

Documenta naturae

Nr. 185

2011

ISBN: 978-3-86544-185-0 ISSN 0723-8428

**Herausgeber der Zeitschrift Documenta naturae im
Verlag (Publishing House) Documenta naturae - München (Munich)**

Dr. Hans-Joachim Gregor, Daxerstr. 21, D-82140 Olching
Dr. Heinz J. Unger, Nußbaumstraße 13, D-85435 Altenerding

Vertrieb: Dipl.-Ing. Herbert Goslowsky, Joh.-Seb.-Bach-Weg 2,
85238 Petershausen, e-mail: goslowsky@documenta-naturae.de

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten
Geologie, Paläontologie (Lagerstättenkunde, Paläophytologie, Stratigraphie
usw.), Botanik, Anthropologie, Domestikationsforschung, Vor- und
Frühgeschichte u.a.

Die Zeitschrift ist Mitteilungsorgan der Paläobotanisch-Biostratigraphischen
Arbeitsgruppe (PBA) im Heimatmuseum Günzburg

Die Sonderbände behandeln unterschiedliche Themen aus den Gebieten
Kunst, antike Nahrungsmittel, Natur-Reiseführer oder sind Neuauflagen alter
wissenschaftlicher Werke oder spezielle paläontologische Bestimmungsbände
für ausgewählte Regionen.

Für die einzelnen Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich,
für die Gesamtgestaltung die Herausgeber.

©copyright 2011 Documenta Verlag. Das Werk einschließlich aller seiner Teile
ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb des
Urheberrechtsgesetzes bedarf der Zustimmung des Verlages. Das gilt
insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzungen,
Mikroverfilmungen und für Einspeicherungen in elektronische Systeme.

Gestaltung und Layout: Juliane Gregor und Hans-Joachim Gregor

Umschlagbild: Zipfelmützenquarzite und „Goldeier“
www.palaeo-bavarian-geological-survey.de; www.documenta-naturae.de

München 2011

Inhaltsverzeichnis

H. WOPFNER, U. LIEVEN, R. NIEDEREHE: Kegelförmige Einkieselungen im Liegendsand von Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän) im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler der RWE Power AG	1 - 47
U. LIEVEN: Fossilinhalt kreidezeitlicher Feuersteingerölle im Liegendsand von Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän) im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler der RWE Power AG	49 - 69
U. LIEVEN, N. FRERIX, H.-J. GREGOR & M. ZIMMER: Geologisch-sedimentologische Strukturen im Tagebau Garzweiler (RWE Power AG) – neue Aspekte	71 - 109

**Kegelförmige Einkieselungen im Liegendsand von
Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän)
im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler
der RWE Power AG**

**Cone-shaped silcretes in basal sands of
lignite-seam Morken I (Lower/Middle Miocene)
in the open cut lignite mine Garzweiler
of RWE Power AG**

H. WOPFNER, U. LIEVEN & R. NIEDEREHE



Anschriften der Autoren

Prof. Dr. Helmut Wopfner, Geologisches Institut der Universität zu Köln,
e-mail: h.i.wopfner@t-online.de

Ing. Ulrich Lieven, RWE Power AG, Tagebau Garzweiler, Abt. Stab, Erftrstr.111,
41517 Grevenbroich, e-mail: ulrich.lieven@rwe.com

Renate Niederehe, Schalderberg 17, 53881 Euskirchen, e-mail: renate@niederehe.eu

Zusammenfassung: Erstmals werden bis zu 15 cm große kegelförmige Sandsteinaufwachsungen (Kegel-Quarzite) beschrieben, die gut gerundeten Feuersteinen aufsitzen. Diese Funde wurden in den unter-/mittelmiozänen Sanden des Tagebaus Garzweiler im Bereich des Jackerather Horstes gemacht. Ihre Bearbeitung umfasst die Vermessung der Stücke, deren fotografische Darstellung und Auswertung, die Anfertigung eines Großdünnschliffs, sowie Erfassung durch Rasterelektronenmikroskopie, bzw. Röntgendiffraktion. Zur Klärung der außergewöhnlichen Form wird ihre Entstehung durch SiO₂-Lösungs- bzw. -Neukristallisationsvorgänge in einem von unterschiedlichen Porenwässern dominierten Milieu angenommen.

Schlüsselworte: Niederrheinische Bucht, Braunkohlentagebau, Braunkohlen-Quarzite, Einkieselungen, Kegel-Quarzite, SiO₂-Neukristallisation im pH/Eh-Gefälle.

Summary: Cone shaped silcrete bodies, attaining heights of up to 15 cm, have grown on top of well rounded flint pebbles in Miocene sands beneath the Morken lignite seam in the Cologne Embayment. The silcrete cones were discovered at the foot of the Jackerath Horst in the open cut lignite mine Garzweiler. Early diagenetic, cryptocrystalline quartz growth commencing on top of the flint pebbles has formed matrix supported silcrete cones, the heights of which are vaguely related to the diameters of the flint pebbles at their base. Organic acids, derived from decomposing plant material provided a low pH-environment in which silicate minerals dissolved, liberating SiO₂ in sufficient quantity to substitute the original clay matrix with newly formed, microcrystalline quartz. The flint pebbles acted as nuclei. Electro-chemical gradients between pore waters of different pH/Eh are thought responsible for the emplacement of the silcretes.

Key words: Cologne Embayment, Open cut lignite mines, Coal swamps, SiO₂-neomineralisation, Organic acids in pore fluids, Silcretes, pH/Eh gradients.

Inhalt	Seite
1 Einleitung und Danksagung	3
2 Allgemeiner Überblick und Stratigraphie	3
3 Geologie und Paläoklima im Umfeld des Jackerather Horstes	6
4 Der Fundort im Bereich Jackerather Horst	8
5 Bearbeitung der Kegel-Quarzite	9
5.1 Vermessung und Histogramm-Auswertung	9
5.2 Petrographie	12
5.2.1 Untersuchungen unter dem Polarisationsmikroskop	12
5.2.2 Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)	14
6 Genese	16
7 Schlussfolgerung	20
Literatur	21
Tafeln	23

1. Einleitung und Danksagung

In den Braunkohlenrevieren West- und Mitteldeutschlands sind so genannte „Einkieselungen“ oder „Verkieselungen“ von Zwischenflöz-Sandsteinen weit verbreitet. Diese manifestieren sich meist in der Bildung von harten Quarzit-Einlagerungen, die für den mechanischen Abbau der Braunkohle erhebliche Behinderungen darstellen. Dementsprechend werden solche Härtinge auch als „Braunkohlen-Quarzite“ bezeichnet (SCHUBEL 1911). Aber auch außerhalb der Braunkohlenreviere finden sich im Tertiär solche frühdiagenetischen Quarzite, die einst als Rohstoff für die Erzeugung feuerfester Schamotte-Steine begehrt waren. Sie sind als „Tertiärquarzite“, „Findlingsquarzite“ oder als sog. „Knollensteine“ in der Literatur beschrieben (FREYBERG 1926).

In England sind diese Tertiärquarzite als „Sarsen“ bekannt. Sie wurden bereits bei der Errichtung der megalithischen Steinkreisanlage von Stonehenge verwendet. Nach dem Vorschlag von (LAMPLUGH 1902) werden solche frühdiagenetischen Quarzite im englischen Sprachgebrauch als Silcretes bezeichnet. Der Name trennt diese Gesteine auch sprachlich klar von den metamorphen Quarziten. Während letztere durch mechanische Beanspruchung unter erhöhter Druck- und Temperatureinwirkung entstanden, wurden Silcretes in Böden oder im oberflächennahen Grundwasser durch SiO_2 -Neubildung und -Infiltration in einem bereits vorhandenen geologischen Körper gebildet.

Eine einzigartige Form von Einkieselungen stellen kegelförmige Bildungen dar, wie sie im Tagebau Garzweiler im Liegenden des unter-/mittelmiozänen Flözes Morken I entdeckt wurden (Tafeln 1, 2 u. 3). Das Besondere dieser Kegel-Quarzite ist, dass sie ausnahmslos auf gut gerundeten Feuersteingeröllen aufsitzen.

Unser herzlicher Dank gebührt der Betriebsleitung des Tagebaus Garzweiler für die langjährige Unterstützung unserer geologischen und paläontologischen Arbeit. Ebenfalls bedanken wir uns bei zahlreichen Betriebsmitarbeitern für Hinweise zu aktuellen geologischen Besonderheiten im Tagebau Garzweiler. Diversen Geologen und den verschiedensten Teilnehmern zahlreicher Exkursionen danken wir an dieser Stelle für Fachgespräche und Diskussionen bei gemeinsamen Befahrungen des Kegel-Quarzit-Vorkommens. Für die Unterstützung bei den REM-Untersuchungen und für die Anfertigung des Großdünnschliffs sind wir Frau Dipl.-Ing. H. Cieszynski bzw. Herrn R. Bäumler vom Geologischen Institut der Universität zu Köln zu Dank verpflichtet. Herr Dr. H. Walther von der Ytong AG in Potsdam ermöglichte freundlicherweise die Röntgen-Diffraktometer-Analyse einer Kegel-Quarzit-Probe am dortigen Labor.

Die Kolleginnen und Kollegen der Abteilung Mineralogie des RWE Power Kraftwerkes Niederaußem untersuchten die Verbindungsmatrix zwischen Feuerstein und den aufsitzenden Quarzitkegeln - unser Dank gilt auch Ihnen.

2. Allgemeiner Überblick und Stratigraphie

Der Tagebau Garzweiler ist der nördlichste von drei zurzeit aktiven Tagebauen, in denen die RWE Power AG die größte Braunkohlenlagerstätte Europas abbaut (GOSSMANN et al. 2006). Im Zuge der Braunkohlegewinnung müssen Deckgebirge und Zwischenmittel, die aus Löss-, Kies-, Ton-, Sand- und Schluffschichten bestehen, als Abraum entfernt werden. Nach der

Auskohlung wird die Lagerstätte mit diesen Abraummassen wieder verfüllt. Einer der bereits ausgekohlten Bereiche befindet sich östlich des Jackerather Horstes (Abb. 1). Hier wurden die nachfolgend beschriebenen Kegel-Quarzite vorgefunden und Proben davon aufgesammelt. Die GPS-Daten des Fundortes waren: N 51°01'5'', E 6°30'10''.

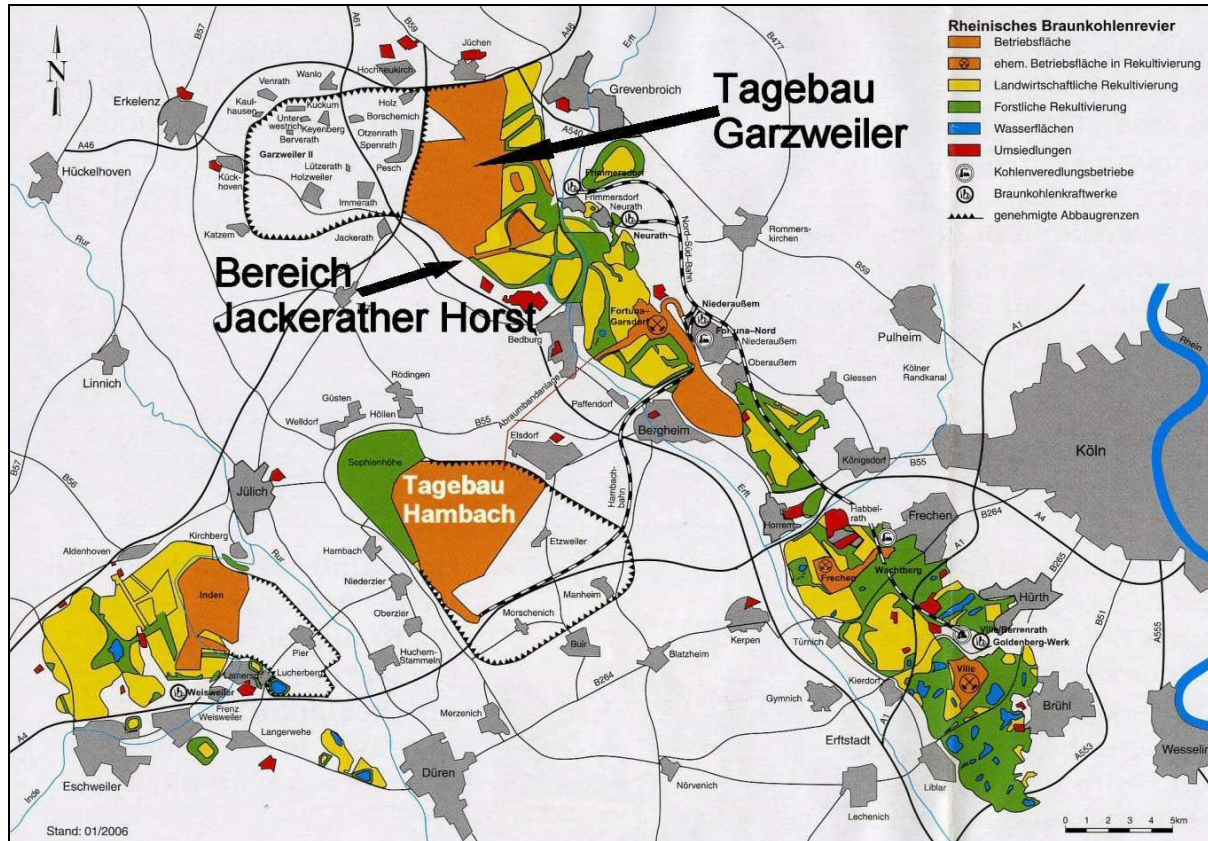


Abb. 1: Der Tagebau Garzweiler im Rheinischen Braunkohlenrevier (Quelle: RWE Power AG). Position of the open cut Garzweiler in relation to the Rhenish Lignite Mining District (after RWE Power AG).

Da die Stelle Ende Oktober 2011 überkippt wurde, haben die Autoren die Fundstelle umfangreich dokumentiert und ausreichende Mengen an Belegmaterial geborgen, welches in der geologischen Sammlung des Tagebaus Garzweiler aufbewahrt wird. In der Sammlung des Naturmuseums Augsburg befindet sich, neben Fossilien aus allen Tagebauen der RWE Power AG, ebenfalls Material aus dem untersuchten Horizont.

Das für die in den Tagebauen anstehenden Schichten gültige Normalprofil nach SCHNEIDER & THIELE (1965), (Abb. 2a), zeigt die tertiäre und quartäre Abfolge, wie sie im Rheinischen Braunkohlenrevier vorkommt. Die Pliozän/Pleistozän-Grenze wurde entsprechend der STD 2002 der Deutschen Stratigraphischen Kommission (MENNING & HENDRICH 2002) angepasst.

Zur Differenzierung der unterschiedlichen Schichten wird das von der RWE Power AG erstellte lithostratigraphische Profil für den Tagebau Garzweiler verwendet (Abb. 2b).

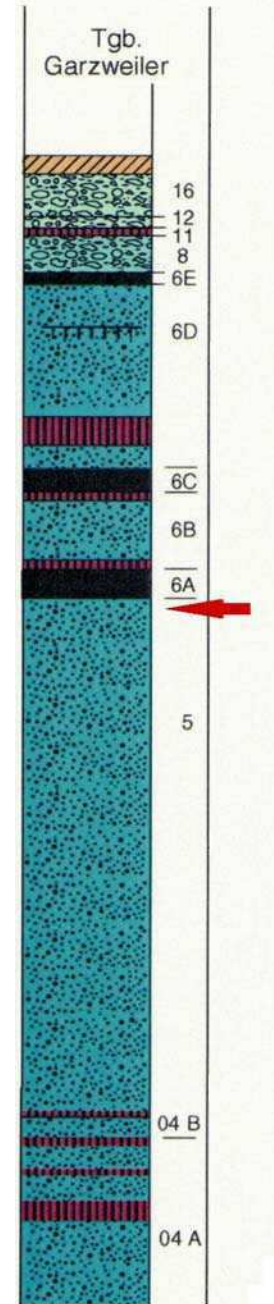
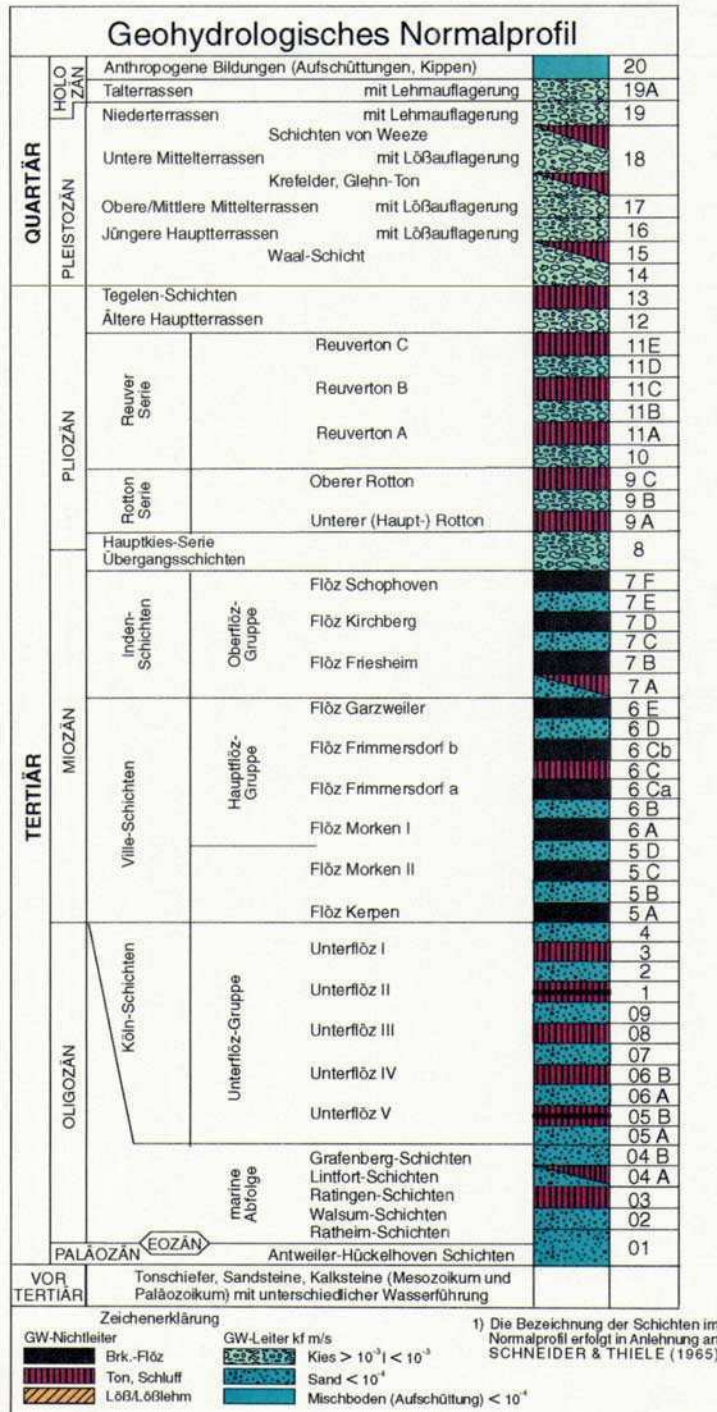


Abb. 2a: Normalprofil Rheinisches Revier, (verändert, nach SCHNEIDER & THIELE, 1965). Standard profile established for the whole Rhenish Lignite Mining District, (modified after SCHNEIDER & THIELE, 1965).

Abb. 2b: Lithostratigraphisches Profil. Pfeil = Lage der Kegelquarzite. Lithostratigraphic profile. Arrow indicates position of cone silcretes.

Der Liegendsand (Hor. 5D) des Flözes Morken I und gleichzeitig der gesamten Hauptflöz-gruppe ist entsprechend der STD 2002 regional-stratigraphisch den Ville-Schichten zugeord-

net und fällt in den Übergangsbereich vom unteren zum mittleren Miozän. In der internationalen stratigraphischen Stufeneinteilung entspricht dies dem Übergang vom Burdigalium zum Langhium.

