, wie schon erwähnt, vereinzelte, gelbgefärbte Calcitkonkretionen und Kristalle, die bis zu 3 mm groß werden können. Die Einzelkristalle zeigen steile, negative Rhomboeder von zirka —5½ R. Eine goniometrische Messung der Flächen war leider nicht möglich. Sämtliche Flächen sind nämlich aus kleinsten Subindividuen aufgebaut, die je nach der Erhaltung der Kristalle mehr oder weniger scharf hervortreten. Der Aufbau aus Subindividuen erinnert an die von mir beschriebenen Calcitkristalle aus fränkischen Höhlen (29). So liegt der Gedanke nahe, daß es sich auch hier um Kristalle handelt, die durch Lösungsgenossen beeinflußt sind. Der Lösungsgenosse kann aber nur Gips sein. Die mikrochemische Untersuchung der größeren Einzelkristalle ergab allerdings keinerlei Anhaltspunkt für die Richtigkeit unserer Annahme. Sulfatreaktion trat bei der Behandlung mit Baryumchlorid nicht ein. Vielleicht ist dies auf den verhältnismäßig geringen Gipsgehalt zurückzuführen. Woher rührt nun die auffällige Gelbfärbung der Calcitkristalle? Der Gehalt an Eisenoxyden ist viel zu gering, um eine solche Färbung hervorzurufen. So bleibt nur übrig, an eine Färbung durch organische Stoffe zu denken. Aus der Natur sind mehrere Beispiele bekannt, daß Minerallösungen mit geringen Mengen eines organischen Farbstoffes zu homogenen Gemischen kristallisieren können. Auch künstliche Kristalle zeigen mitunter eine gelbe bis braune Färbung, die durch organische Stoffe verursacht ist. So erhielt Vater (95, 1893, S.450) bei der Herstellung künstlicher Calcitkristalle wiederholt neben farblosen auch dilut gefärbte Exemplare. Er führt diese Erscheinung ebenfalls auf organische Stoffe zurück.

Um nun den Nachweis zu erbringen, daß die Calcitkriställchen unserer Seekreide wirklich Humusstoffe enthalten, wurden einige derselben erhitzt. Sie verfärbten sich zunächst dunkelbraun bis schwarz; dann aber wurden sie rein weiß. Offenbar wurden die Humusstoffe durch das Erhitzen in Kohlenstoff verwandelt und dieser schließlich zu Kohlensäure oxydiert. Die mikroskopisch kleinen Kriställchen, die weniger deutlich gelb gefärbt sind, zeigten genau dasselbe Verhalten, woraus zu entnehmen ist, daß auch sie Humusstoffe aufgenommen haben. Unsere Untersuchung hat also ergeben, daß die Seekreide aus Mischkriställchen von Calcit und Gips besteht und daß dieselben auch kleine Mengen organischer Farbstoffe beigemischt enthalten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung

Am Ende der Lettenkohlenzeit dringt das Meer in einem gewaltigen Vorstoß in die germanische Senke, in der bisher hauptsächlich brackische Sedimente zur Ablagerung kamen, ein. Es bildete sich die von Südbaden über Württemberg bis nach Franken und Thüringen verbreitete Myoconcha = Mauchachbank, die wir als Fränkischen Grenzdolomit bezeichnen. Später wurde durch eine auftauchende Barre das heutige Gipskeupergebiet vom offenen Meere abgeschnürt, doch blieb eine schmale Pforte bestehen, welche die Verbindung mit dem Meere aufrechterhielt. Unter dem Einfluß eines ariden Klimas erfolgte im abgeschnürten Becken eine Konzentration des Meerwassers. Es kam zu einer Ausscheidung von kalkigen Ablagerungen, die mit den bereits vorhandenen organogenen Kalken sich zu Dolomit umwandelten. Mit fortschreitender Eindampfung wurde Anhydrit ausgeschieden. Ein Oberstrom sorgte immer wieder für Zufuhr neuen Meereswassers, dem durch Konzentration weiterhin Anhydrit entzogen wurde. Ein Unterstrom schaffte das schwere, konzentrierte Salzwasser wieder ins offene Meer hinaus. Die fortgesetzte Ausscheidung von Anhydrit erzeugte im Laufe der Zeit die Bänke des Grundgipses, die erst später in Gips umgewandelt wurden. Immer wieder versuchte das Meer durch neue Einbrüche die Herrschaft an sich zu reißen. Bereits gebildeter Anhydrit (Gips) und dolomitische Steinmergel wurden von den Fluten zerstört und zertrümmert, an anderen Stellen wieder abgesetzt und vermengt (Flasergips, Muschelgips). Mit jedem Meereseinbruch kam neues Tierleben in die zeitenweise abgeschnürten Meeresbecken (fossilführende Steinmergelbänke). Durch weitere Hebung der Barre wurde das Becken vollständig vom Meere abgetrennt. Bei weiterer Konzentration des Wassers kam es zur Ausscheidung der leicht löslichen Steinsalze (salzhaltige Quellen). Mergelschiefer überdeckten die Ablagerungen des einstigen Meeres und schützten das Salz vor Auslaugung. Darüber lagerten sich in unendlich langen Zeiträumen die übrigen Schichten des Bunten Keupers.