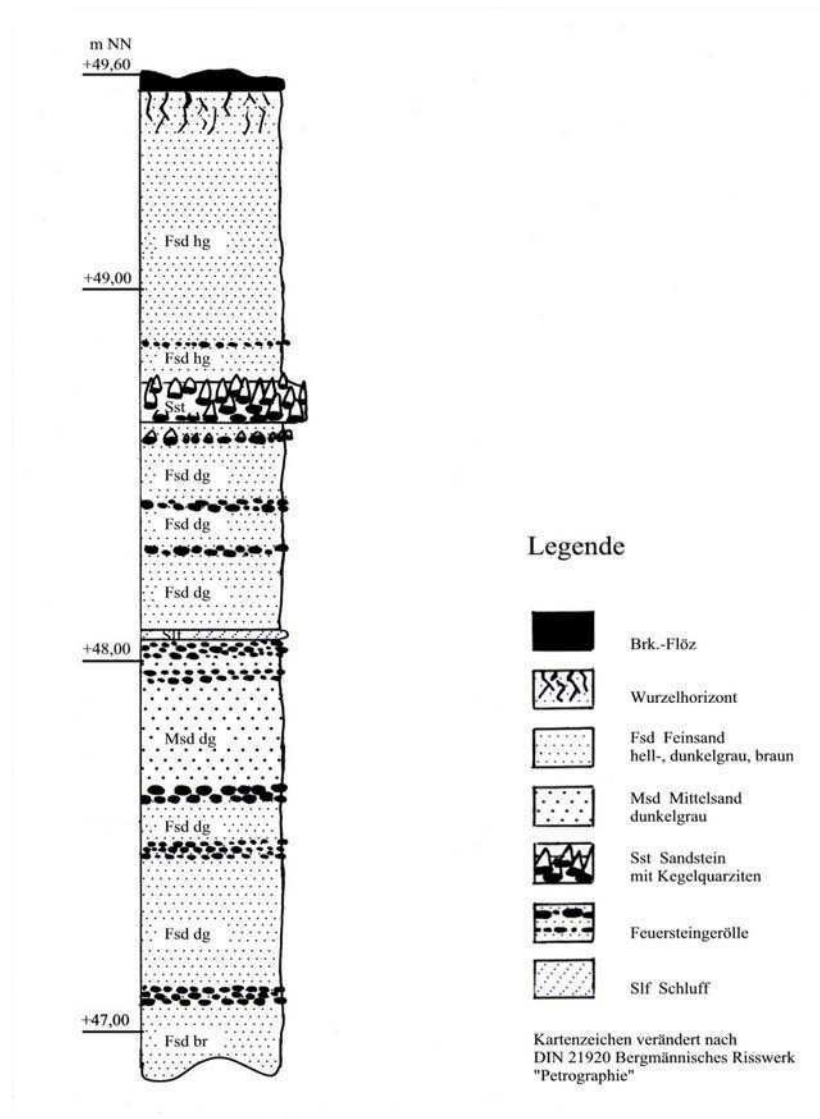


Abb. 3: Lithologisches Profil der auf Tafel 1, Fig. 1 dargestellten Sedimentabfolge im Liegenden von Flöz Morken.

Lithologic column of the sediment sequence below lignite seam Morken I, exposed near Jackerath Horst and depicted in Plate 1, Fig. 1.

3. Geologie und Paläoklima im Umfeld des Jackerather Horstes

Die Niederrheinische Bucht ist ein umfangreiches, nordwest-streichendes Einbruchsbecken, das seit dem Oligozän in einer Breite von etwa 50 km bis 60 km in das variszische Falten-system des Rheinischen Schiefergebirges eingesenkt wurde. Querstörungen, im Paläozoikum angelegt, bilden dabei die Leitlinien, denen die bruchtektonische Beanspruchung im Tertiär folgte (TEICHMÜLLER 1974, GOSSMANN 1983).

Durch vertikale Verwerfungen wurden u.a. Hochschollen herausgehoben, die als Horste bezeichnet werden. Die Venloer Scholle, in deren Verlauf der Jackerather Horst eingebettet ist, bildet dafür ein Beispiel. Bis in die Gegenwart treten in dieser tektonisch unruhigen Zone Erdbeben auf. Erinnerung sei an das Erdbeben bei Roermond, das am 13. April 1992 südliche Teile der Niederlande und die Niederrheinische Bucht mit einer Stärke von 5,9 (Richterskala) erschütterte (ANONYMUS 2008). Das Hypozentrum des Erdbebens lag in 17 km Tiefe nahe der Grenzverwerfung im Roertal-Graben. Über 50 Nachbeben, deren Hypozentren bis zu 40 km südöstlich von jenem des Hauptbebens lagen, bezeugten aktive Riftbewegungen entlang einer 127° streichenden Verwerfung als Ursache des Bebens (CAMELBECK et al. 1994).

Wiederholte Transgressionen der Proto-Nordsee, die sich im unteren/mittleren Miozän mehrfach ereigneten, hinterließen marine Sedimente. Feuersteingerölle setzen in diesem Umfeld einen besonderen Akzent. Ursprünglich in der Limburg-Aachener-Oberkreidetafel entstanden, wurden die Feuersteine durch hochenergetische Gezeitenwirkung, was ihre gute Rundung erklärt, bzw. mit küstenparallelen Meeresströmungen an den damaligen Ufersaum umgelagert. Diese auffälligen Gerölle sind zum Teil in schräg geschichtete Fazies des Morkener Sandes eingelagert (PETZELBERGER 1994) oder sie treten in geschwungen-bandförmigen Lagen auf. Diese verzahnen sich mit Siliziklastika, die von Flüssen aus dem südlichen und östlichen Gebirgsrahmen eingetragen wurden. Je nach Stand des Meeresspiegels formte sich das Mündungsgebiet der Flüsse zu einem weiten Ästuar oder einem breit gefächerten Delta. Durch Progradierung und Regression wurde der Küstensaum nach Norden verlagert und so von nachfolgenden lakustrinen Becken überdeckt.

Unter den im Miozän vorherrschenden immerfeuchten Klimabedingungen siedelten sich in diesen seichten, lakustrin-lagunären Becken ausgedehnte Torfmoore und Sumpfwälder an, aus denen die mächtigen Braunkohlenflöze entstanden (Abb. 4).

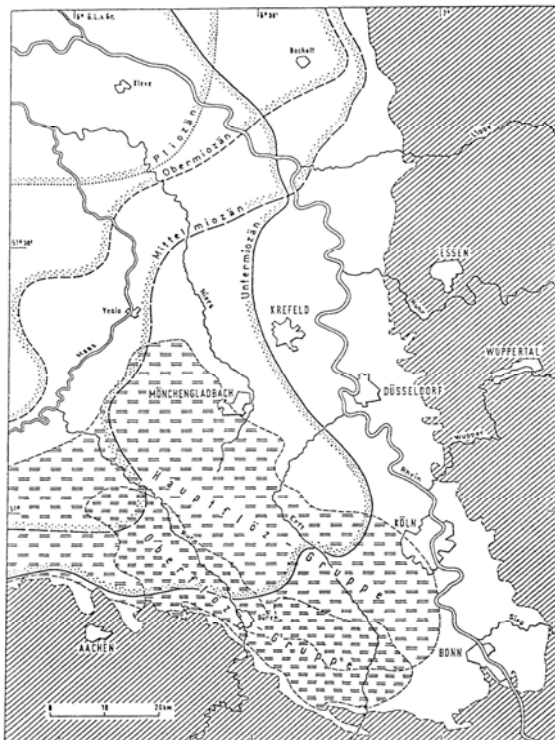


Abb. 4: Die Lage der Nordseeküste im Miozän und Pliozän, sowie die Ausdehnung der miozänen Braunkohlenmoore (verändert nach QUITZOW 1971, TEICHMÜLLER 1974).

Position of the coast of the proto-North Sea in Miocene and Pliocene times and the extension of Miocene lignite swamps. (Modified after QUITZOW 1971; TEICHMÜLLER 1974).

Gemäß der von KÖPPEN (1923) aufgestellten „Effektiven Klimaklassifikation“ kann die Kombination „Cfa“ auf die miozänen Klimabedingungen angewandt werden, denn sie vereinigt „warmgemäßigt“ (C) mit „vollhumid“ (f) und „sommerheiß“ (a), und entspricht damit rezenten Verhältnissen, wie sie beispielsweise im Südosten der USA von Louisiana bis Florida anzutreffen sind.

Wissenschaftliche Klimaangaben für das Miozän variieren. GREGOR (1982) führt ein Temperaturjahresmittel von 17-15°C und eine Gesamtniederschlagshöhe von etwa 1500 mm an, wohingegen MOSBRUGGER (1994) 21-16°C als Jahresmittel für die damalige Temperatur angibt, jedoch nur 1200 mm –1400 mm jährlichen Niederschlag vermutet. Die angenommenen 21°C sind anzuzweifeln, da sie tropische Bedingungen in der Niederrheinischen Bucht postulieren. Im großräumigen Vergleich europäischer Jungtertiär-Klimate von Dänemark bis Italien und von Spanien bis zur Türkei ist dies unhaltbar. Obwohl voneinander abweichende Temperaturen für das Miozän genannt wurden, beinhalten alle Modelle immer ausreichende Niederschlagssummen, um die Entstehung mächtiger Torfablagerungen zu ermöglichen.

Zur Entstehungszeit des Flözes Morken I bildete ein Strandbereich, welcher der verändernden Kraft der Gezeiten ausgesetzt war, den Saum des Jackerather Horstes. Die Geochemie der Bodenschichten wurde daher durch Wechselwirkungen dreier hydraulischer Systeme beeinflusst. Sie wurde sowohl von Meerwasser, als auch von Süßwasser und huminsauren Wässern aus dem Torflager bestimmt.

4. Der Fundort im Bereich Jackerather Horst

In einem durch den Schaufelradbagger nicht erfassten Hügel wurden die Kegel-Quarzite in situ angetroffen. Der Kamm dieses Hügels wird durch den untersten Bereich des Flözes Morken I markiert, welches an dieser Stelle ursprünglich eine Mächtigkeit von 9 m hatte. Das Vorkommen der verkieselten Kegel in Relation zur lokalen sedimentären Abfolge ist im Profil, Abb. 3 dargestellt. Direkt unterhalb des Flözes ist ein Wurzelhorizont ausgebildet, der teilweise nur noch aus sedimentverfüllten Wurzelkanälen besteht. Dieser gibt Hinweise auf die Erstbesiedelung der marinen Sande im Küstensaum der Proto-Nordsee. Darunter folgen dunkel gefärbte, meist feinkörnige Sande, in denen mehrere Bänder von Feuersteingeröll eingelagert sind (Tafel 1, Fig. 1). Die Gerölle sind sehr gut gerundet. Meist sind sie flach, ellipsoid mit Durchmessern von etwa 10 bis 100 mm. Die Feuersteinbänder bestehen aus ein bis fünf Geröll-Lagen. Entsprechend der Transportenergie zur Zeit der Ablagerung gibt es Lagen, welche ausschließlich aus kleinen, aus großen, oder aus gemischten Fraktionen dieser Feuersteine bestehen. Eine schmale Schluffzone gibt Hinweis auf turbulente Gezeitenwirkung mit anschließender Beruhigung, so dass ein Ablagerungsmilieu für feinste Partikel gegeben war. Die Sande sind im unteren Profilteil kaum geschichtet, im obersten Meter dagegen sind mehrfach flachwinkelige, leicht asymptotische Strömungsschichten erkennbar. Der gesamte Bereich des Liegenden (incl. Kegel-Quarzite und Feuersteine) wurde durch organische Bestandteile des Flözes grau und braun eingefärbt. Die Sande mit den eingelagerten Feuersteingeröll-Lagen werden als Strandablagerungen am Fuß des Jackerather Horstes interpretiert.

Etwa 80 cm unterhalb der Flözbasis tritt eine bis zu 30 cm mächtige Härtlingslage hervor, die von zwei Lagen Feuersteingeröll durchzogen wird, auf denen die individuellen Kegel-Quarzite aufgebaut sind (Tafel 1, Fig. 2; Tafel 3, Fig. 7, 8 u. 9). Die gesamte Härtlingsbank

weist eine vertikale Texturierung auf, die teils durch die Kegel selbst, beziehungsweise durch zusammengewachsene Kegelaggregate bedingt ist (Tafel 1, Fig. 2; Tafel 3, Fig.9). Die Kegelspitzen ragen teilweise aus dieser Bank hervor und zeigen damit die fortgeschrittene Kristallisation an. Die Manteloberfläche der Kegel-Quarzite ist matt und meist strukturlos. Eine horizontale Riffelung, die auf der Oberfläche mancher Kegel sichtbar ist, entstand eindeutig nicht während der Quarzkristallisation, sondern entspricht ursprünglichen Sedimentstrukturen (z.B. Schichtung) (Tafel 3, Fig. 7 u. 8), die bereits vor der Verfestigung vorhanden waren. Darüber hinaus zeigen vereinzelte verkieselte Sandpartien außerhalb der Kegel glitzernde Oberflächen, was auf die Reflexion an Kristallflächen von neu gebildeten Quarzkriställchen zurückzuführen ist.

Wie aus einer separaten Untersuchung der Feuersteingerölle hervorgeht, wurde vielfach zwischen Feuerstein und aufsitzendem Kegel eine dünne Schicht mit erhöhtem Titangehalt gefunden (ZIMMER 2010). Vermutlich liegt hier die Ursache für den Umstand, dass sich Kegel im bergfeuchten Zustand leicht vom Feuerstein lösen, während bei ausgetrockneten Exemplaren eine schlagfeste Verbindung besteht.

5. Bearbeitung der Kegel-Quarzite

5.1 Vermessung und Histogramm-Auswertung

Zur Ermittlung, inwieweit Form und Höhe der Kegel durch die Form und Größe der Feuersteine induziert werden könnten, wurden exemplarisch 47 sehr unterschiedliche Kegel-Quarzit-Exemplare vermessen. Bei den annähernd elliptischen Feuersteingeröllen wurden jeweils kleinster und größter Durchmesser gemessen und die Fläche errechnet. Die Höhe der Kegel wurde sowohl isoliert von den Feuersteinen vermessen, als auch unter Einbezug der Feuersteinhöhenmaße. Wenn schon bei genauerer Betrachtung der geborgenen Exemplare der Eindruck entstehen musste, dass Feuersteine mit gleichem Durchmesser sowohl langgestreckte, als auch niedrige Kegel tragen, wie auch umgekehrt solche mit deutlich unterschiedlichem Durchmesser sich mit gleich großen Kegeln verbinden (Tafel 2, Fig. 4 u. 5), so bestätigte ein Überblick über die numerischen Zahlenkolonnen ebenfalls dieses Bild (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten Kegel-Quarzite.

Data sheet of randomly collected silcrete cones.

Lfd. Nr.	D (groß) Feuerstein (mm)	d (klein) Feuerstein (mm)	Höhe 1 (mm) Quarzite mit Feuerstein	Höhe 2 (mm) Quarzite ohne Feuerstein
1	58	35	85	72
2	93	42	108	80
3	68	53	124	110
4	100	59	87	68
5	25	18	47	39
6	27	19	36	28
7	34	23	70	64
8	59	28	73	63
9	47	28	34	24
10	22	19	28	23
11	22	17	44	38
12	38	22	67	61
13	43	20	31	25
14	39	27	55	44

Fortsetzung Tab. 1

Lfd. Nr.	D (groß) Feuerstein (mm)	d (klein) Feuerstein (mm)	Höhe 1 (mm) Quarzite mit Feuerstein	Höhe 2 (mm) Quarzite ohne Feuerstein
15	37	27	50	36
16	25	23	36	30
17	29	16	45	40
18	39	31	73	59
19	42	33	35	32
20	57	53	67	55
21	40	28	36	30
22	34	22	27	22
23	30	24	32	29
24	30	26	39	32
25	28	22	46	41
26	33	28	30	25
27	22	20	21	19
28	23	16	25	18
29	32	20	24	21
30	26	22	28	22
31	27	20	29	23
32	58	54	45	40
33	44	26	79	67
34	36	32	60	46
35	28	22	31	26
36	34	25	49	42
37	24	19	49	41
38	29	26	46	34
39	43	29	35	28
40	28	18	30	27
41	30	24	34	29
42	31	26	28	21
43	22	17	26	23
44	21	19	20	16
45	19	16	31	26
46	22	19	30	27
47	26	16	55	47

Um die Häufigkeitsverteilung übersichtlicher zu machen, wurden zwei Histogramme erstellt. Der Quotient aus $D =$ großer Durchmesser (in mm) des Feuersteines und $H1 =$ Höhe (in mm) mit Feuerstein einerseits, sowie andererseits derselbe Quotient D und $H2 =$ Höhe (in mm) ohne Feuerstein, wurden benutzt, um beide Graphiken zu erstellen (Abb. 5 und 6).

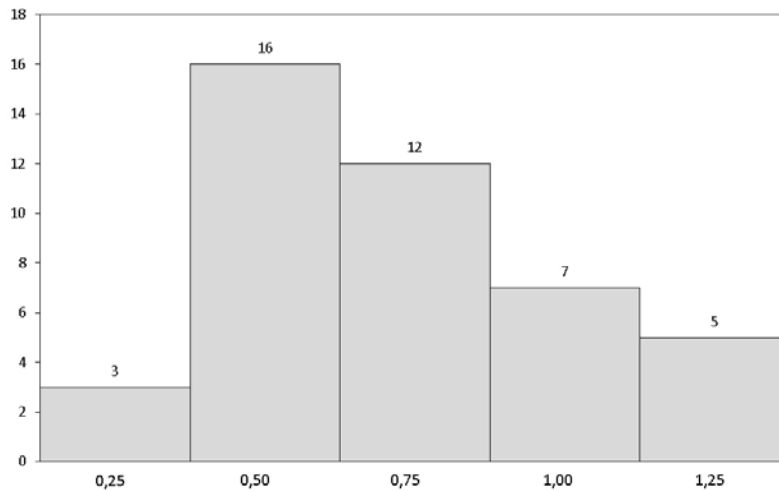


Abb. 5: Histogramm D/H1. Histogram of ratios between largest diameter of basal chert pebble (D) and height of silcrete cone including chert base (H1).

Das Histogramm D/H1 (Abb. 5) zeigt die größte Häufigkeit beim Wert 0,75, also einem Verhältnis von Feuerstein-Bodenplatte zu Kegel-Quarzit von 3:4, dicht gefolgt von jener bei 1, einem Verhältnis von 1:1. Die Häufigkeit von Werten über 1, was Kegelhöhen entspricht, die kleiner sind als der Durchmesser des basalen Feuersteins, nehmen dann annähernd linear ab. Quotienten kleiner als 0,75 sind selten.

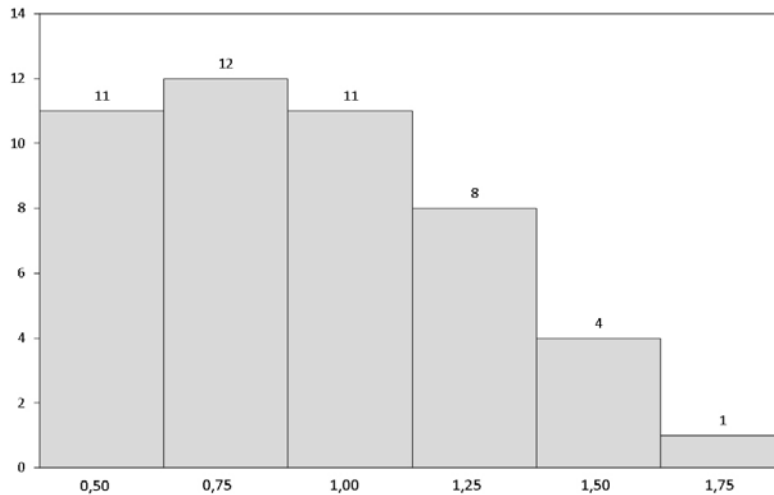


Abb. 6: Histogramm D/H2. Histogram of ratios between largest diameter of basal chert pebble (D) and height of silcrete cone without chert base (H2).

Histogramm D/H2 (Abb. 6) zeigt einen ähnlichen Verlauf, doch sind in diesem Fall die Werte von 0,5 bis 1 annähernd gleich. Dies bedeutet, dass unabhängig vom absoluten Wert, der Großteil der Kegel höher als oder gleich hoch wie der größere Durchmesser des basalen Feuersteins ist. Hieraus mag auf einen kausalen Zusammenhang zwischen Größe des Feuersteins und Höhe des Kegel-Quarzites geschlossen werden.

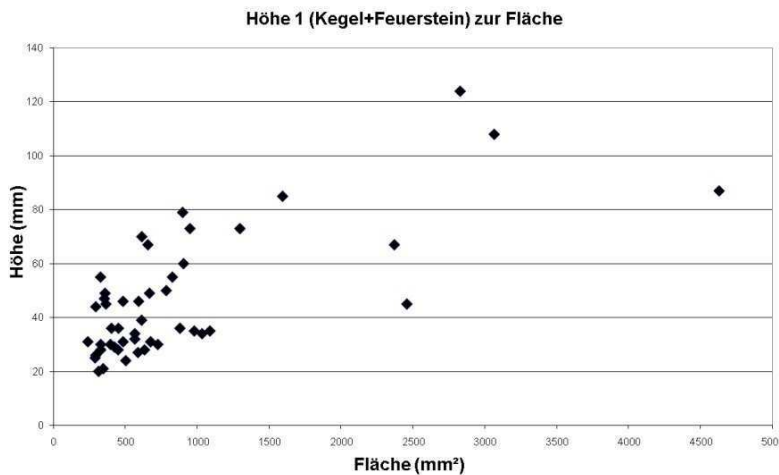


Abb. 7: Punktwolke im Diagramm: Höhe H1 der Kegel zur Fläche der Basisgerölle. Cluster plot of cone height (H1) against area of basal chert pebble in mm².

Aus der Auflistung der bearbeiteten Proben (Tabelle 1) ist ersichtlich, dass kleinere Kegel mit Basisflächen von weniger als 1000 mm² stärker gewichtet sind als die mit größeren Basen. Erstellt man ein Diagramm bei dem die Höhen H1 der Kegel den Flächen der Basisgerölle ge-

genübertgestellt sind, erscheinen die kleineren Proben als Punktwolke mit starker Streuung, aber doch mit einer vagen, aufsteigenden Tendenz (Abb. 7). In Verbindung mit den wenigen Werten größerer Kegel ist, trotz einiger Ausreißer, ein proportionaler Zusammenhang zwischen der Größe der Feuersteingerölle und der Höhe der Kegel-Quarzite angedeutet.

5.2 Petrographie

5.2.1 Untersuchungen unter dem Polarisationsmikroskop

Einer der größeren Kegel-Quarzite, der von der Unterseite des Feuersteingerölls bis zum Zenit 98 mm maß, wurde am Geologischen Institut der Universität Köln median durchsägt. Eine der Schnittflächen wurde poliert, von der anderen Probenhälfte wurde ein Großdünnschliff hergestellt (Tafel 2, Fig. 6). Dieser wurde unter dem Polarisationsmikroskop petrographisch untersucht, um den Mineralbestand und die Internstruktur des Gesteins festzustellen. Hierzu wurden 4 Bereiche näher betrachtet, die in der Abbildung gekennzeichnet sind.

Das Gestein, das den Kegel-Quarzit aufbaut, ist rein petrographisch gesehen ein diamiktitischer Orthoquarzit, der zu 99% aus SiO_2 Mineralen besteht. Dem diamiktitischen Gefüge entsprechend, besteht das Gestein aus zwei Korngrößen-Fractionen. Eine der Fractionen setzt sich aus klastischen Körnern zusammen, deren Durchmesser zwischen 0,08 mm und 0,60 mm liegen, der mittlere Korndurchmesser beträgt etwa 0,23 mm. Somit ist diese Fraction in den Bereich Feinsand einzustufen, mit wenigen Körnern im Bereich eines Mittelsandes.

Die zweite der Fractionen besteht aus einer anscheinend kieseligen Grundmasse mit wenigen, feinsten, gerade noch erkennbaren klastischen Partikeln. Auf Grund ihrer Feinkörnigkeit ist die Matrix unter dem optischen Mikroskop kaum weiter auflösbar. Im unpolarisierten Licht erscheint die Grundmasse blass rötlich-braun bis schwarz, wobei die letztgenannte Farbe auf das Vorhandensein von organischem Material zurückzuführen ist. Die klastischen Körner der Feinsand-Fraction „schwimmen“ in dieser Grundmasse, wobei die einzelnen Körner sich nicht oder nur selten gegenseitig berühren. Sie werden von der feinkörnigen (kryptokristallinen) Grundmasse getragen und zementiert. Es ist ein typisches matrixgetragenes Gefüge, das in Tafel 4 in Fig. 11 u. 12 sehr gut zu erkennen ist. Aufgrund seines Vorkommens und seiner Entstehungsgeschichte wird das Gestein als frühdiagnetischer Quarzit bzw. Silcrete eingestuft.

Die klastischen Körner der Feinsandfraction bestehen fast ausschließlich aus Quarz. Akzessorisch tritt Zirkon auf und eher selten kommen kleine Körner aus metamorphem Quarzit vor (Tafel 5, Fig. 13). Etwa 3 Prozent der Quarzkörner zeigen undulöse Auslöschung, was ebenfalls auf einen metamorphen Ursprung hinweist. Ob diese Herkunft aus dem primären Ablagerungsvorgang, oder über multiple Zyklen erfolgte, ist nicht geklärt.

Die Körner sind durchweg mäßig gerundet, aber sowohl gut gerundete als auch kantige Körner kommen vor. Gelegentlich sind auch scharfkantige Komponenten, meist im unteren Bereich des Größenspektrums, zu beobachten (Tafel 5, Fig. 13). Viele der Körner zeigen Korrosionsbuchten, die in Verbindung mit Quarzneubildung zu dendritisch ausgefranzten Kornrändern führen können, wie dies am Korn rechts oberhalb des Quarzitkorns erkennbar und in Tafel 5, Fig. 14 dargestellt ist.

Diese allgemeine Beschreibung bezieht sich auf Ausschnitt 1 des Dünnschliffs, gilt aber auch weitgehend für die Ausschnitte 2 und 4, deren Positionen in Tafel 2, Fig. 6, entnommen werden können. Korngröße und Gefüge des Kegel-Quarzites in Ausschnitt 2 sind vergleichbar mit jenen des Ausschnitts 1, abgesehen davon, dass die Matrix fast durchgängig rötlich-braun gefärbt ist und kaum noch dunkle, organstoffreiche Partien zeigt (Tafel 6, Fig. 15). Ein besonders schönes Beispiel von Quarzneubildung ist im linken Bildbereich erkennbar und in Tafel 6, Fig. 16 in stärkerer Vergrößerung dargestellt. Gefüge und Matrix im Ausschnitt 4 sind mit den oben beschriebenen Charakteristika vergleichbar und deshalb nicht eigens aufgeführt. Ausschnitt 4 weist aber vermehrte Anteile an dunkler Matrix auf.

Erhebliche Unterschiede sind an der Basis des Kegels unmittelbar über dem Kontakt zum Feuersteingeröll vorhanden. Der untersuchte Bereich entspricht dem Ausschnitt 3 in Tafel 2, Fig. 6. Das Feuersteingeröll hat einen elliptischen Querschnitt, was seiner sehr gut abgerundeten, äußeren Gesamtform entspricht. Im Anschliff sind zwei helle, beige-graue Partien erkennbar, die durch eine unregelmäßig geformte, dunkelbraune, (?)eisenoxidreiche Partie verbunden sind. Der Feuerstein zeigt eine dichte, kryptokristalline Textur, die aber nicht weiter untersucht wurde. Die Kontaktfläche des Feuersteins zum darüber folgenden Kegel-Quarzit erscheint glatt, doch mancherorts durch Mikrokorrosion aufgeraut. Quarzneubildungen wurden im Bereich des Ausschnitts nicht beobachtet.

Der Sand, der unmittelbar dem Feuerstein aufliegt, ist sehr feinkörnig (125 – 62 µm), teils sogar schon im Schluff-Bereich (< 62 µm) und besteht durchgängig aus scharfkantigen Quarzkomponenten, die in einer schwarzen, mikroskopisch kaum auflösbaren Matrix „schwimmen“ (Tafel 7, Fig. 17). Das Verhältnis von Matrix zu Kornanteil liegt etwa bei 20:80. Die Schwarzfärbung der Matrix ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf nachsedimentär eingewanderte, feinste kohlige Substanz zurückzuführen. Diese Lage, die zwischen 3 mm und 6 mm dick ist, geht mit verhältnismäßig scharfer Grenze in den Feinsandbereich über, wobei mit dem Wechsel der Korngröße auch ein Wechsel der Matrixfarbe von schwarz zu hell rötlichbraun erfolgt (Tafel 7, Fig. 17). Bei stärkerer Vergrößerung sind in der Matrix feinste Körnchen erkennbar, was eine geringe Vergrößerung andeutet. Die Körner, meist aus Quarz bestehend, sind noch überwiegend kantig, nur die größeren sind kantengestumpft bis mäßig gerundet. Die Korn Grenzen sind im Allgemeinen scharf, nur gelegentlich treten leicht diffuse Grenzen auf. An einigen der größeren Körner sind Korrosionsbuchten erkennbar (Tafel 7, Fig. 18). Der Wechsel von der feinstkörnigen Fazies mit schwarzer Matrix zum darüber folgenden feinkörnigen Sand mit brauner Matrix ist verhältnismäßig scharf.

Aufgrund der oben gemachten Beobachtungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Die sehr feinkörnigen bis schluffigen und meist scharfkantigen Komponenten der schwarzen basalen Lage, unmittelbar über dem Feuersteingeröll zeigen an, dass sie keinerlei Abrieb während des Transportes ausgesetzt waren. Sie wurden als Suspensionsfracht gemeinsam mit der ursprünglichen Matrix als feinste Trübe eingebracht, die vor ihrer Einkieselung aus Tonmineralen und anderen Phyllosilikaten bestand.

Die darüber folgenden Feinsande, welche den Rest des Kegels aufbauen, wurden ebenfalls zum Großteil aus suspendiertem Material abgelagert, jedoch unter leicht erhöhten Energiebedingungen. Die besser gerundeten Kornformen der größeren Körner weisen auf eine Beteiligung aus der Saltationsfracht hin. Auch in diesem Falle kann davon ausgegangen werden, dass die ursprüngliche Matrix aus Tonmineralen bestand. Vor der Einkieselung war das Se-

diment ein toniger Feinsand. Die ursprünglich kornstützende, tonige Matrix wurde im Zuge der Umwandlung (Diagenese) durch SiO_2 ersetzt.

Die allgemein vorhandenen Korrosionsbuchten zeigen an, dass die Porenwässer im Laufe der frühen Diagenese derart aggressiv wurden, dass sie die Oberflächen der Quarze anätzten. Das Auftreten neu gebildeter Quarzkriställchen an den Kornoberflächen indiziert zunehmende SiO_2 -Konzentration in den Porenwässern. Der nach oben (akropetal) abnehmende Anteil an organischer Substanz in der Matrix mag auf ein erhöhtes Laugungspotenzial in dieser Richtung zurückzuführen sein.

5.2.2 Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)

Die Ergebnisse der Dünnschliff-Untersuchungen wurden durch Beobachtungen unter dem REM ergänzt. Diese Methode erlaubt einen dreidimensionalen Einblick in das Gefüge eines Gesteins und somit auch klare Aussagen über seine Kristallform und das Kristallwachstum.

Im vorliegenden Fall wurden 4 Proben aus einem Kegel-Quarzit und eine Probe aus dem unterlagernden, unverfestigten Sand untersucht. Zur Probengewinnung wurde ein etwa 6 cm hoher Kegel-Quarzit, einschließlich des basalen Feuersteingerölls, selektiv mechanisch gebrochen und die Bruchflächen durch Abblasen mit Luft von losen Partikeln gereinigt. Die Probe wurde dann so auf dem Probenteller montiert, dass die gewünschte Bruchfläche frei beobachtbar war. Um die Bildung von Artefakten zu vermeiden, wurden, außer der üblichen ionischen Bestäubung mit Gold, keine weiteren Eingriffe in die Probe vorgenommen. Der unverfestigte Sand wurde ohne Vorbehandlung auf den Probenteller aufgestreut.

Folgende Proben sind zu unterscheiden:

- Probe 1:** Die Oberfläche des basalen Feuersteins, auf dem der Kegel-Quarzit aufsitzt.
- Probe 2:** Die Unterseite der Basisfläche des Kegel-Quarzites, d.h. die korrespondierende Bruchfläche zur Oberfläche der Probe 1.
- Probe 3:** Quarzit-Bruchstück aus dem Zentrum des Kegels, 5 mm über d. Kontaktfläche zum Feuerstein.
- Probe 4:** Quarzit-Bruchstück etwa 15 mm über der Kontaktfläche zum Feuerstein.
- Probe 5:** Lose Sandkörner aus unverfestigtem, dunkelbraun gefärbtem Sand, etwa 1cm unterhalb der Basis der Kegel-Quarzite.

Die Untersuchungen, welche am Cambridge REM des Geologischen Instituts der Universität zu Köln durchgeführt wurden, haben folgende Befunde ergeben.

Die Oberfläche des Feuersteingerölls, das die Basis des Quarzit-Kegels bildet, ist von unregelmäßigen Kristalliten von 0,5 μm bis 3 μm Durchmesser bedeckt, weshalb die tatsächliche Oberfläche des Feuersteins nicht eingesehen werden konnte. Dies bedeutet, dass die Bindung zwischen Feuerstein und Quarzit stärker ist als, oder zumindest gleich stark ist wie, die Festigkeit des Kegel-Quarzites selbst. Die Kristallite bestehen überwiegend aus parallel angeord-

neten Blättchen, seltener aus feinsten Nadeln, wobei letztere kaum mehr als 0,3 µm Querschnittsdurchmesser haben. Klare Kristallflächen sind nicht erkennbar, lediglich die Enden der Nadelchen lassen manchmal solche erahnen. Tafel 8, Fig. 19 zeigt eine Übersichtsaufnahme dieser Fläche.

Beobachtungen unter dem REM bei geringer Vergrößerung bestätigen den Befund der Untersuchungen mit dem optischen Mikroskop, dass die Kegel-Quarzite aus klastischen Quarzkörnern bestehen, die von einer kieseligen Matrix getragen werden. Die ursprünglichen klastischen Quarzkörner „schwimmen“ also in einer feinkristallinen Grundmasse, ohne dass die einzelnen Körner Kontakt zueinander haben. Dies ist in Tafel 4, Fig. 11 und auch in Tafel 8, Fig. 20 klar zu erkennen.

Die max. Durchmesser der klastischen Körner schwanken zwischen 0,1 mm und 0,3 mm und liegen somit im Feinsandbereich. Die Sortierung der Sandkörner ist mäßig und die Kornform variiert von kantenstumpf bis mäßig gerundet. Die Kornoberflächen sind überwiegend glatt, zeigen aber manchmal typische Ätzfiguren oder kleine Löcher mit dreieckigen Umrisen, die der trigonal-trapezoedrischen Symmetrie von Quarz entsprechen. Diese dreieckigen Stufen oder Hohlformen, wie sie an der Oberfläche eines Quarzkorns in Tafel 9, Fig. 21 auftreten, sind Ätzfiguren sehr ähnlich, entsprechen aber hier wahrscheinlich Anwachsstellen von ersten Quarzneubildungen am klastischen Korn. Homoaxiales Wachstum der klastischen Körner wurde nicht beobachtet.

Die Matrix ist kryptokristallin, d.h. sie besteht aus sehr kleinen Kriställchen (Kristalliten) von etwa 1 µm bis 2 µm, die miteinander verwachsen sind und so ein fachwerkartiges, verfilztes Gefüge bilden, welches die klastischen Körner umschließt (Tafel 9, Fig. 22). Die einzelnen Kristallite sind überwiegend in parallelen Lagen angeordnet, wobei die Winkel, die sie miteinander bilden, der trigonalen Symmetrieklasse zu entsprechen scheinen. Die lagenförmige Anordnung der Kristallite ist in Tafel 10, Fig. 23 gut erkennbar. Das Bild zeigt auch, dass es sich bei der Matrix um mono-mineralisches, nachsedimentäres Kristallwachstum handelt. Klare Kristallflächen sind an den Kristalliten kaum erkennbar, doch weisen, wie oben erwähnt, Umrisse und Hohlformen auf Quarz hin (vergl. Fig. 5 in WOPFNER 1983).

Die Art der Anwachsung der Matrix-Kristalle an die Kornoberfläche zeigt Tafel 10, Fig. 24. Deutlich sichtbar ist, wie die individuellen Kristallite auf der Kornoberfläche aufsitzen, aber keine augenscheinliche kristalline Kontinuität mit derselben bilden.

Obwohl keine Lepisphären, wie sie typischerweise bei der Bildung von Opal/CT auftreten, (JONES & SEGNET 1971, WOPFNER 1983) beobachtet wurden, konnte die Anwesenheit dieser SiO₂-Phasen zunächst nicht sicher ausgeschlossen werden. Deshalb wurden an einer Kegel-Quarzit-Probe mittels Röntgen-Diffraktometer-Analyse die vorhandenen SiO₂-Phasen identifiziert. Dies ergab, dass in der Probe des Kegel-Quarzites ausschließlich Quarz vorhanden ist. Weder Opal/CT noch irgendeine andere SiO₂-Phase, konnte nachgewiesen werden (persönliche Mitteilung Dr. H. Walther 2010).

Beispiele aus dem losen Sand unterhalb der Kegel-Quarzit-Lage sind in Tafel 11, Fig. 25 dargestellt. Das Bild zeigt sehr schön die Kornform, die hier ebenfalls von kantengestumpft (linkes Korn) bis mäßig gerundet reicht. Den Körnern heftet noch Matrix an (zentrales Korn), die anscheinend aus Ton und, wie die dunkle Farbe des Sediments im Aufschluss vermuten lässt, aus organischen Zerfallsprodukten besteht. Die Körner zeigen keine Kristallneubildungen

oder -anwachungen, wohl aber vielfach eindeutige Ätzfiguren und Korrosionsdellen, wie in Tafel 11, Fig. 26 zu erkennen ist. Die Ätzfiguren sind typisch für die Oberflächen von Quarzkörnern in Sanden, deren Porenraum nach der Ablagerung von stark sauren, organsäurereichen Wässern (pH 5-3) invadiert wurde (WOPFNER 1983, WOPFNER & WALTHER 1999).

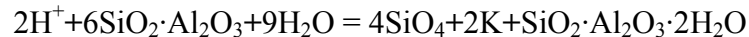
6. Genese

Die Entstehung von frühdiagenetischen Quarziten (Silcretes) wird noch immer kontrovers diskutiert. Es gibt bis heute noch kein allgemein anerkanntes Modell über ihre Genese. Dies liegt zum einen an den unterschiedlichen petrologischen Erscheinungsformen dieser Bildungen, zum anderen in den äußerst komplexen chemischen und physikalischen Bedingungen und Abläufen, unter denen die Mobilisierung von SiO_2 vor sich geht und die deren Invasion in den Wirt und die dortige Einlagerung kontrollieren. Erschwerend kommt noch hinzu, dass sich Silcretes sowohl unter extrem humiden als auch unter ariden Umweltbedingungen bilden können, also im Beisein von Porenwässern äußerst unterschiedlicher Zusammensetzung (WOPFNER 1978, SUMMERFIELD 1983, WALTHER & WOPFNER 2002).

Wie bereits eingangs erwähnt, belegen paläobotanische und sedimentologische Daten eindeutig, dass die Sedimente des Rheinischen Braunkohlenbeckens in einem warm-humiden Bildungsraum entstanden und in diesem hatten auch die Kegel-Quarzite ihren Ursprung. Die Akkumulation der mächtigen Kohlenflöze setzt die Existenz großräumiger Torfmoore (überwiegend Niedermoore), Sumpfwälder und fließbegleitender Überflutungswälder voraus, die sich, durch Barrieren von der Proto-Nordsee getrennt, in Deltas und Ästuaren der von Süd und Süd-West einströmenden Flüssen bildeten. Somit lag der Bildungsraum unter einem permanent hohen Grundwasserspiegel, der aber, wie bereits oben erwähnt, zusätzlich dem wechselnden Einfluss von drei hydraulischen Systemen mit unterschiedlichen pH-Werten ausgesetzt war: Dem alkalischen Meerwasser, dem plus/minus neutralem Flusswasser und dem sauren Moorwasser.

Eine der strittigen Fragen bei der Genese von Silcretes ist die Herkunft der Kieselsäure. Quarz ist die stabilste feste Phase von SiO_2 und in neutralem Wasser kaum löslich, weshalb ein fluvialer Ferntransport in größeren Konzentrationen weitestgehend ausgeschlossen werden kann. Allerdings erhöht sich die Löslichkeit von Quarz im Beisein von Humin- und anderen organischen Säuren und dem damit verbundenen niedrigen pH-Wert (BENNETT & SIEGEL 1987). Dies wird auch durch die Ätzfiguren und Korrosionsbuchten auf den Oberflächen der klastischen Quarze demonstriert (siehe Petrographie und Tafel 11, Fig. 26). Die dabei freigesetzte Kieselsäure reicht aber bei weitem nicht zur Verkieselung aus. Dagegen werden vor allem Feldspäte bei gleich niedrigen pH-Werten sehr stark angreifbar und wandeln sich unter Freisetzung von SiO_2 zu Kaolin um (WOPFNER 1978, 1983, WOPFNER & WALTHER 1999, SUMMERFIELD 1983 und Literatur darin zitiert). Die erhebliche Steigerung der Löslichkeit von Feldspäten und Phyllosilikaten wird auf die Gegenwart organischer Säuren zurückgeführt, die aus den überlagernden Torfmooren mit dem Grundwasser in die darunter liegenden Sedimente einwanderten. Bleichzonen an der Basis von rezenten Torflagen geben hierfür ein klares Zeugnis. So erhöht sich z.B. die Lösungsrate von Feldspäten in Gegenwart von 1 mM Oxalsäure um den Faktor 2-15 gegenüber Lösungsraten in anorganischen Lösungsmitteln gleichen pH-Wertes (BRANTLEY 2005).