Die Abtragung dieser Keuperschichten ist in unserem Arbeitsgebiet heute wieder soweit fortgeschritten, daß die ehemaligen Anhydritablagerungen des Gipskeupermeeres an vielen Stellen zutage treten. Durch Aufnahme von Wasser hat sich der Anhydrit zum weitaus größten Teile in Gips umgewandelt (Quellfaltung des Gipses). Anhydritreste sind nur noch in kleineren Mengen vorhanden. Der Gips wird gelöst, fortgeführt und stellenweise wieder abgesetzt. Quellfaltenrisse, tektonische Spalten und Schichtfugen werden mit Gipskristallen wieder ausgeheilt. Die leichte Löslichkeit des Gesteins hat eine starke unterirdische Verkarstung zur Folge. Es bilden sich geologische Orgeln, Schichtfugengerinne und unterirdische Hohlräume, in denen sich Grundwasser ansammelt. Durch Deckeneinstürze entstehen Erdfälle.

In niederschlagsreichen Perioden (atlantische Zeit?) erfolgten Grundwasseraustritte. Die kesselartige Landschaft wurde an den tiefsten Stellen überflutet und bildete Seen, in welchen der aufgelöste Gips durch organische Stoffe in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

kohlensauren Kalk umgewandelt und durch die Tätigkeit von Algen als Seekreide ausgeschieden wurde. Der Wasserreichtum bewirkte über Gips eine Humifizierung von Keupermergeln, wodurch die fruchtbaren, schwarzerdeähnlichen Böden des Windsheimer Gaues gebildet wurden. Eine Klimaänderung am Ausgang der atlantischen Zeit verursachte einen allgemeinen Rückgang der Seen und eine allmähliche Verlandung derselben. Faulschlammablagerungen legten sich als schützende Decke über die Seekreide. Stellenweise kam es auch zu kleinen Wiesenmoorbildungen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Literaturverzeichnis