Der Ablauf des Umwandlungsprozesses von Feldspat zu Kaolin ist in nachfolgender Reaktionsgleichung dargestellt:



Weitere Silikatminerale wie Glimmer und andere Phyllosilikate, einschließlich der Tone, werden bei gleichen Bedingungen ebenfalls unter Abgabe von SiO_2 kaolinisiert bzw. umgewandelt. Setzt sich dieser Prozess fort, wird auch das im Kaolin verbliebene SiO_2 entfernt, geht im Porenwasser in Lösung und wird abgeführt: Es verbleibt Al_2O_3 (Boehmit). Unterschreiten die Porenwässer pH 4, nimmt auch die Löslichkeit von Al_2O_3 erheblich zu (SUMMERFIELD 1983). Es wird im Grundwasser als Lösungsprodukt abgeführt und durch SiO_2 ersetzt. So kommt es zu einem molekularen Materialaustausch, dessen komplexe Abläufe zum Teil noch der Klärung bedürfen, zumal dabei keine offensichtliche Volumenveränderung auftritt.

Für die Entstehungsgeschichte der Kegel-Quarzite sind folgende Beobachtungen besonders hervorzuheben:

1) Die klastischen Körner berühren sich nicht gegenseitig, sondern werden von einer Matrix aus kryptokristallinen Quarzkristalliten getragen. Da an Hand von Sedimentstrukturen eine Volumenvergrößerung nach Ablagerung durch Neubildung der Matrix unwahrscheinlich ist, müssen die Körner ursprünglich von einer anders gearteten Matrix getragen worden sein.

2) Die klastischen Körner zeigen nur Anwachsungen von kleinsten, neu gebildeten Quarzkriställchen, es gibt aber keinerlei Anzeichen von homoaxialem Kristallwachstum, wie es z.B. die Silcrete-Körper in den Neurather Sanden im Tagebau Fortuna erfahren hatten (WOPFNER 1983). Bei letzteren vollzog sich das Kristallwachstum in optischer Kontinuität mit dem klastischen Korn, also konform mit dessen Kristallgitter. Dem gegenüber vollzog sich das Wachstum neuer Quarz-Kristalle bei den Kegel-Quarziten fast ausschließlich innerhalb der Matrix. Dies bestätigt den Schluss, dass die ursprüngliche Matrix überwiegend aus Phyllosilikaten (Tone, feinste Glimmer, etc.) bestand.

3) Die weitestgehende Abwesenheit von diagnostischen Kristallflächen an den Kristalliten lässt rasches, an mehreren Orten gleichzeitig einsetzendes Kristallwachstum vermuten, welches aber durch fehlendes Platzangebot während der Kristallisation geprägt war (Tafel 10, Fig. 23). Die Kristalle verdrängten nicht die vorhandene Matrix sondern ersetzten diese, so wie Platz frei wurde - während Al_2O_3 und ähnliche Minerale gelöst wurden, kristallisierte Quarz.

Im petrographischen Teil wurde gezeigt, dass das ursprüngliche Sediment, das Wirtsgestein, ein toniger, matrixgetragener Feinsand war. Er wurde im Faziesbereich des „feuchten Strandes“ abgelagert (PETZELBERGER 1994) und war daher mit leicht alkalischen Porenwässern gesättigt. Nach Einsetzen der Torfbildung formierten sich im Moor und an der Basis desselben durch Freisetzung organischer Säuren Porenwässer mit stark saurem pH-Wert. Es entwickelte sich daher ein erhebliches elektrochemisches Gefälle zwischen den unterschiedlichen Porenwässern, was wiederum Einfluss auf die SiO_2 -Konzentration nahm. Solch elektrochemische Potentiale beeinflussten die Migrationsrichtung bestimmter Moleküle oder Molekülgruppen und ermöglichten den Ersatz spezifischer Moleküle durch andere. Die dabei in natürlichen permeablen und semi-permeablen Systemen tatsächlich stattfindenden Prozesse sind allerdings nur sehr lückenhaft bekannt.

Mit zunehmender Ausdehnung des Torfmoores wurde der Porenraum der Sedimente in dessen Liegendem von Fluiden mit organischen Säuren infiltriert. Dies fand wahrscheinlich in einem leicht reduzierenden Milieu statt und führte zu einer weiteren Freisetzung von SiO_2 aus korrodierten Silikatmineralen. Eine weitere Erniedrigung des pH-Wertes der Porenwässer und eine Erhöhung der SiO_2 -Konzentration waren die Folge. Es kam zuerst zu Aufwachsungen von Quarzkristallen auf den klastischen Körnern (Tafel 5, Fig. 14 u. Tafel 6, Fig. 15 u. 16) und dann zur Substitution der tonigen Matrix durch kryptokristallinen Quarz.

Der erste Ansatz der Neukristallisation findet fast immer um einen Nukleus statt, wobei es keine Rolle spielt, ob es sich um pedogene Silcretes in Zentral Australien handelt oder um Grundwasser-Quarzite in der Braunkohle. Diese ersten SiO_2 -Akkumulationen können im entfernten Sinne mit dem Wachstum von Konkretionen verglichen werden. Sobald ein Kristallisationskern angelegt ist, zieht dieser weitere gelöste Substanz aus der Lösung an. Die Kristalle wachsen so lange, wie die Bedingungen für das Kristallwachstum erfüllt sind und Raum vorhanden ist. Die einzelnen „Konkretionen“ wachsen letztendlich ineinander und verbinden sich zu einem soliden Silcrete-Körper, bzw. zu einer Quarzitbank. Werden die Bildungsbedingungen verändert, verbleibt das Silcrete in seinem letzten Stadium stecken, ein Vorgang, der WOPFNER (1978, Fig. 10 u. 11) veranlasste, diese Stadien als unreife Silcretes zu identifizieren. Nicht ausgereifte Verkieselungslagen (Silcretes) sind fast immer durch eine ausgeprägte vertikale Textur gekennzeichnet, die durch das Zusammenwachsen von stab-, kegel- oder spindelförmigen Primärverkieselungen in Richtung der vertikalen Wegsamkeit bedingt ist.

Im Falle der hier behandelten Kegel-Quarzite fungierten die kieseligen Feuersteingerölle als Nuklei. Bei annähernder SiO_2 -Sättigung wirkten die im Sand eingebetteten, aus SiO_2 bestehenden Feuersteingerölle, wahrscheinlich auf Grund ihres hohen elektrochemischen Potentials, als Ansatzquelle für die Kristallisation. Dafür spricht auch die zwar nicht überwältigende, aber doch erkennbare proportionale Relation zwischen Größe der basalen Feuersteingerölle und Höhe der Quarzitkegel. Solange die SiO_2 -Konzentration unverändert blieb, schritt die Verkieselung des Sandes in Kegelform entsprechend dem Konzentrationsgefälle (von unten nach oben) fort. Bei Verringerung der SiO_2 -Konzentration kam das Wachstum einzelner Kegel zum Stillstand (Tafel 3, Fig. 10). Im Bereich des Dünnschliffs ist eine Abnahme der in der Matrix eingeschlossenen organischen Substanz im oberen Teil des Kegels zu beobachten, was auf eine Zunahme der Aggressivität der Porenflüssigkeit von unten nach oben schließen lässt.

So zeigt auch das Bild auf dem Deckblatt dieser Arbeit sehr deutlich, dass die Intensität der Verkieselung von oben nach unten abnahm. Die oberste Lage enthält die größten Kegel, die nach oben hin zu Aggregaten zusammenwuchsen und an der Oberkante eine fast kompakte Quarzitlage bildeten. Auf der darunter liegenden Feuersteinlage wurden mäßig hohe Kegel gebildet, wogegen die untersten Feuersteine gerade nur Ansätze von Kegelbildung erfuhren. Dies weist darauf hin, dass sich die höchste initiale SiO_2 -Konzentration an der Oberkante der Verkieselung bildete, wahrscheinlich an einer pH-Grenze, und sich von dort nach unten ausdehnte. Die Kegel selbst dagegen wuchsen von ihrer Feuerstein-Basis nach oben. Hier ist somit ein klarer zeitlicher und räumlicher Zusammenhang in der Entwicklung der Quarzitkegel angezeigt. Unsere Diskussion über die Abhängigkeit der Höhe der Kegel von der Größe der Feuersteingerölle muss deshalb ebenso zeitlich/räumlich differenziert gesehen werden.

Die so entstandenen charakteristischen zipfelmützenähnlichen Kegel-Quarzite sind daher als Anfangsstadium bei Ausbildung einer kompakten Quarzit-(Silcrete-)Tafel anzusehen. In den Bereichen, wo der Verkieselungsprozess weiter fortgeschritten ist, sind individuelle Kegel zu Kegelaggregaten zusammengewachsen, was durch die ausgeprägte Vertikaltextur zum Ausdruck kommt (Tafel 1, Fig. 2; Tafel 3, Fig. 9). Wäre diese Entwicklung weitergegangen, dann hätte sich eine solide Quarzitbank gebildet, die etwa dem Beispiel eines australischen Silcretes entsprochen hätte, das zu Vergleichszwecken in Tafel 12, Fig. 27 dargestellt ist. Die Abbildung zeigt ein zum Quarzit ausgereiftes Silcrete, das am Koortanyannina Creek, etwa 40 km südwestlich von Lake Blanche in Süd-Australien aufgeschlossen ist. Das Silcrete, das in eozänen Sanden der Eyre Formation gewachsen ist, zeigt, ähnlich wie die am Jackerather Horst vorgefundenen Verkieselungen, spindel- bis kegelförmige Primäranreicherungen von SiO_2 (Tafel 12, Fig. 28), die dann durch weitere Quarzkristallisation zu einem harten und soliden Quarzit zementiert wurden. Im Gegensatz zu den Kegel-Quarziten im Tagebau Garzweiler, zeigen die Kegel am Koortanyannina Creek eine ausgeprägte konzentrische Internstruktur. In beiden Fällen ist das vertikale Primärwachstum auf das Vorhandensein eines elektrochemischen Gefälles zurückzuführen.

Der Grund für den Abbruch des Verkieselungsprozesses im Garzweiler-Vorkommen ist möglicherweise auf jene, eingangs erwähnten tektonischen Bewegungen zurückzuführen, die den Jackerather Horst zur Hochscholle emporhoben.

Bleibt noch die Frage zu erörtern, warum die autogenen Quarze bei den Kegel-Quarziten als kryptokristalline Porenfüllung auftreten und nicht, wie in den Neurather Sanden, als homoaxial gewachsene Quarzkristalle, die in optischer Kontinuität die klastischen Quarzkörner umwachsen (WOPFNER 1983). Der Grund hierfür ist wohl im Platzangebot und im ursprünglichen Korngefüge zu suchen. Der Neurather Sand ist ein fein- bis mittelkörniger, gut sortierter Sand mit hoher Porosität und Permeabilität, was eine hohe Durchflussgeschwindigkeit von Porenwässern erlaubte, ein Umstand auf dem auch der hohe Reinheitsgrad des Sandes beruht. Die hohe Permeabilität förderte statt eines vertikalen Gradienten einen homogenen Sättigungsgrad des gesamten Porenraumes mit gelöster Kieselsäure, wobei die SiO_2 -Konzentration von lokalen Strukturen beeinflusst wurde. Sobald SiO_2 -Sättigung erreicht wurde, fungierte jedes klastische Quarzkorn als Nukleus. Das Kristallwachstum erfolgte in Übereinstimmung mit dem Kristallgitter der individuellen Nuklei. Dieser Vorgang setzte sich so lange fort, bis der gesamte Porenraum mit sich gegenseitig verzahnenden Quarzkristallen ausgefüllt war (vergl. Fig. 6 in WOPFNER 1983).

Dem gegenüber war die Permeabilität in dem tonigen Feinsand, in dem die Kegel-Quarzite im Bereich Jackerather Horst wuchsen, wesentlich geringer und die SiO_2 -Sättigung mag deshalb weniger homogen gewesen sein. Der Kristallisationsprozess hat sich, dem elektrochemischen Gefälle entsprechend, von der Kegelbasis nach oben vollzogen, wobei das Wachstum von Quarzkristallen dort einsetzte, wo die SiO_2 -Konzentration den Sättigungsgrad erreichte. Die im Porenraum vorhandenen Tonminerale mussten dabei schrittweise von Quarz ersetzt werden - nicht verdrängt. Dieser Prozess vollzog sich mit großer Wahrscheinlichkeit durch Molekularaustausch. So entwickelte sich ein Gefüge aus Kleinstkristallen, die den Porenraum als quasi optisch-isotrope Masse füllten. Das in den REM-Aufnahmen erkennbare filzartige Gefüge mag als Indiz für diese Hypothese angesehen werden.

7. Schlussfolgerung

Die untersuchten Kegel-Quarzite sind typische Grundwasser-Quarzite, die in einem tonig-sandigen Wirtsgestein entstanden. Ihre Bildung vollzog sich in einem durch organische Säuren aus dem überlagernden Moor hervorgerufenen niedrigen pH- und negativen Eh-Porenwassersystem. Die Kegel-Quarzite verdanken ihre spezielle Form dem Vorhandensein von Feuersteingeröllern, die als basale „Kristallisationskeime“ fungierten, von deren Oberfläche aus die ursprüngliche tonig-schluffige Matrix durch neu kristallisierte, feinste Quarzkristalle ersetzt wurde.

Die Kegel-Quarzite stellen somit ein frühes Stadium der Einkieselung dar, dessen Fortsetzung durch Veränderungen der Grundwasserverhältnisse vorzeitig abgebrochen wurde.

Literatur

- ANONYMUS (2008): Paläoseismische Untersuchungen im Bereich der Niederrheinischen Bucht. scriptum, Heft 17, 72 S., 58 Abb., 6 Tab., Geologischer Dienst NRW, Krefeld.
- BENNETT, O. & SIEGELL, D.I. (1987): Increased solubility of quartz in water due to complexing by organic compounds. *Nature*, vol. 326, pp. 684-686.
- BRANTLEY, S.L. (2005): Reaction kinetics of primary rock forming minerals under ambient conditions, pp. 73-118, in: J.I. Drever (Ed.), *Surface and ground water weathering and soils – Treatise on Geochemistry 5*, Elsevier.
- CAMELBEECK, T., ECK, T. van, PELZIG, R., AHORNER, L., LOOHUIS, J., HAAK, H.W., HOANG-TRONG, P., & HOLLNACK, D. (1994): The 1992 Roermond earthquake, the Netherlands, and its aftershocks. – *Geologie en Mijnbouw*, vol. 73, pp. 181-197, Kluwer Academic Publishers.
- FREYBERG, v., B. (1926): *Die Tertiärquarzite Mitteldeutschlands und ihre Bedeutung für die feuerfeste Industrie*. Enke Verlag, Stuttgart, 242 S.
- GOSSMANN, R. (1983): Die Niederrheinische Bucht im Tertiär, *Der Aufschluss*, Jrg. 34, S. 457-477, Heidelberg.
- GOSSMANN, R., GREGOR, H.-J. & LIEVEN, U. (2006): Die Niederrheinische Bucht und ihre Tertiärablagerungen (Braunkohlen, Kiese, Sande, Tone), *Documenta Naturae*, Sonderband 43, S. 1-26.
- GREGOR, H.-J. (1982): *Die jungtertiären Floren Süddeutschlands. Paläokarpologie, Phyt stratigraphie, Paläoökologie, Paläoklimatologie*. 278 S., 34 Abb., 16 Taf., 7 S. mit Profilen u. Plänen, Verlag Enke, Stuttgart.
- JONES, J.B. & SEGNET, E.R. (1971): The Nature of Opal – I Nomenclature and constituent phases. *Journal geological Society Australia*, vol. 18, pp. 57-68.
- KÖPPEN, W. (1923): *Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde*, de Gruyter, Berlin.
- LAMPLUGH, G.W. (1902): Calcrete, Ferricrete, Silcrete. *Geological Magazine*, vol. 9, p. 575, Cambridge.
- MENNING, M. & HENDRICH, A. (2002): *Stratigraphische Tabelle von Deutschland*. Deutsche Stratigraphische Kommission, Potsdam, Frankfurt a. M.
- MOSBRUGGER, V. (1994): Pflanzenwelt und Klima der Niederrheinischen Braunkohlenformation in: KOENIGSWALD, W. von & MEYER, W. (Eds.): *Erdgeschichte im Rheinland, Fossilien und Gesteine aus 400 Millionen Jahren*. S. 165- 172, Bonn.

- PETZELBERGER, B. (1994): Die marinen Sande im Tertiär der südlichen Niederrheinischen Bucht - Sedimentologie, Fazies und stratigraphische Deutung unter Berücksichtigung der Sequenz-Stratigraphie. Bonner geowissenschaftliche Schriften, Band 14, 112 S. Universität Bonn, Holos Verlag.
- QUITZOW, H.W. (1971): Tertiär. -Z. Der Niederrhein, 38, 100-103, Krefeld.
- SCHNEIDER, H. & THIELE, S. (1965): Geohydrologie des Erftgebietes ,185 S., Min. für Ernährung Landwirtschaft und Forsten NRW, Düsseldorf.
- SCHUBEL, W. (1911): Über Knollensteine und verwandte tertiäre Verkieselungen. Zeitschrift für Naturwissenschaften, Bd. 83, S. 161-196, Halle.
- SUMMERFIELD, M.A., (1983): Geochemistry of weathering profile silcretes, southern Cape Province, South Africa, pp. 167-178, in: WILSON, R.C.L., (Ed.), Residual Deposits: Surface related Weathering Processes and Materials. Geological Society of London, Special Publication No. 11.
- TEICHMÜLLER, R. (1974): Die tektonische Entwicklung der Niederrheinischen Bucht, S. 269-285, in: ILLIES, J.H. & FUCHS, K. (Eds.): Approaches to Taphrogenesis, Schweitzerbarth, Stuttgart.
- WALTHER, H.B. & WOPFNER, H. (2002): Significance of silica cements for the identification of silcrete generations around Coober Pedy. MESA-Journal, vol. 24, pp. 41-46, Department of Mines and Energy of South Australia, Adelaide.
- WOPFNER, H. (1978): Silcretes of northern South Australia and adjacent regions, pp. 93-142, in: LANGFORD-SMITH, T. (Ed.), Silcrete in Australia, New England University Press, Armidale, 304 pp.
- WOPFNER, H. (1983): Environment of silcrete formation: a comparison of examples from Australia and the Cologne Embayment, West Germany, pp. 151-158, in: WILSON, R.C.L. (Ed.), Residual Deposits: Surface related Weathering Processes and Materials. Geological Society of London, Special Publication No. 11.
- WOPFNER, H. & WALTHER, H. (1999): Bildungsbedingungen der frühtertiären Silcretes Inland-Australiens und deren paläoklimatische Bedeutung. – Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1 (für 1997), Heft 10-12, S. 1329-1345
- ZIMMER, M. (2010): Interner Prüfbericht 190/2010-019/PNR-MM Forschung & Entwicklung, Abt. PNR-MM, Mineralogie Kraftwerk Niederaußem.

Tafeln

Plates

Die Geländefotos und Labor-Aufnahmen stammen von den Autoren LIEVEN und NIEDEREHE,
REM-Aufnahmen und die Geländefotos aus Australien von Autor WOPFNER.

Tafel 1

Fig. 1: Der Fundort der Kegel-Quarzite (Pfeil) im Bereich des Jackerather Horstes. Die schwarze Schicht an der Oberkante des Aufschlusses ist die Basis von Flöz Morken I. Die hell herausgewitterten Schichten im unteren Teil des Aufschlusses werden von Feuersteingeröll-Lagen gebildet.

Artificial exposure at the foot of Jackerath Horst, showing zone of silicification and position of silcrete cones (arrow). The black bed on top of the outcrop is the base of the lignite seam Morken I. The light coloured, slightly protruding layers below the zone of silicification are layers of chert (silex) pebbles.

Fig. 2: Die verkieselte Zone mit den Kegel-Quarziten lässt einzelne Lagen von Feuersteingeröll erkennen, die als bevorzugte Nuklei für die aufwachsenden Kegel-Quarzite dienen. Die sich daraus ergebende ausgeprägte vertikale Textur ist typisch für derartige, früh-diagenetische Verkieselungen.

The zone of silicification shows layers of chert pebbles forming the base of silcrete cones. The pronounced vertical texture resulting from the growth and partial fusion of the silcrete cones is a typical feature of this type of early diagenetic silicification process.

Fig. 3: Kegel-Quarzite in der Detailansicht, die basalen Feuersteingerölle sind gut erkennbar.

Close up of silcrete cones exhibits the chert pebbles forming the base of each individual silcrete cone.



1



2



3

Tafel 2

Fig. 4: Unterschiedlich große Feuersteine, gleiche Kegelhöhen.

Example of chert pebbles of different size, carrying silcrete cones of equal height.

Fig. 5: Gleich große Feuersteine, unterschiedliche Kegelhöhen.

Chert pebbles of equal size carrying silcrete cones of different height.

Fig. 6: Gesamtansicht des Großdünnchliffs eines Kegel-Quarzites und des basalen Feuersteingerölles. Die unterschiedlich gefärbten Partien des Feuersteins scheinen die gleiche Korrosionsfestigkeit zu besitzen. Die mikroskopisch untersuchten Ausschnitte 1 bis 4 sind durch Rechtecke markiert.

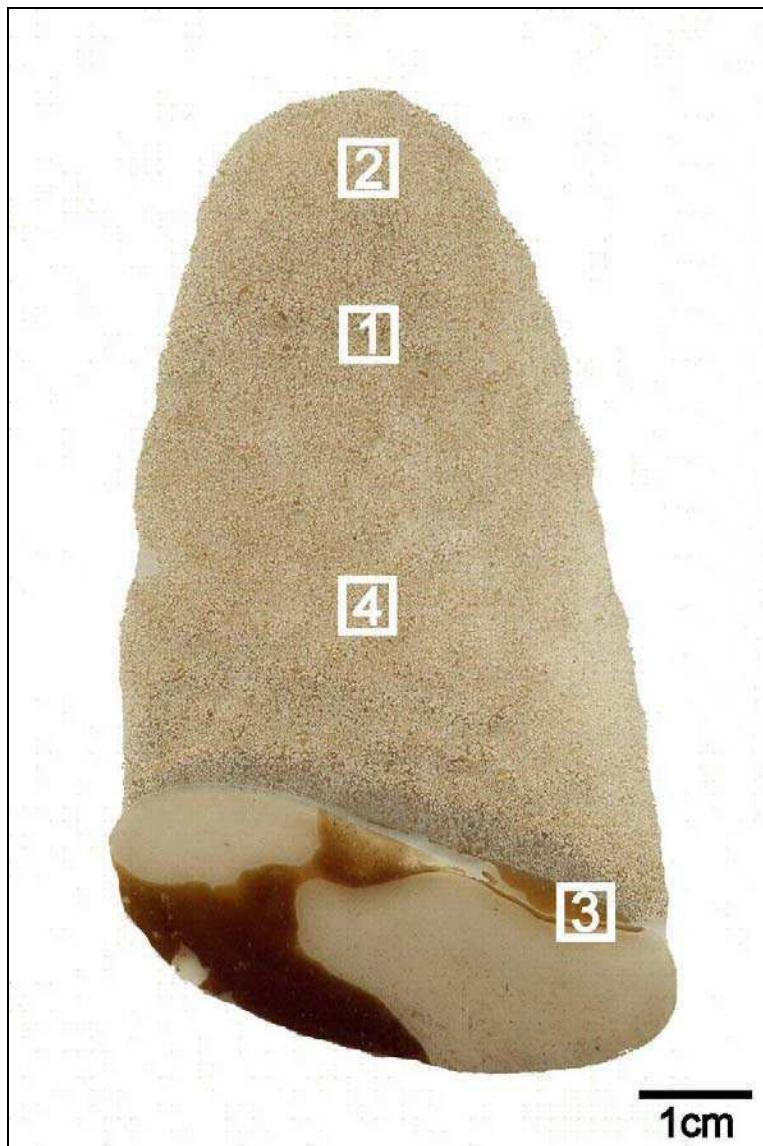
Thin section of a silcrete cone and its basal chert pebble. Note the excellent rounding of the chert pebble, the different coloured parts of which appear to have the same resistance against tumbling and corrosion. The squares marked 1 to 4 identify the areas investigated under the petrographic microscope.



4



5



6

Tafel 3

Fig. 7: Individuelle Quarzitkegel mit klar erkennbaren basalen Feuersteinen, die aus dem noch unverfestigten Sand herausgewittert sind. Der zweite Kegel von links zeigt rudimentäre ursprüngliche Schichtung.

Individual silcrete cones with clearly visible basal chert pebbles have been exhumed from the friable sand surrounding them. Faint, original bedding is recognizable on the second cone from left.

Fig. 8: Quarzitkegel mit deutlich erkennbarer, ursprünglicher, horizontaler Schichtung. Die Primärverkieselungen gehen augenscheinlich von mehreren einzelnen Feuersteinen aus. Sie sind nach oben hin zu einem gemeinsamen Kegel verwachsen, der in das lose Sediment hineinragt.

Silcrete cones exhibiting horizontal primary bedding. Silicification commenced on top of several individual chert pebbles, but coalesced to a single cone which “grew” into the loose sand above.

Fig. 9: In diesem Beispiel ist die Verkieselung von mehreren Feuersteinen aus unterschiedlichen Niveaus ausgegangen und hat sich nach oben hin zu einem großen Aggregat vereinigt. Seine Spitzen sind in das darüber liegende Sediment hineingewachsen

An example where silicification commenced on chert pebbles at different levels, but combined higher up to a silcrete aggregate, developing a double peak extending into the yet un-silicified, friable sand above.

Fig. 10: Ein einzelner großer Feuerstein hat gleich mehrere spitze Kegel ausgebildet. Dies ist ein Beispiel dafür, dass der Verkieselungsvorgang während des Kegelwachstums unterbrochen wurde.

A large chert pebble forms the base for the initial stage of a thick silcrete cone, but instead of having developed to a complete cone it shows several peaks of different heights. This is interpreted that the growth of the silcrete cone was terminated prior to its completion.



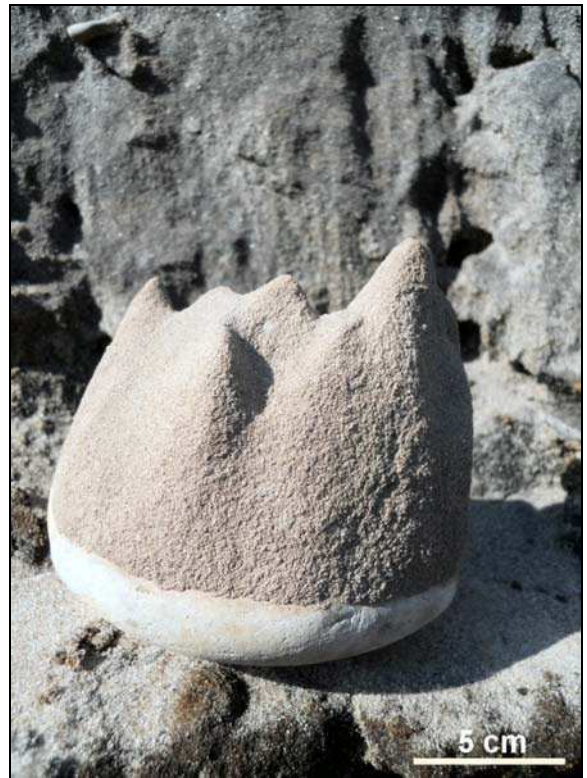
7



8



9



10

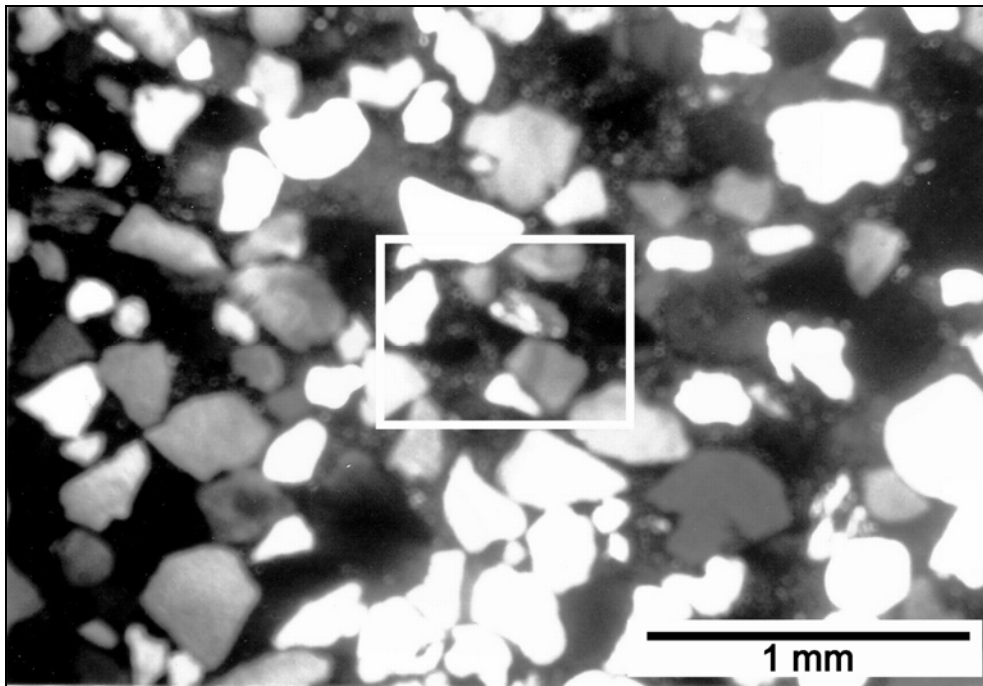
Tafel 4

Fig. 11: Mikroskopisches Übersichtsfoto des in Fig. 5 mit 1 bezeichneten Dünnschliffbereichs. Aufgenommen im polarisierenden Licht, zeigt das Korngefüge klastische Quarzkörner, die, je nach Auslöschung, weiß bis schwarz erscheinen. Sie „schwimmen“ in einer isotropen, dunkel erscheinenden Matrix und haben nur selten gegenseitigen Kontakt. Sie sind überwiegend kantengerundet. Das Rechteck markiert den in stärkerer Vergrößerung gezeigten Bereich in Fig. 12.

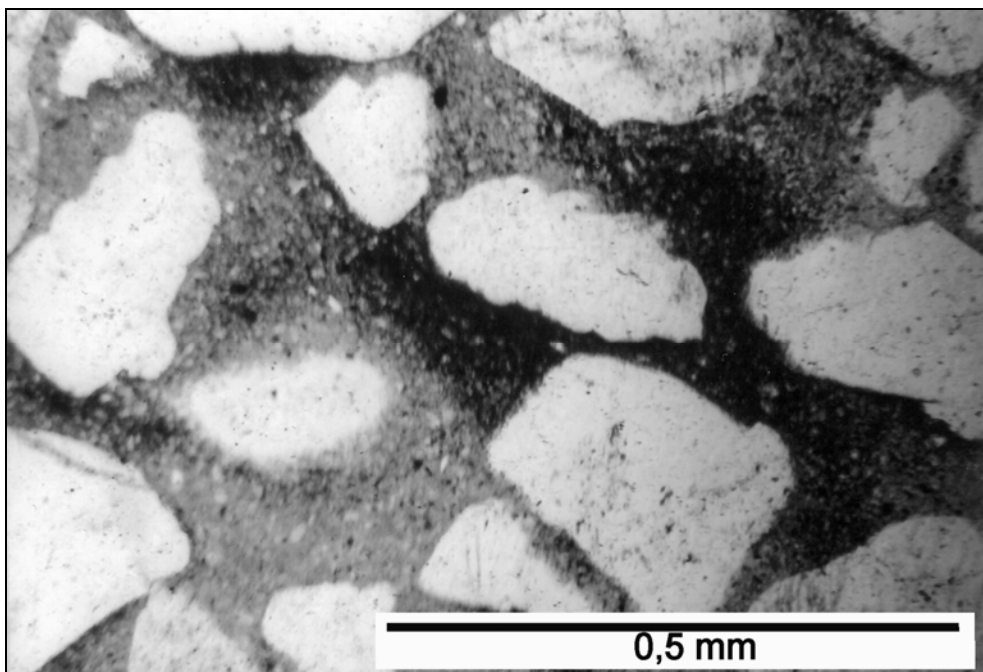
Microphotograph of area 1 in Fig. 5 of the thin section. Photographed in polarized light, the picture shows subangular to subrounded quartz grains, appearing white to black, depending on extinction, suspended in an isotropic, black matrix. The clastic grains are rarely in contact to each other. The rectangle indicates the enlarged area in Fig. 12.

Fig. 12: Die Vergrößerung des Ausschnittes in Fig. 11, aufgenommen im normalen Durchlicht, zeigt deutlich, dass die einzelnen Körner von der Matrix getragen werden, ebenso ist die kantengerundete bis mäßig gerundete Kornform erkennbar. Die schwarze Färbung von Teilen der Matrix ist durch Infiltration mit organischer Substanz bedingt. Verschiedentlich erkennbare Korrosionsbuchten an den Körnern indizieren Ätzungen durch aggressive Porenwässer während der Diagenese.

The enlargement of the area marked on Fig. 11, photographed in normal light, demonstrates the matrix-supported nature of the rock and the subangular to subrounded shape of the quartz grains. The black colour of part of the matrix is caused by organic material, infiltrated in pore fluids from the peat layer above. Corrosive embayments exhibited on some of the grain margins indicate solution of the grain surfaces by aggressive pore fluids during early diagenesis.



11



12

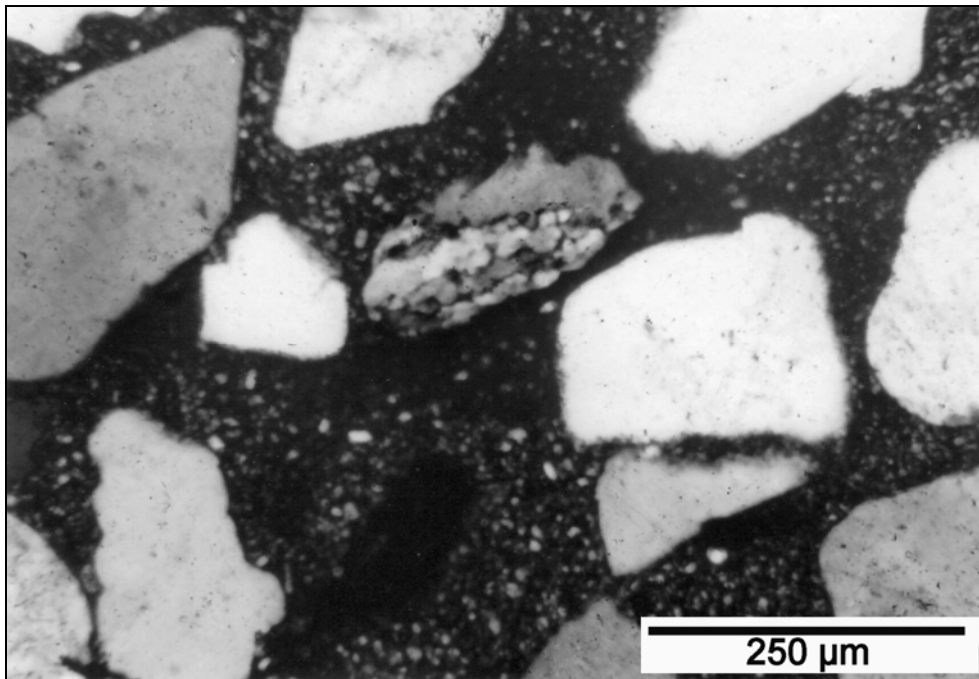
Tafel 5

Fig. 13: Gleicher Bildbereich wie in Fig. 12, aber um 45° gegen den Uhrzeigersinn rotiert und im polarisierten Licht aufgenommen. Das Bild zeigt kleinste klastische Körnchen, die als helle Punkte in der schwarz erscheinenden Matrix erkennbar sind und belegt, wie Fig. 12, das matrixgetragene Gefüge des Gesteins. Im oberen Zentrum des Bildes ist ein gut gerundetes Korn eines metamorphen Quarzits mit Korrosionsbuchten zu erkennen. Das Quarzkorn rechts oberhalb des Quarzits ist in starker Vergrößerung in Fig. 14 dargestellt.

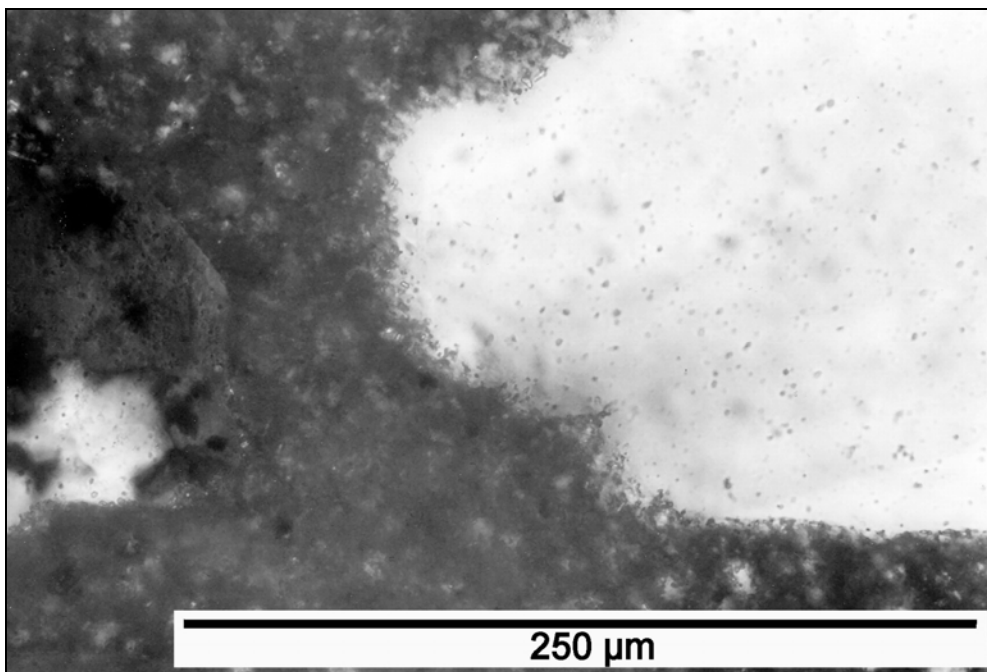
Same area as shown in Fig. 12, but rotated 45° anticlockwise and photographed in polarized light underscores the matrix supported fabric of the rock. Minute clastic grains show up as light specks within the dark matrix. A well rounded grain of a metamorphic quartzite is prominent in the upper centre of the picture. The quartz grain to the right and above the quartzite is depicted at greater magnification in Fig. 14.

Fig. 14: Teil des Quarzkorns (rechts) und des Quarzitkorns (links, fast schwarz) aus Fig. 13 im polarisierten Licht. An der Oberfläche des Quarzkorns sind feine Kristallneubildungen aufgewachsen, die dem Kornrand ein ausgefranstes, dendritisches Erscheinungsbild verleihen.

The quartz grain identified in Fig. 13 in polarized light. At enhanced magnification quartz overgrowth is recognizable, surrounding the margin of the grain with a halo of minute quartz crystals.



13



14

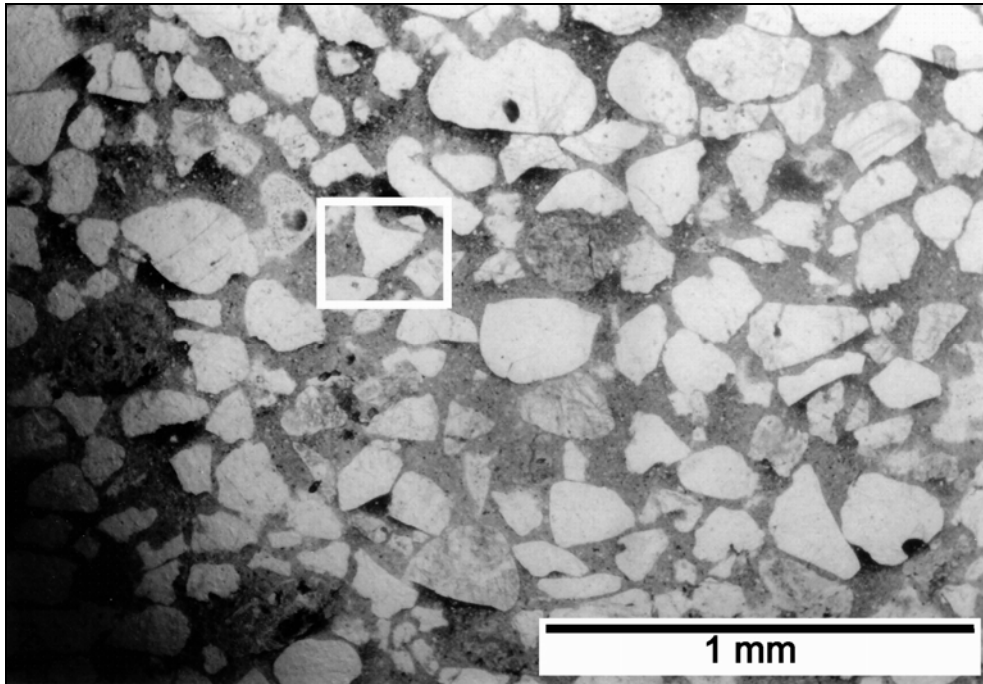
Tafel 6

Fig. 15: Übersichtsaufnahme aus dem Ausschnitt 2 des Dünnschliffs mit Normallicht zeigt ein vergleichbares matrixgetragenes, diamiktitisches Gefüge wie das Gestein im Ausschnitt 1. Lediglich die Farbe der Matrix erscheint etwas rötlicher und die dunklen, organstoffreichen Partien fehlen. Auch hier treten vielfach Quarz-Neubildungen an den Kornoberflächen auf. Ein eindrucksvolles Beispiel ist mit dem weißen Viereck markiert.