1. *Adolf G., Pulfrich M., Linck G.:* Über die Darstellung des Dolomits und die Dolomite des Röt in der Umgebung von Jena. Centralbl. f. Min. usw. 1921.
2. *v. Alberti E.:* Überblick über die Trias. Stuttgart 1864.
3. *Arrhenius Svante, Lachmann R.:* Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. Geol. Rundschau 3, 1912.
4. *Berg A.:* Führer durch die Barbarossahöhle im Kyffhäuser. Rottleben 1924.
5. *Binder:* Geologische Verhältnisse des Tunnels zwischen Heilbronn und Weinsberg. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württ. 18. Bd., 1862.
6. *Binder:* Geologisches Profil des Eisenbahntunnels bei Heilbronn. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württ. 20. Bd., 1864.
7. *Christa E.:* Der Schwanberg im Steigerwald. München 1925.
8. *Denninger E.:* Chemische und sedimentpetrographische Untersuchungen über die Keupermergel des Stromberges. Oberrhein. geol. Ver. N. F. Bd. XV, 1926.
9. *Doss Br.:* Über livländische durch Ausscheidung aus Gipsquellen entstandene Süßwasserkalke als neue Beispiele für „Mischungsanomalien". N. Jahrb. f. Min. usw. 1897, I.
10. *Douvillé H.:* Perforations d'Annelides. Bull. de la Soc. Géol. de France, sér. 4, tome 7, 1907.
11. *Fischer G.:* Zur Kenntnis der Entstehung der Steinmergel im fränkischen bunten Keuper. N. Jahrb. f. Min. usw. Beil.-Bd. LI, 1925.
12. *Fischer H.:* Über die Aufnahme von Magnesia in Kalksedimente. Zeitschrift d. deutsch. geol. Ges. 62. Bd. 1910.
13. *Fischer H.:* Über dolomitische Gesteine der unterfränkischen Trias. Geogn. Jahresh. 24. Jahrg. 1911.
14. *Fraas E.:* Über die natürliche Stellung und Begrenzung der Lettenkohle in Württemberg. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. Bd. 44, 1892.
15. *Fraas E.:* Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württ. Bd. 55, 1899.
16. *Frank M.:* Zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte der Lettenkohle zwischen Südwürttemberg und dem Kettenjura. Centralbl. f. Min. usw. 1928.
17. *Freiesleben Joh.:* Geognostische Arbeiten. Bd. II, 1809.
18. *Fuchs Th.:* Studien über Fukoiden und Hieroglyphen. Denkschr. d. K. K. Akad. d. Wiss. Wien 1895.
19. *Fulda E.:* Zur Entstehung der Hohlräume im Gips. Zeitschr. f. prakt. Geol. Bd. XXVII, 1909.
20. *Gams H./Nordhagen R.:* Postglaciale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa. Landeskundl. Forschungen, herausgegeben v. d. geogr. Ges. in München. H. 25. München 1923.
21. *Geyer D.:* Unsere Land- und Südwasser-Mollusken. Stuttgart 1927.
22. *Glinka K.:* Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Verbreitung. Berlin 1914.
23. *Goetz C.:* Über die Entstehung des Dolomits der Muschelkalkschichten nördlich des Lothringer Hauptsattels und über den Einfluß von kolloiden Phasen auf die Bildung von Dolomit überhaupt. Geol. Rundschau Bd. 12, 1921/22.
24. *Goldschmidt V.:* Über Erosion und Lösung. Sep.-Abdr. Beiträge zur Krystallogr. u. Min. v. Goldschm. Bd. I, H. 4/5, 1918.
25. *Grewingk C.:* Über zylindrische Strudel- und Sickergruben im devonischen Gipslager bei Dünhof oberhalb Riga. Sitz.-Ber. d. Dorpater Naturf. Ges. v. 18. Sept. 1880 und Referat N. Jahrb. f. Min. usw. 1881/I.
26. *Grunert O.:* Die Scaphopoden und Gastropoden der deutschen Trias. Diss. Erlangen 1898.
27. *Haefke F.:* Karsterscheinungen im Gips am Südharz. Mitteil. über Höhlen- und Karstforschung 1926 Nr. 4.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