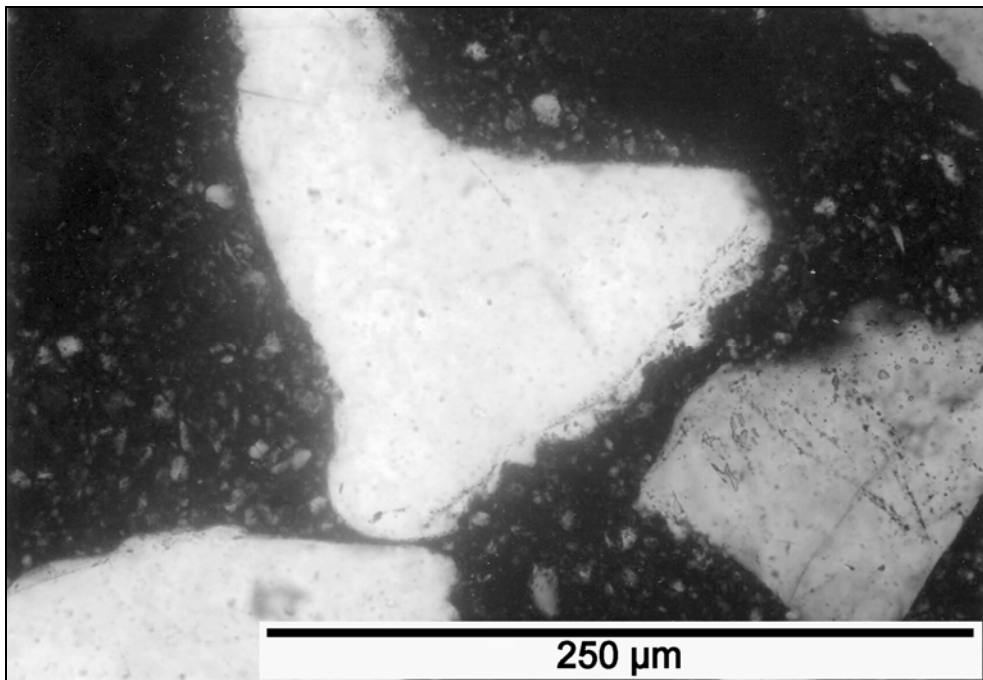
Overview of area 2 marked in Table 2, Fig. 6. The microphotograph shows a matrix supported sandstone with diamictitic fabric, comparable to that of area 1 of the thin section. The only difference is the absence of organic rich parts within the slightly reddish tinged matrix. Quartz overgrows on clastic grains is common, an impressive example being displayed by the grain in the white rectangle. Photographed in normal light.

Fig. 16: Die Vergrößerung des in Fig. 15 markierten Feldes lässt die neu gebildeten Quarzkristalle an der Oberfläche des Quarzkornes klar erkennen. Aufnahme im polarisierten Licht.

Enlargement of the clastic quartz grain marked in Fig. 15, photographed in polarized light, clearly displays newly grown quartz crystals.



15



16

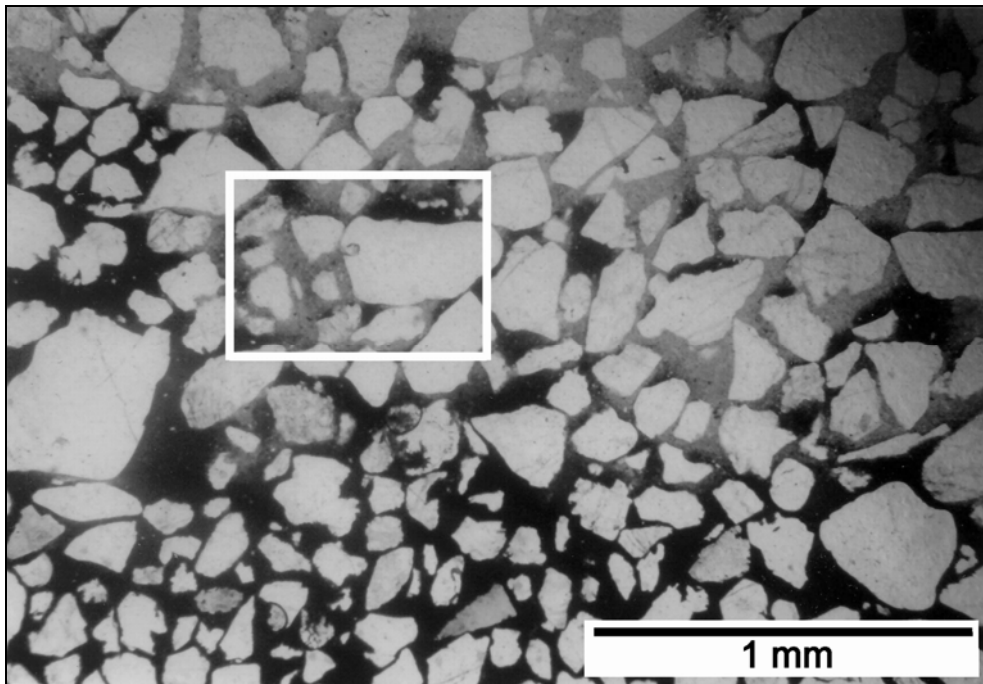
Tafel 7

Fig. 17: Eckige, teils scharfkantige Quarzkörner im sehr feinen Sand- bis Schluffbereich, die von einer schwarzen, organstoffreichen Matrix getragen werden, folgen direkt über dem, die Basis bildenden Feuersteingeröll (Tafel 2, Fig. 6, Ausschnitt 3). Diese feinstkörnige Lage wird entlang einer welligen Grenze von den Feinsanden überlagert, die dann den gesamten Quarzit-Kegel aufbauen. Aufnahme mit normalem Durchlicht. Rechteck identifiziert die Vergrößerung in Fig. 18.

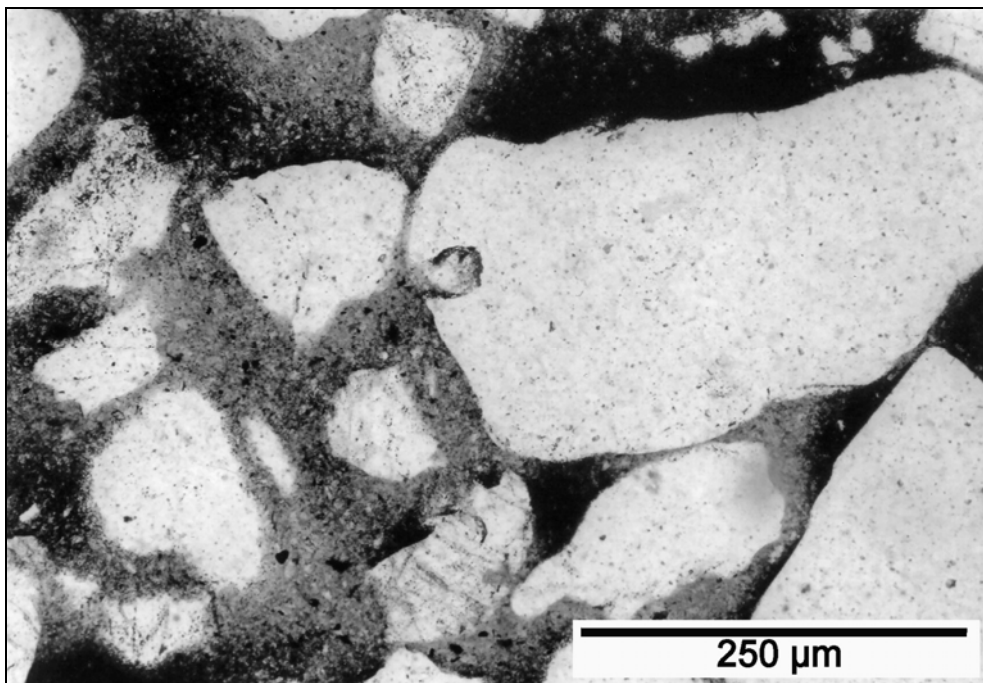
Fig. 17: Microphotograph, in polarized light, of area 3 in Table 2, Fig. 6 shows a layer of very fine sand to silt, composed of angular to shard shaped quartz grains, supported in a black matrix, directly overlaying the basal chert pebble. A wavy, indistinct boundary separates this silty layer from fine grained, matrix supported sand above. The latter lithology remains fairly constant over the remaining part of the cone. Rectangle identifies enlargement shown in Fig. 18.

Fig. 18: Das große Korn rechts oben hat direkten Kontakt mit den darunter liegenden Körnern. Das ist einer der wenigen Fälle im gesamten Dünnschliffbereich, wo ein korngetragenes Gefüge beobachtet wurde. Das restliche Feld zeigt dasselbe matrixgetragene Gefüge, das dem gesamten Kegel-Quarzit sein Gepräge gibt. Je nach Anteil an organischem Material ist die Matrix hellbraun oder schwarz gefärbt. In der Bildmitte, am linken Kornrand des großen Quarzkorns, ist eine tiefe Korrosionsbucht erkennbar. Aufnahme mit normalem Durchlicht.

The large grain in the upper right is in direct contact with the grain below. It is one of the few examples of a grain to grain contact. The remaining field exhibits the same matrix supported fabric, typical for the total area of the silcrete cone. The colour of the matrix, ranging from light brown to black depends on the amount of organic material present. A deep corrosion embayment is displayed on the left margin of the large quartz grain.



17



18

Tafel 8

Fig. 19: Die Oberfläche des Feuersteins, auf dem der Kegel-Quarzit aufsitzt, ist von kleinen Quarzkriställchen, die auf dem Feuerstein aufgewachsen sind, bedeckt. Die Kriställchen (Kristallite) bilden ein feines, stellenweise gitterförmiges Gefüge, wie z.B. im linken unteren Bildquadranten.

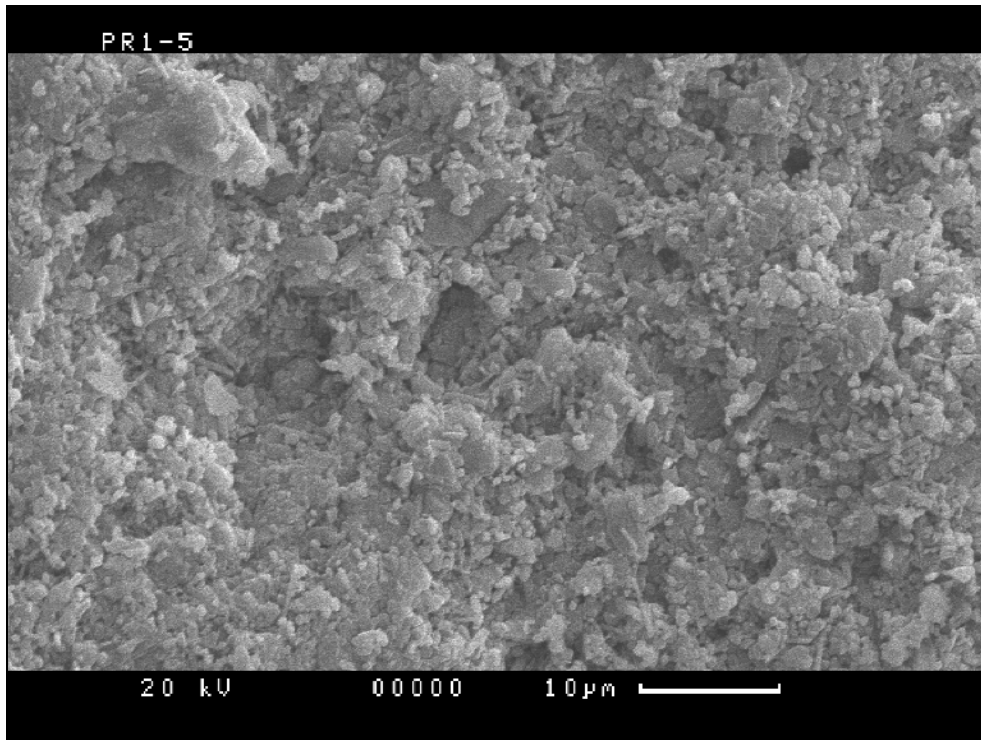
Die Vergrößerungsraten dieser und der folgenden Aufnahmen mit dem REM können mit Hilfe des Maßstabs am jeweiligen unteren Bildrand ermittelt werden.

The surface of a chert pebble, forming the base of a silcrete cone, imaged under the scanning electron microscope (SEM). The surface is covered by minute quartz crystals, forming a net like fabric, well displayed in the lower left of the picture.

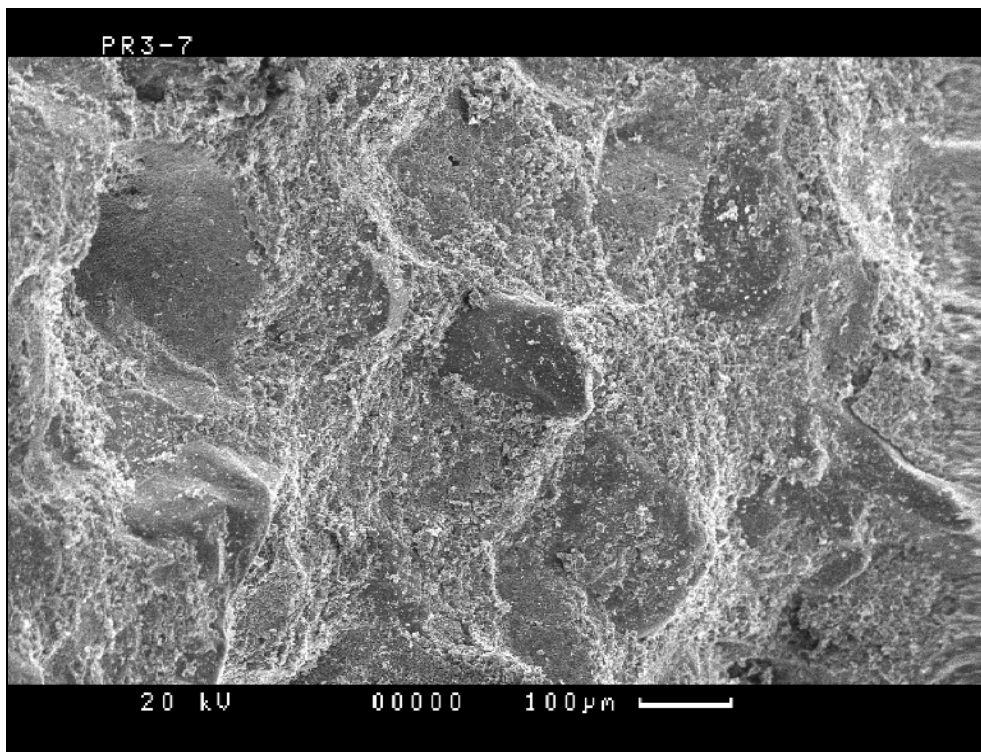
The magnification in this and the following SEM images is identified by the scale bar at the base of the picture.

Fig. 20: Typisches, matrixgetragenes Korngefüge, bei dem die meist dunkler erscheinenden klastischen Quarzkörner in einer feinkristallinen Matrix aus neu gebildeten, mikroskopisch kleinen Kriställchen „suspendiert“ sind. (Die horizontalen Streifen am rechten Bildrand sind durch einen elektronischen Fehler bedingt).

The picture shows a typical, matrix supported fabric, whereby the generally dark, clastic quartz grains are suspended in a micro-crystalline matrix, consisting of sub-microscopic quartz crystals. (The horizontal stripes on the right margin of the picture are due to electronic distortion).



19



20

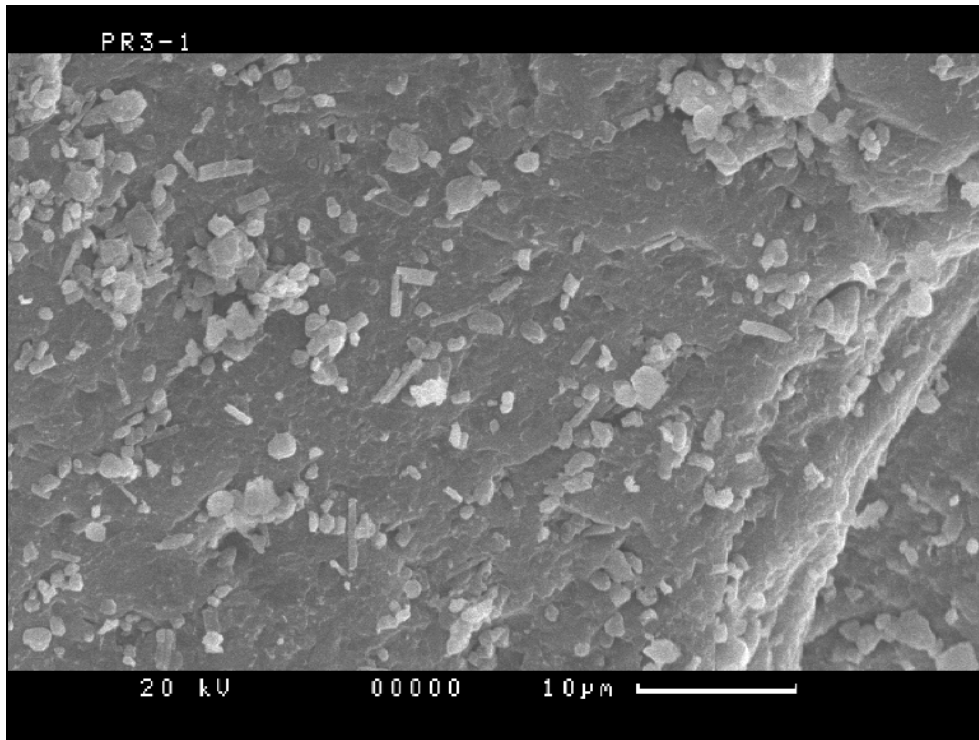
Tafel 9

Fig. 21: An der Oberfläche eines klastischen Quarzkorns sind stumpfwinklige, dreieckige Hohlformen von 1 μm bis 4 μm Hypotenusenlänge auszumachen, die als Anwachsspuren von rekristallisierten Quarzkriställchen gedeutet werden.

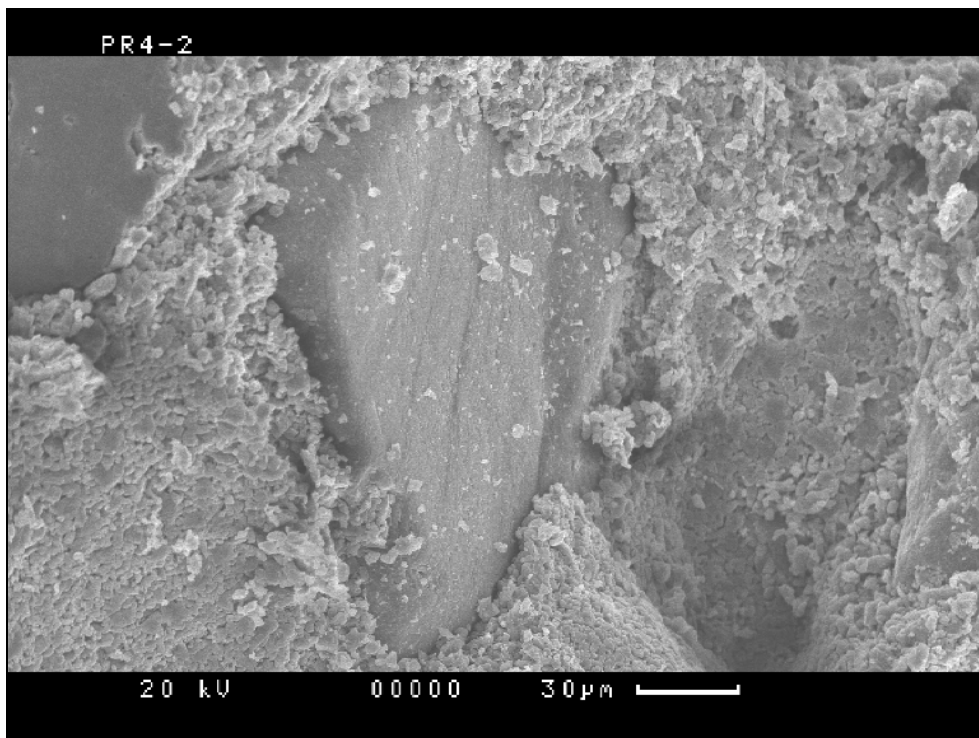
The surface of a clastic quartz grain exhibits obtuse, triangular depressions, the hypotenuse of which measures between 1 μm and 4 μm . They are thought to represent growth contacts of quartz micro-crystals on the grain surface.

Fig. 22: Typisches Erscheinungsbild eines klastischen Quarzkorns, das von der feinkörnigen Matrix aus gitterförmig angeordneten Quarzkriställchen ummantelt wird. Man beachte die glatte Oberfläche der Hohlform rechts neben dem Korn, die eine Kontaktfläche eines ausgebrochenen Kornes zur Matrix zeigt.