28. *Heim A.:* Über rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung. N. Jahrb. f. Min. usw. 1908/II.
29. *Heller Fl.:* Über Calcitkristalle aus fränkischen Höhlen. Festschrift zum 75. Geburtstag v. V. Goldschmidt. Heidelberg 1928.
30. *Hennig E.:* Geologie von Württemberg und Hohenzollern. Berlin 1923.
31. *Hoffmann W.:* Verwitterungserscheinungen am Zechsteingips bei Niedersachswerfen am Südharz. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt f. 1923. Bd. XLIV, 1924.
32. *Hohenstein V.:* Die ostdeutsche Schwarzerde (Tschernosem) mit kurzen Bemerkungen über die ostdeutsche Braunerde. Internat. Mitteil. f. Bodenk. Bd. 9, 1919.
33. *Hohenstein V.:* Die Löß- und Schwarzerdeböden Rheinhessens. Oberrhein. geol. Ver. N. F. Bd. IX, 1920.
34. *Keilhack K.:* Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin 1912.
35. *Kittler Chr.:* Zur Entstehungsgeschichte der Mainlandschaft um Schweinfurt. Wissenschaftl. Beil. z. Jahresber. d. Realschule Schweinfurt 1916/17.
36. *Klähn H.:* Über Kalk-Magnesia-Wässer der Umgegend von Streitberg und Muggendorf und ihre Ausscheidungsprodukte. Centralbl. f. Min. usw. 1926 B.
37. *Klement C.:* Über die Bildung des Dolomits. Tscherm. Min.-petr. Mitteil. 14. Bd., 1895.
38. *Klingler K.:* Die Lettenkohle im westlichen Württemberg. Manuskr. Prüfungsarbeit 1914, Tübingen.
39. *v. Knebel W.:* Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphaenomene. Braunschweig 1906.
40. *Lang R.:* Der mittlere Keuper im südlichen Württemberg. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württ. Bd. 65 (1909) u. 66 (1910).
41. *Lang R.:* Das Vindelizische Gebirge zur mittleren Keuperzeit. Ein Beitrag zur Paläogeographie Süddeutschlands. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württ. Bd. 67, 1911.
42. *Lang R.:* Über die Bildung von Bodentypen. Geol. Rundschau. Bd. VI, 1915.
43. *Liebe K.:* Schwefelwasserstofferuptionen in den Geraer Schlottentümpeln. 21.—26. Jahresber. d. Ges. d. Freunde d. Naturw. in Gera 1884.
44. *Linck G.:* Über die Entstehung der Dolomite. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 61. Bd., 1909, Monatsber.
45. *Linstow O.:* Löß und Schwarzerde in der Gegend von Köthen. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt 1908.
46. *Loretz:* Übersicht über die Schichtenfolge im Keuper von Koburg. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt 1894, Bd. XV.
47. *Lozinski W.:* Die Karsterscheinungen in Galizisch-Podolien. Jahrb. d. K. K. geol. Reichsanst. Wien. 57. Bd., 1907.
48. *Meyn L.:* Die Erdfälle. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. Bd. II, 1850.
49. *Münichsdorfer F.:* Über Almbildung und einen interglazialen Alm in Südbayern. Geogn. Jahresh. 40. Jahrg., 1927.
50. *Naumann E.:* Beitrag zur Gliederung des Mittleren Keupers im nördlichen Thüringen. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt. Bd. XXVIII, 1907.
51. *Nies F.:* Beiträge zur Kenntnis des Keupers im Steigerwald. Würzburg 1868.
52. *Penck A.:* Das unterirdische Karstphaenomen. Cvijic Festschrift 1924.
53. *Pfaff F.:* Über Dolomit und seine Entstehung. N. Jahrb. f. Min. usw. Beil.-Bd. XXIII, 1907.
54. *Pfeiffer W.:* Über den Gipskeuper im nordöstlichen Württemberg. Diss. Tübingen 1915.
55. *Pfeiffer W.:* Über den Gipskeuper in Süddeutschland. Oberrhein. geol. Ver. N. F. Bd. VII, 1918.
56. *Pfeiffer W.:* Das Vindelizische Land. Beitrag zur Paläogeographie Süddeutschlands. Erdgesch. u. landesk. Abh. aus Schwaben und Franken. H. 5, 1923.
57. *Philippi E.:* Über Dolomitbildung und chemische Ausscheidung von Kalk im heutigen Meere. N. Jahrb. f. Min. usw. Festband, 1907.
58. *Prell H.:* Fossile Wurmröhren. Beitrag zur paläobiologischen Beurteilung der Polydorinenhorizonte. N. Jahrb. f. Min. usw. LIII Beil.-Bd. Abt. B, 1926.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