Typical example of a clastic quartz grain enveloped by matrix, consisting of a net of interlocking quartz micro-crystals. The smooth hollow to the right of the quartz grain represents the contact surface between the matrix and a clastic grain. The latter was removed when specimen was broken for mounting.



21



22

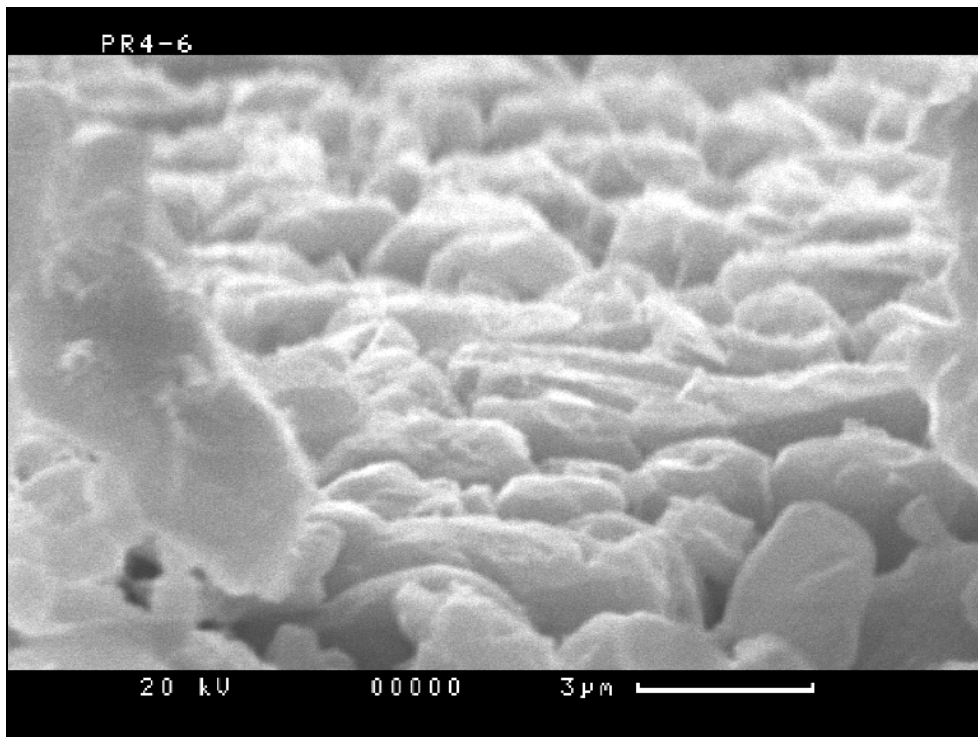
Tafel 10

Fig. 23: Bei sehr starker Vergrößerung ist die lagenartige Anordnung der Kristallite gut erkennbar. Vereinzelt lassen sich Kristallflächen erahnen, jedoch ohne diagnostisch zu sein.

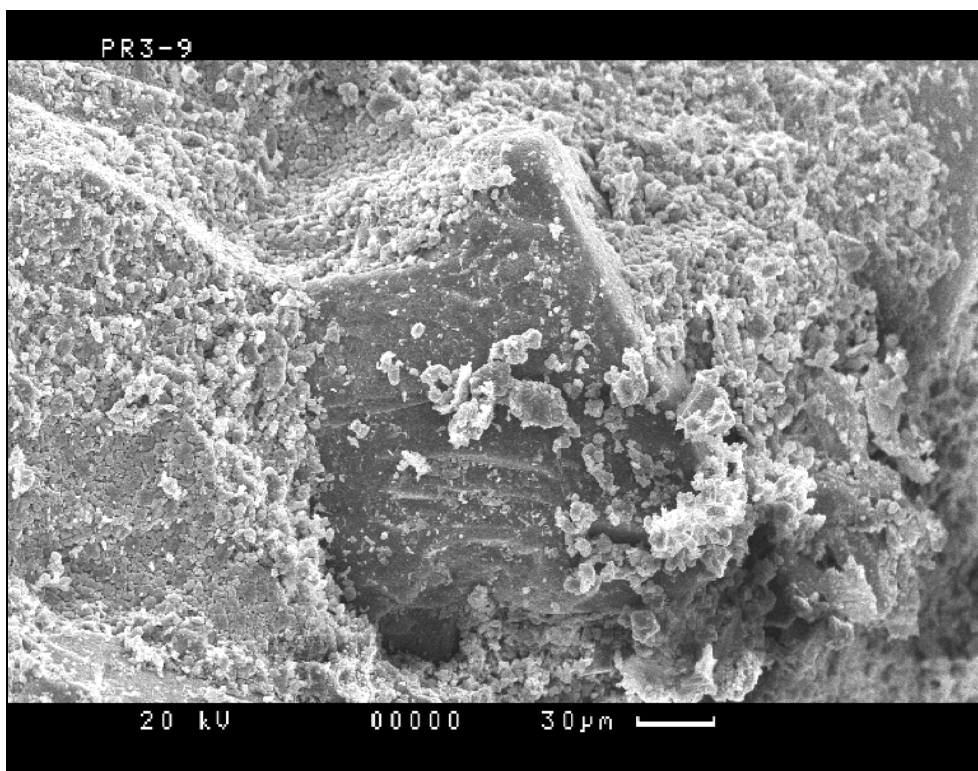
At extreme magnification the layered arrangement of the micro-crystals can be recognized. Occasionally, vague crystal faces are developed, but they are not diagnostic.

Fig. 24: Klastisches Korn, an dessen rechter Fläche der Kontakt zur Matrix sichtbar ist. Bei dieser Vergrößerung ist keine intensive Verwachsung zwischen Korn und Matrix erkennbar.

A further example of a quartz grain enveloped in cryptocrystalline quartz matrix. On the right side of the grain, its contact with the matrix is visible, indicating that no penetrative crystal growth took place between matrix and grain.



23



24

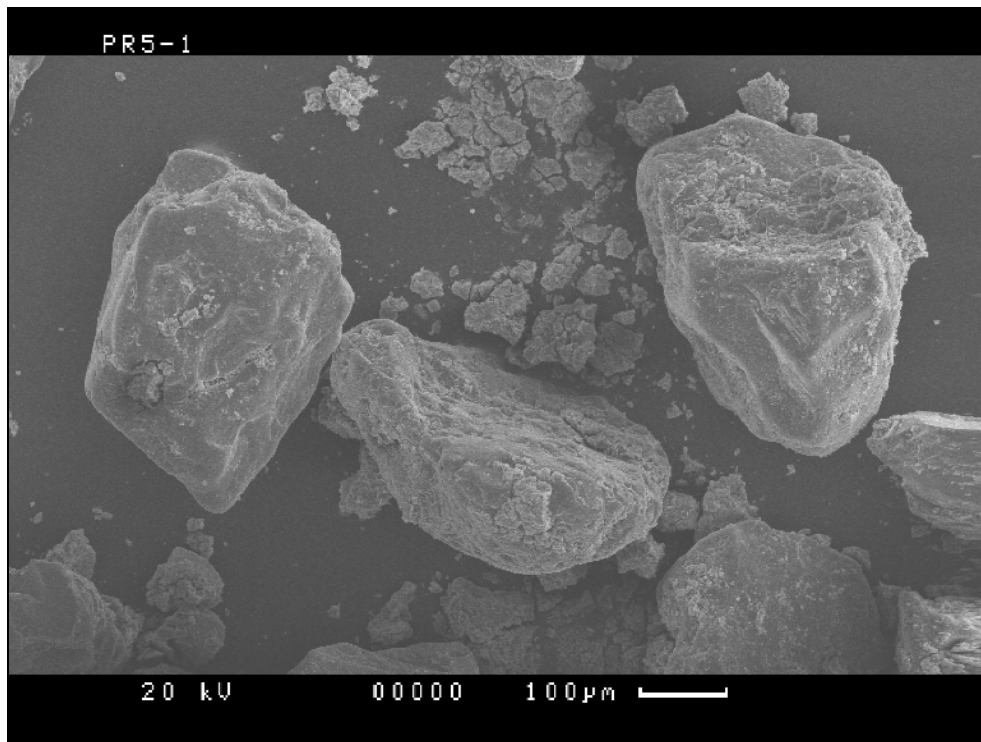
Tafel 11

Fig. 25: Einzelne Quarzkörner aus dem unverfestigten, braunen Sand, etwa 1cm unter der Basis der Verkieselungsbank. Reste der wahrscheinlich tonigen Matrix sind zwischen den Körnern und am mittleren Korn erkennbar.

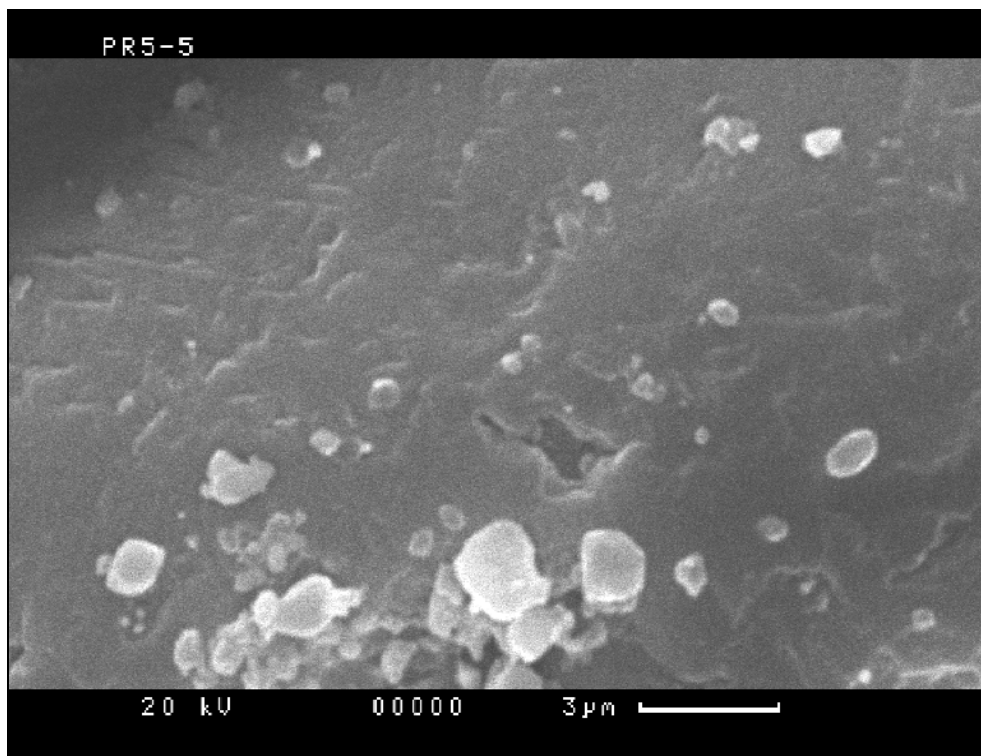
Individual quartz grains from the friable, brown sand about 1cm below the base of the silicification zone. Remnants of the argillaceous matrix are recognizable between the grains and attached to the grain in the centre.

Fig. 26: Die Oberfläche eines Quarzkorns zeigt bei starker Vergrößerung Korrosionsgrübchen und, vor allem links oben, typische trigonale Lösungsfiguren.

At enhanced magnification the surfaces of the quartz grains exhibit corrosion pits and typical, trigonal solution marks, as for instance in the upper left quadrant of the figure.



25



26

Tafel 12

Fig.: 27: Aufschluss eines massiven, „ausgereiften“ Silcretes am Koortanyannina Creek in Süd-Australien (Hammer als Maßstab). Ähnlich wie die verkieselten Kegel am Jackerather Horst, zeigt auch dieses Silcrete-Vorkommen spindel- bis kegelförmige Primärverkieselungen, welche dann durch fortgesetzte Neukristallisation von Quarz zum massiven Quarzit zementiert wurden. Die dunkle Färbung der Oberfläche ist durch Wüstenlack bedingt, frisch gebrochen ist das Silcrete hell gelblich-grau. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

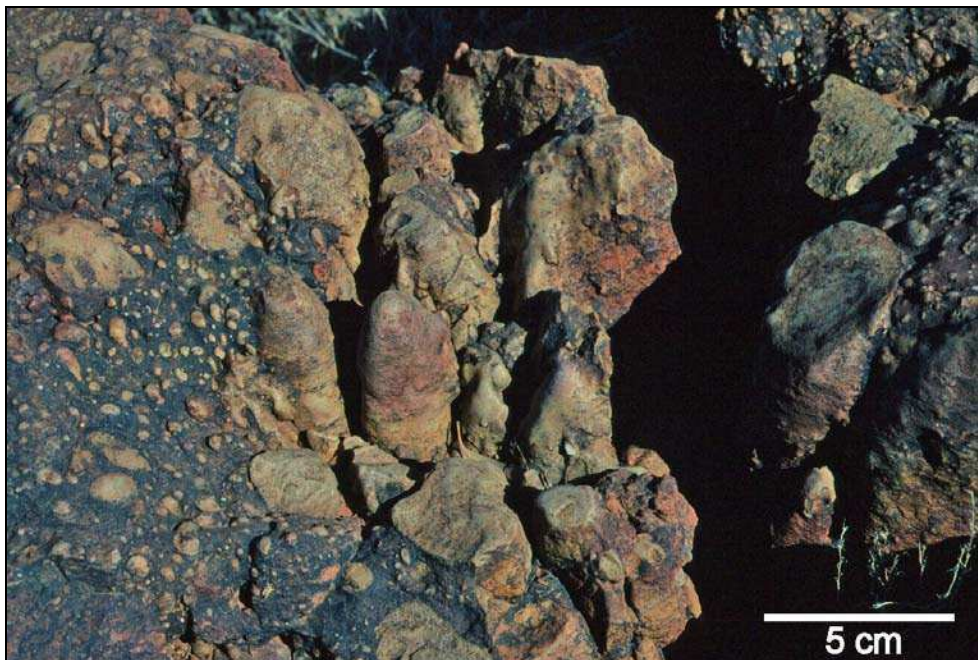
Exposure of a massive, “mature” silcrete in Koortanyannina Creek in northern South Australia exhibits cone shaped components, similar to those at Jackerath Horst. The silcrete cones represent the first generation of silica crystallisation during the initial phase of the silicification process. As quartz growth continued, the space between the initially formed cones was filled with smaller, nodular silcrete bodies (pseudo pebbles) and ultimately fully cemented by cryptocrystalline quartz, resulting in a dense, massive silcrete. The dark colour is due to desert varnish, freshly broken, the silcrete is light yellowish-grey.

Fig. 28: Die Oberfläche des Silcretes in Fig. 27 zeigt kegelförmige primäre Verkieselungskörper die durch rezente Verwitterung selektiv freigelegt wurden.

Cone shaped, primary silcrete bodies and smaller silcrete “pseudo pebbles” have been exposed by selective weathering on the surface of the silcrete depicted in Fig. 27.



27



28

Documenta naturae	185	S. 49 - 70	1 Abb.	6 Taf.	München	2011
-------------------	-----	------------	--------	--------	---------	------

**Fossilinhalt kreidezeitlicher Feuersteingerölle im
Liegenden von Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän)
im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler
der RWE Power AG**

**Fossil content of Cretaceous flint pebbles
reworked into Lower/Middle Miocene sands
below lignite seam Morken I in the
lignite open cut Garzweiler of RWE Power AG**

U. LIEVEN

Zusammenfassung: Es wird der Fossilinhalt von Feuersteingeröllen im Liegenden von Flöz Morken I beschrieben. Diese Feuersteine sind ins unt./mittl Miozän umgelagert. Sie stammen ursprünglich aus der Oberkreide und weisen die für diese Schichten typische Fauna auf, die hier allerdings nur durch spärliche Funde belegt ist.

Schlüsselworte

Niederrheinische Bucht, Flöz Morken I, unt./mittl. Miozän, Feuersteingerölle, Oberkreide

Summary: The fossil content of flint pebbles incorporated in sands below the lignite seam Morken I is described. The flint pebbles have been reworked from Upper Cretaceous chalk formations into the Lower to Middle Miocene beach sands underlying the lignite seam Morken I. The fauna included within the pebbles is typical for that Upper Cretaceous unit of flint pebbles, but in this locality the number of finds of identifiable fossils was rather low.

Key words

Cologne Embayment, Lignite-seam Morken I, Early/Middle Miocene, Flintstonegravel, Upper Cretaceous

Adresse des Autors:

Ing. Ulrich Lieven, RWE Power AG, Tagebau Garzweiler, 41517 Grevenbroich,
e-mail: ulrich.lieven@rwe.com

Der Autor ist Mitglied des Paläontologischen Arbeitskreises Bedburg (PAB) und der Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe (PBA) im Museum Günzburg und im Naturmuseum Augsburg.

Inhalt	Seite	
1	Einleitung und Danksagung	50
2	Fundort und Herkunft der Feuersteingerölle	51
3	Fossilien, Pseudofossilien, Problematica	52
3.1	Fossilinhalt und Erhaltung	52
3.2	Pseudofossilien / Lusus naturae (Naturspiele)	53
3.3	Problematica	54
Literatur		55
Tafeln		57

1 Einleitung und Danksagung

Seit Sommer 2001 begehen mein Kollege J. Bläser und ich in unregelmäßigen Abständen eine Fundstelle von Feuersteingeröllen im Tagebau Garzweiler. Im Laufe dieser 10 Jahre haben wir dort ca. 50.000 Feuersteine gesammelt, auf ihren Fossilinhalt hin gesichtet und teilweise auch poliert. Bei nur ca. 110 dieser Stücke sind eindeutig Reste von Fossilien auszumachen und zumindest manchmal die Möglichkeit einer (groben) Bestimmung gegeben.

Besondere, wohl einmalige Ausbildungen dieser Feuersteine sind bei WOPFNER et. al. (2011) sowie LIEVEN et. al. (2011) beschrieben worden (siehe diesen Band). Zur Abrundung dieser Beiträge wird hier speziell der Fossilinhalt dieser Feuersteingerölle vorgestellt.

Mein Dank gilt der Betriebsleitung des Tagebaus Garzweiler für die großzügige Unterstützung unserer geologischen und paläontologischen Arbeit. Meinem Kollegen J. Bläser ein herzliches Dankeschön für unermüdliches Mitsammeln und für das Polieren des Großteils der Feuersteine.

Danke auch den Kolleginnen und Kollegen des PBA, des Geolog. Dienstes NRW, sowie vielen anderen Exkursionsteilnehmern, die beim Besuch des Fundortes oftmals gleich eimerweise Feuersteine für uns gesammelt haben.

Den Mitgliedern des Paläontologischen Arbeitskreises Bedburg danke ich für ausgiebige Diskussionen zur Fossilienbestimmung und Zuordnungsversuchen der Problematica. In diesen Dank wird Herr Th. Budler, Feuersteinsammler aus Lübeck, gerne mit einbezogen.

Ein ganz besonderer Dank gebührt Herrn A. E. Richter (Fa. Richter-Fossilien-Reisen, Augsburg) für die Bestimmungshilfe bei den abgebildeten Fossilien.

Ein Dankeschön auch meiner Ehefrau Th. Knappertz-Lieven für unermüdliches Korrekturlesen und Herr Prof. H. Wopfner, Overath, für die Übersetzungen ins Englische.