59. *Pröscholdt:* Beitrag zur Kenntnis des Keupers im Grabfeld. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanst. 1883.
60. *Prosi A.:* Beiträge zur Kenntnis der Lettenkohle und des untersten Gipskeupers in Schwaben. Diss. Tübingen 1922. Manuskr.
61. *Ramann E.:* Bodenbildung und Bodeneinteilung. Berlin 1918.
62. *Reis O.:* Der mittlere und untere Muschelkalk im Bereich der Tiefbohrungen in Franken. Geogn. Jahresh. 1901. Jahrg. 14.
63. *Reis O.:* Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsausbildungen in der fränkischen Unteren und Mittleren Trias. I. Muschelkalk und Untere Lettenkohle. Geogn. Jahresh. 1909.
64. *Reis O.:* Zur Fukoidenfrage. Jahrb. d. K. K. geol. Reichsanst. Wien 1909, Bd. LIX.
65. *Reis O.:* Über einzelne Beobachtungen im Diluvium der Umgegend von München. Geogn. Jahresh. 1921, H. 34.
66. *Reis O.:* Über Bohrröhren in fossilen Schalen und über Spongeliomorpha. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. Bd. 73, 1921.
67. *Richter R.:* Flachseebeobachtungen zur Paläontologie und Geologie. VII—XI. Senckenbergiana Bd. VI, H. 3/4, 1924.
68. *Richter R.:* Flachseebeobachtungen zur Paläontologie und Geologie. XII—XIV. Senckenbergiana Bd. VIII, H. 3/4, 1926.
69. *Rübenstrunk E.:* Beitrag zur Kenntnis der deutschen Trias-Myophorien. Mitteil. d. Bad. geol. Landesanstalt. 6. Bd., 1910.
70. *Sandberger F.:* Gliederung der Würzburger Trias und ihrer Äquivalente. Würzb. Naturw. Zeitschr. 1866.
71. *Schalch F.:* Beiträge zur Kenntnis der Trias am südöstlichen Schwarzwald. Mitteil. d. Bad. geol. Landesanstalt. 5. Bd., 1. H., 1906.
72. *v. Schauroth:* Die Schaltierreste der Lettenkohlenformation des Herzogtums Coburg. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1857.
73. *Schmid E.:* Über den unteren Keuper des östlichen Thüringens. Abh. z. geol. Spezialkarte v. Preußen u. d. Thüringischen Staaten. Bd. I, H. 2, 1874.
74. *Schmidt M.:* Die Lebewelt unserer Trias. Öhringen 1928.
75. *Schuster M.:* Die Werkgipseinlagerungen im fränkischen Keuper. Bayer. Industrie- und Handelsz. 1922, Nr. 15/16.
76. *Schuster M.:* Der geologische Aufbau des fränkischen Gäus zwischen Ochsenfurt und Uffenheim und des angrenzenden Keupersteilrandes. München 1926.
77. *Schütze E.:* Beiträge zur Kenntnis der triassischen Koniferengattungen Pagiophyllum und Widdringtonites. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württ. Bd. 57 (1901).
78. *Sendtner O.:* Vegetationsverhältnisse Südbayerns. München 1854.
79. *Senft F.:* Die Wanderungen und Wandelungen des kohlensauren Kalkes. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. Bd. XIII, 1861.
80. *Silber E.:* Der Keuper im nordöstlichen Württemberg. Erdgesch. u. landeskundl. Abh. aus Schwaben u. Franken. H. 3, 1922.
81. *Spethmann H.:* Morphologische Studien am Gipszug von Osterode am Harz. N. Jahrb. f. Min. usw. 1910/II.
82. *Stadler J.:* Der Löß und sein Vorkommen um Passau. Passau 1916.
83. *Stolberg F.:* Die Höhlen des Harzes. Bd. I. Südharzer Zechsteinhöhlen. Sonderh. d. Monatsschr. „Der Harz", II. Heft, 1926, Magdeburg.
84. *Stremme H.:* Zur Kenntnis der Bodentypen. Geol. Rundschau, 7. Bd., 1916.
85. *Tegetmeyer:* Beiträge zur Kenntnis des Keupers im nördlichen Thüringen. Zeitschr. f. d. ges. Naturw. Bd. 47, 1876.
86. *Thürach H.:* Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanmineralien in den Gesteinen. Diss. Würzburg 1881.
87. *Thürach H.:* Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gegenden. Geogn. Jahresh. 1888 u. 1889, Jahrg. 1 u. 2.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

88. *Thürach H.:* Beiträge zur Kenntnis des Keupers in Süddeutschland. Geogn. Jahresh. 1900, Jahrg. 13.
89. *Thürach H.:* Über die mögliche Verbreitung von Steinsalzlagern im nördlichen Bayern. Geogn. Jahresh. 1900.
90. *Thurn-Valsassina O.:* Über den Alm, sein Auftreten in Südbayern, seine Zusammensetzung und Bedeutung für die Landwirtschaft. Diss. Techn. Hochsch. München 1921.
91. *Tornquist A.:* Der Gipskeuper in der Umgebung von Göttingen. Diss. Göttingen 1892.
92. *van't Hoff* u. *Weigert F.:* Gips und Anhydrit. Der natürliche Anhydrit und dessen Auftreten bei 25°. Sitz.-Ber. d. k. preuß. Ak. d. Wiss, 1901. 2. Halbband.
93. *van't Hoff J.* u. *Farup F.:* Das Auftreten der Kalksalze Anhydrit, Glauberit, Syngenit und Polyhalit bei 25°. Sitz.-Ber. d. k. preuß. Ak. d. Wiss. 1903. 2. Halbband.
94. *van't Hoff J.:* Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. H. 1 u. 2. Braunschweig 1905 u. 1909.
95. *Vater H.:* Über den Einfluß der Lösungsgenossen auf die Krystallisation des Calciumkarbonates. Teil I, II, III u. IV, V, VI u. VII. Zeitschr. f. Kristallogr. u. Min. v. Groth. Bd. 21 (1893), Bd. 22 (1894), Bd. 24 (1895), Bd. 27 (1897), Bd. 30 (1899).
96. *Vater H.:* Einige Versuche über die Bildung des marinen Anhydrits. Sitz.-Ber. d. k. preuß. Ak. d. Wiss. 1900. 1. Halbband.
97. *Wagner G.:* Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des oberen Hauptmuschelkalks und der unteren Lettenkohle in Franken. Diss. Tübingen 1913.
98. *Wagner G.:* Stylolithen und Drucksuturen. Geol. u. pal. Abh. N. F. 11, H. 2, 1913.
99. *Wagner G.:* Das deutsche Salz. Aus der Heimat. 1926. Jahrg. 39.
100. *Weigelin M.:* Der untere Keuper im westlichen Württemberg. Centralbl. f. Min. usw. 1912
101. *Wepfer E.:* Die Auslaugungs-Diagenese, ihre Wirkung auf Gesteine und Fossilinhalt. N. Jahrb. f. Min. usw. Beil.-Bd. LIV B, 1926.
102. *v. Werveke L.:* Entstehung des Dolomits im Oberen Muschelkalk zwischen der deutschen Nied und dem Südrand der Ardennen. Oberrhein. geol. Ges. N. F. Bd. 5, 1915/16, H. 2
103. *Wiesner C.:* Beitrag zur Kenntnis der Seekreiden und des kalkigen Teichschlammes der jetzigen und früheren geologischen Perioden. Verh. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. N. F. XXVI. Bd. 1891/92.
104. *Winkler F.:* Description de quelques restes de poissons fossiles des terrains triasiques des environs de Wurzbourg. Extrait des Archives du Musée Teyler. Vol. V, livr. 2, 1880.
105. *Zelger K.:* Geognostische Wanderungen im Gebiete der Trias Frankens. Würzburg 1867.
106 u. 107. *Zeller F.:* Beiträge zur Kenntnis der Lettenkohle und des Keupers in Schwaben. Centralbl. f. Min. usw. 1907, Nr. 1 u. 2. Diss. Tübingen 1907. N. Jahrb. f. Min. usw. Beil.-Bd. XXV, 1907.
108. *Zeller F.:* Über die Lettenkohle in Schwaben. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. Württ. Bd. 64 (1908).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 1. Quellfalten des Gipses mit eingepreßter Mergelschieferunterlage

Fig. 2. Quellfalte im Gips mit eingepreßter Mergelschieferunterlage

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 3. Große Quellfalte im Gips

Fig. 4. Kernstück der oben abgebildeten großen Falte
mit zerbrochener Steinmergelbank

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 5. Geologische Orgeln

Fig. 6. Freigelegtes Orgelfeld

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 7. Nachgesackte Mergelschichten. Verkarstung des Gipses bis zur vollständigen Auflösung

Fig. 8. Schichtfugenplatte mit Erosionsrillen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 9. Schichtfugenplatte mit Randlinie

Fig. 10. Schichtfugenplatte (Bodenplatte)
mit Zerschneidungen und Pilzfelsenbildungen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 11 Schichtfugenplatte

Fig. 12. Verwitterte Keupermergel mit Schwarzerdebändern
(Ausfüllung ehemaliger Schichtfugengerinne)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: 23

Autor(en)/Author(s): Heller Florian

Artikel/Article: Geologische Untersuchungen im Bereiche des fränkischen Grundgipses. 45-114