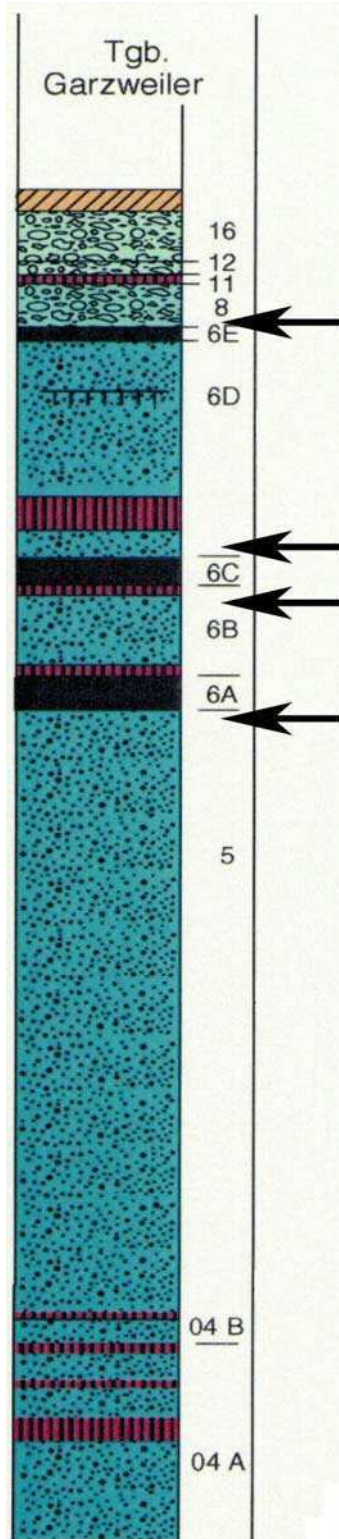


Abb. 1: Lithostratigraphisches Profil.
Pfeile = Vorkommen der Gerölle.
(nach SCHNEIDER & THIELE 1965)
Lithostratigraphic profile.
Arrows indicates position of layer of
flint pebbles. (after SCHNEIDER &
THIELE 1965)

2 Vorkommen und Herkunft der Gerölle

Einen Überblick des aktuellen Kenntnisstandes über Entstehung und Fossilinhalt der Braunkohlenablagerungen in den Tagebauen des Rheinischen Braunkohlenreviers veröffentlichten GOSSMANN et al. (2006). Der genaue Fundort der Feuersteingerölle, östl. des Jackerather Horstes, wurde bereits in diesem Heft bei WOPFNER et al. (2011) beschrieben und lokalisiert. Ebenso erfolgt dort seine topographische, geologische und stratigraphische Einordnung. Durch den Einsatz der Schaufelradbagger sind diese Gesteine, schon vor Jahren, in der Endböschung des Tagebaus und auf dem ausgekohlten Liegenden auf einer Fläche von ca. 15.000 m² freigelegt worden (Tafel 1 Fig. 1 u. 2). Durch anhaltende Erosion im feinkörnigen Sand werden laufend „frische“ Feuersteingerölle freigelegt, was das Aufsammeln der größeren Stücke sehr erleichtert, da zur Bergung nicht gesiebt werden muss. Bereits in den 1950er Jahren waren großflächige Untersuchungen und Veröffentlichungen, auch zum Vorkommen von Feuersteingeröllen, im Rheinischen Braunkohlenrevier ein umfangreiches Forschungsgebiet, siehe z.B. bei SCHROEDER et al. (1956), BRELIE, & WOLTERS (1958). Im ehem. Tagebau Fortuna Nord wurden diese Schichten bereits 1958 vorgefunden. Auch weiter nördlich konnten schon damals diese Vorkommen durch Bohrungen nachgewiesen werden. Im Zuge des durch den Tagebau Garzweiler bedingten Abbaus, gelangen diese auffälligen Schichten immer wieder ans Tageslicht. Die Feuersteingerölle finden sich an verschiedenen Stellen der Zwischenmittel im Normalprofil des Tagebaus Garzweiler (siehe Abb. 1). Manchmal sind sie sogar in die Kohleflöze eingeschwemmt. Zur Untersuchung des hier beschriebenen Fossilinhalts wurden ausschließlich die Feuersteinlagen unterhalb von Flöz Morken I ausgewertet.

Es handelt sich um Geröllstreifen von teilweise einigen hundert Metern Breite und mehreren Kilometern Länge (HOHOFF & KARRENBURG 1958). Die Mächtigkeit der Lagen schwankt von wenigen Zentimetern bis zu mehr als 2 m. Beschrieben sind solche Vorkommen aufgrund von „raschen Faziesänderungen“ in der Grube Neurath bereits bei BAJOR (1958). Die meist eiförmigen, grau-weißen bis bläulichen Feuersteine haben in der Regel einen Durchmesser von etwa 2 - 5 cm und sind in den Abbauböschungen des Tagebaues Garzweiler an wenigen Stellen als helles Geröllband zu erkennen. Es sind eindeutig marine Sedimente, die durch starke Strömung gleichförmig gerundet wurden. Aufgrund großflächiger Untersuchungen und einer dabei festgestellten gleichmäßigen Ausrichtung in nord-östlicher Richtung wurde erkannt, dass es sich um „Strandkiesel“ aus Ablagerungen der tertiären Proto-Nordsee handelt. Deren Küstenverlauf korreliert mit den miozänen Ablagerungen der Braunkohlengebiete. Sie gelangten durch Küstenversetzung von Westen her in die Niederrheinische Bucht. Diese Feuersteingerölle lassen sich bis in die niederländische Provinz Limburg immer in den gleichen Horizonten verfolgen. Ursprünglich stammen sie aus der Oberkreidetafel von Aachen-Südlimburg, bzw. aus den angrenzenden, heute nicht mehr mit Kreidesedimenten bedeckten Randgebieten des Hohen Venns und der Ardennen. Als Produkte einer intensiven Verkarsung im Raum Aachen, Lüttich, Maastricht, wurden sie durch Carbonatlösung und marine Abrasion dort vollständig abgetragen ALBERS & FELDER (1981). Sie bildeten sich in Carbonaten des höchsten Untercampans, Obercampans, Maastrichts und Unterpäläozäns sind demnach ca. 84 - 65 Millionen Jahre alt. Umgelagert wurden sie grundsätzlich bereits seit dem mittl. Paläozän/ob. Eozän. Speziell im Bereich des Jackerather Horstes geschah die Umlagerung im unt./mittl. Miozän vor ca. 14 Millionen Jahren.

3 Fossilien, Pseudofossilien, Problematica

3.1 Fossilinhalt und Erhaltung

Das Vorkommen von Feuersteinen in Kreideablagerungen ist immer an das Auftreten von kieselsäurebildenden Organismen, z.B. Schwämme, gebunden. Feuerstein bildet sich als gallertartige Masse, die im Laufe ihrer Genese verhärtet. Im Gel-Zustand kann diese Kieselsäureform gut in Hohlräume eindringen, was z. B. die Entstehung der zahlreichen Seeigelsteinkerne in Feuersteinerhaltung erklärt. Eine Beschreibung der Entstehung von Feuersteinablagerungen veröffentlichten SIEVEKING & HART (1986).

So weitverbreitet Literatur zu Kreidefossilien ist, so spärlich findet man Beschreibungen zu Fossilien speziell in Feuersteingeröllen. Meist handelt es sich dabei um Funde aus dem Geschiebe Nordostdeutschlands und Skandinaviens. Bei der Internetrecherche stößt man schnell auf zahlreiche Fotos solcher Stücke und auf die Seiten von Fossilien Sammlern mit diesem Spezialgebiet, wie z.B. Th. Budler aus Lübeck.

Im Gegensatz zu Funden im Geschiebe sind die Fossilbelege in den Garzweiler Feuersteingeröllen äußerst spärlich und unvollständig und dienen von daher nur einem rein systematischen Nachweis. Bedingt durch die geringe Größe der Feuersteine sind vollständige Funde kaum zu erwarten und liegen lediglich von einigen Schwämmen vor (Tafel 2, Fig. 2 - 4). Da die Gerölle in der tertiären Brandung gleichmäßig erodiert und gerundet sind, finden sich viele Fossilien nur im natürlichen Anschliff, der das Fossil zudem in einer unbekanntem Ebene schneidet. So sind sie oft kaum noch einer bestimmten Tiergruppe zuzuordnen. In sel-

tenen Fällen sind aus den harten Feuersteinen jedoch kleine Segmente ausgebrochen und legen die Fossilreste dreidimensional frei. In aller Regel handelt es sich dabei um Negativabdrücke und Hohlformen von Bruchstücken – nicht wirklich spektakulär. Gleichwohl ist der Nachweis von Fossilien unter solchen Umständen eine interessante Herausforderung. Bisher wurden die folgenden Tierstämme, und -klassen, eindeutig erkannt:

Porifera

Schwämme (Tafel 2, Fig. 1 - 6)

Mollusca

Gastropoda, Schnecken – Steinkerne (Tafel 3, Fig. 1)

Bivalvia, Muscheln – Schalenreste (Tafel 3, Fig. 2 u. 3)

Tentaculata und Branchiotremata

Tentaculata, Bryozoa, Moostiere (Tafel 4, Fig. 1 - 6)

Brachiopoda, Armfüßer – Schalenreste (Tafel 3, Fig. 4 - 6)

Echinodermata

Echinoidea, Seeigel - Stacheln und Ambulacralfelder (Tafel 5, Fig. 1 - 3)

Diese Belege zeigen allerdings nur einen kleinen Ausschnitt der Gesamtf fauna und sind keinesfalls repräsentativ für das Leben im damaligen warmen, flachen Schelfmeer.

Aufgrund der stratigraphischen Zuordnung der Feuersteingerölle in die Oberkreide und der Beschreibung entsprechender Faunengemeinschaften z. B. bei MCKERROW 1992, ist zu erwarten, dass folgende „üblich-häufigen“ Faunenelemente zwar vorhanden, aber noch nicht nachgewiesen sind:

Echinodermata

Crinoidea, Seelilien

Asteroidea, Seesterne

Mollusca

Ammonoidea, Ammoniten

Belemnitida, Belemniten

Arthropoda

Crustacea, Krebse

3.2 Pseudofossilien / Lusus naturae (Naturspiele)

Immer wieder ist bei den Exkursionsteilnehmern die Freude über den Fund eines (vermeintlichen) Holzstückes groß. Was im Gelände auf den ersten Blick wie Jahresringe eines versteinerten Holzes aussieht, stellt sich bei genauerer Betrachtung als Teilstück eines gebänderten Feuersteins heraus. Manchmal meint man in diesen Strukturen z.B. auch den Schalenrest einer Muschel zu erkennen (Tafel 5, Fig. 4 u. 5).

Bei den auffälligen Bänderstrukturen handelt es sich um kalkreiche (helle) und pigmentierte (dunkle) Wechsellagen. Als Ursache hierfür werden z. B. Temperaturunterschiede bei der Entstehung des Feuersteins vermutet. Als weitere Erklärung für diese Bänderung wird ange-

führt, dass es sich bei diesen Ablagerungserscheinungen um sog. Liesegangsche Ringe handelt.

Am Jackerather Horst besitzen weniger als 1% aller Feuersteingerölle eine Bänderung.

Auch Stylolithen führen immer wieder zur Verwirrung, da man oftmals meint, in ihrer typischen Querriefung einen fossilen Ursprung zu erkennen. Kleinflächige, ebene Druckmarken am Grund solcher geologischen Phänomene verleiten den Betrachter schnell zu Fehlinterpretationen (Tafel 5, Fig. 6).

Der „Spitzenreiter“ solcher Naturspiele ist sicherlich der von R. Niederehe gefundene „Trilobit“ (Tafel 6, Fig. 1). Er sieht einem *Iliaenus sarsi* aus dem mittl. Ordovizium Östergötlands in Schweden verblüffend ähnlich, der zu Vergleichszwecken auf Tafel 6, Fig. 2 abgebildet ist.

3.3 Problematica

Neben den o.g. Fossilien und Pseudofossilien finden sich ebenfalls immer wieder Fundstücke, die noch ihrer Bestimmung harren. Dass diese Strukturen fossilen Ursprungs sind ist sicher unstrittig. Ihre Zuordnung zu einer bestimmten Fossilgruppe steht allerdings in Ermangelung von Vergleichsstücken noch aus (Tafel 6, Fig. 3 - 6).

Literatur

- ALBERS, H.J. & FELDER, W.M. (1981): Feuersteingerölle im Oligomiozän der Niederrheinischen Bucht als Ergebnis mariner Abrasion und Carbonatlösungsphasen auf der Kreidetafel von Aachen-Südlimburg. Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf., **29**: S. 469 – 482, Krefeld
- BAJOR, M. (1958): Beobachtungen über Fazies, synsedimentäre Tektonik und Schwimmsandintrusionen in der Grube Neurath. Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf., **1**: S. 119 – 125, Krefeld
- BRELIE, V. D. G., & WOLTERS, R. (1958): Das Alttertiär von Gürzenich. Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf., **2**: S. 473 – 477, Krefeld
- GOSSMANN, R., GREGOR, H.-J. & LIEVEN, U. (2006): Die Niederrheinische Bucht und ihre Tertiärablagerungen (Braunkohlen, Kiese, Sande, Tone). Documenta Naturae, **Sb. 43**, S. 1-26.
- HOHOFF, W. & KARRENBERG, H. (1958): Mächtigkeit und Faziesentwicklung des Mittels zwischen den Flözen Garzweiler und Frimmersdorf; Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf., **1**: S. 143 – 150, Krefeld
- LIEVEN, U. (2011): Geologisch-sedimentologische Strukturen im Tagebau Garzweiler (RWE Power AG) – neue Aspekte, Documenta naturae, **185**: 71-109, 2 Abb., 16 Taf., München
- MCKERROW, W.S. (1992): Ökologie der Fossilien, S. 195 – 206. Franckh-Kosmos, Stuttgart
- SCHNEIDER, H. & THIELE, S. (1965): Geohydrologie des Erftgebietes, 185 S., Min. für Ernährung Landwirtschaft und Forsten NRW, Düsseldorf.
- SCHRÖDER, E., SCHMIDT, W. & QUITZOW, H.-W. (1956): Geologische Heimatkunde des Dürener Landes. Beitr. z. Geschichte d. Dürener Landes, **6**: 148 S., Düren 1956.
- SIEVEKING, G. & HART, M.B. (1986): The scientific study of flint and chert. Fourth International flint symposium, Brighton Polytechnic, 290 S. Cambridge University Press.
- WOPFNER, H., LIEVEN, U. & NIEDEREHE, R. (2011): Kegelförmige Einkieselungen im Liegendsand von Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän) im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler der RWE Power AG. Documenta Naturae, **185**: S. 1-46, 7 Abb., 12 Taf., 1 Tab., München

Internet

www.budstone.de
www.chemieunterricht.de
www.geo-ag-kiel.de
www.geo-lieven.com

Tafeln

Plates

Fotos

- Die Größenangaben beziehen sich auf die größte Abmessung des jeweiligen Fossils.
- Mikroskopaufnahmen sind gekennzeichnet.
- Alle Aufnahmen wurden vom Autor angefertigt:
 - Canon Power Shot S95.
 - Reflecta Digi Microscope USB.

Photographs

- The measurements relate to the maximum dimension of the respective fossil.
- Microphotographs are identified.
- All photographs were produced by the author:
 - Canon Power Shot S95.
 - Reflecta Digi Microscope USB.

Tafel 1

Fig. 1: Feuersteine in der Tagebau-Endböschung am Jackerather Horst.
Layer of flint pebbles exposed on the terminal excavation face at Jackerath Horst.

Fig. 2: Feuersteine auf dem ausgekohlten Liegenden.
Flint pebbles on the sand below the mined out lignite seam.



1



2

Tafel 2

Fig. 1: *Aphrocallistes* cf. *alveolites*, ROEMER 1841 - 16 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2626

Fig. 2: *Porosphaera* sp., - 58 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2628

Fig. 3: *Plintosella squamosa*, ZITTEL 1878 - 23 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2636 a

Fig. 4: *Ventriculites* sp. - 25 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2645

Fig. 5: unbest. Schwamm - 12 mm
unidentified sponge - 12 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2654

Fig. 6: unbest. Schwamm - 5 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified sponge - 5 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2656



1



2



3



4



5



6

Tafel 3

Fig. 1: unbest. Turmschnecke - 1 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified cone snail - 1 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2663

Fig. 2: *Pycnodonte* sp. - 15 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2670

Fig. 3: *Mimachlamys* sp. - 9 mm
unidentified bivalve - 9mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2681

Fig. 4: rhynchonellide Brachiopode - 12 mm
rhynchonellid brachiopod - 12 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2686

Fig. 5: rhynchonellide Brachiopode - 9 mm
rhynchonellid brachiopod - 9 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2697

Fig. 6: rhynchonellide Brachiopode - 8 mm
rhynchonellid brachiopod - 8 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2710



1



2



3



4



5



6

Tafel 4

Fig. 1: *Membranipora* sp. - 6 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2717

Fig. 2: unbest. Bryozoe - 2 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified Bryozoa - 2 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2718 a

Fig. 3: unbest. Bryozoe - 10 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified Bryozoa - 10 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2718 b

Fig. 4: unbest. Bryozoe - 1 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified Bryozoa - 1 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2718 c

Fig. 5: unbest. Bryozoe - 5 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified Bryozoa - 5 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2718 d

Fig. 6: unbest. Bryozoe - 1 mm (Mikroskopaufnahme)
unidentified Bryozoa - 1 mm (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2718 e



1



2



3



4



5



6

Tafel 5

Fig. 1: unbest. Seeigel, Corona - 32 mm
Corona of unidentified echinoid - 32 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2631

Fig. 2: unbest. Seeigel, Ambulakralplatten - 12 mm
Ambulacral plate of unidentified echinoid - 12 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2639

Fig. 3: *Temnocidaris* sp., Stachel - 28 mm
Spine of *Temnocidaris* sp. - 28mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2649 a

Fig. 4: Gebänderter Feuerstein (poliert) - 58 mm
Banded flint pebble (polished) - 58 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2700

Fig. 5: Gebänderter Feuerstein (poliert) - 36 mm
Banded flint pebble (polished) - 36 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2701

Fig. 6: Stylolith - 16 mm
Stylolite - 16 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2706



1



2



3



4



5



6

Tafel 6

Fig. 1: *Lusus naturae* - 47 mm
Coll. NIEDEREHE

Fig. 2: *Iliaenus sarsi*, JAANUSSON 1954 - 48 mm
Ljungsbro, Linköping, Östergötland (S), 1986
mittl. Ordovizium, Llanvirn
Coll. LIEVEN Nr. 540

Fig. 3: *Problematicum* - 23 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2724

Fig. 4: *Problematicum* - 11 mm
Coll. LIEVEN, Nr. 2725

Fig. 5: *Problematicum* - 7 mm, (Mikroskopaufnahme)
Problematicum - 7 mm, (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2726

Fig. 6: *Problematicum* - 1 mm, (Mikroskopaufnahme)
Problematicum - 1 mm, (microphotograph)
Coll. LIEVEN, Nr. 2718 f



1



2



3



4



5



6

Documenta naturae	185	S. 71-109	2 Abb.	16 Taf.	München	2011
-------------------	-----	-----------	--------	---------	---------	------

Geologisch-sedimentologische Strukturen im Tagebau Garzweiler (RWE Power AG) – neue Aspekte

Geological features and sediment structures in the open cut Garzweiler (RWE Power AG) -new aspects

U. LIEVEN, N. FRERIX, H.-J. GREGOR & M. ZIMMER

Zusammenfassung: Aus dem Tagebau Garzweiler der RWE Power AG werden verschiedene geologische Strukturen beschrieben, die stratigrafisch sicher einzuordnen sind und interessante Einblicke in die Erdgeschichte des Tagebaues und seiner Tektonik, Sedimentologie, Mineralogie und Petrographie gestatten.

Schlüsselworte: Braunkohle, Geologie, Tektonik, Sedimentologie, Mineralogie, Petrographie, Ichnofossilien

Summary: Excavations in the course of lignite extraction in the open cut Garzweiler of the RWE Power AG exposed diverse sediment structures, diagenetic modifications and bioturbations. The phenomena which are described within their stratigraphic context, provide interesting insights into the Earth history (tectonic, sedimentology, mineralogy and petrography) of the sediment succession exposed in the open cut.

Key words: Lignite, geology, tectonics, sedimentology, mineralogy, petrography, bioturbation, ichnofossils

Anschriften der Autoren

Ing. Ulrich Lieven, RWE Power AG, Tagebau Garzweiler, Abt. Stab, Erftr. 111,
41517 Grevenbroich, e-mail: ulrich.lieven@rwe.com

Chem. Techn. Norbert Frerix, RWE Power AG, Kraftwerk Niederaußem, Abt. Mineralogie,
Werkstraße, 50129 Bergheim, e-mail: norbert.frerix@rwe.com

Dr. Hans-Joachim Gregor, Daxerstr. 21, D-82140 Olching; e-mail: h.-j.gregor@t-online.de

Chem. Techn. Martina Zimmer RWE Power AG, Kraftwerk Niederaußem, Abt. Mineralogie,
Werkstraße, 50129 Bergheim, e-mail: martina.zimmer@rwe.com

Die Autoren GREGOR und LIEVEN sind Mitglieder der Paläobotanisch-Biostratigraphischen-Arbeitsgruppe (PBA) im Museum Günzburg und Naturmuseum Augsburg.

Inhalt	Seite	
1	Einleitung	72
2	Die sedimentologischen Strukturen	75
2.1	Kegel-Quarzite auf Feuersteingeröllen („Zipfelmützen-Feuerstein“)	75
2.2	Sedimentstrukturen im Bereich Jackerather Horst	76
2.3	Pyritisierte Feuersteingerölle als Einspülung im Flöz Frimmersdorf	77
2.4.	Ichnofossilien in den Zwischenmitteln Neurather- und Frimmersdorfer Sand	77
2.4.1	Grabbauten von <i>Ophiomorpha nodosa</i>	78
2.4.2	Kohlegeröll mit <i>Teredo</i> -Spuren	78
2.4.3	Unbekanntes Spurenfossil	78
2.5	Natürlich glänzende Feuersteingerölle im Hangenden von Flöz Garzweiler	79
2.6	Hochflut-Tone mit Bewurzelung im Reuver-Ton	80
2.7	Erosionsrinnen in den Reuver Serie	80
2.8	Farbige Kiese und Sande aus dem Bereich der Plio-/Pleistozän-Grenze	81
3	Fazit	81
Literatur		82
Tafeln		83

1 Einleitung

Nach mehr als 20 Jahren geologischer-/paläontologischer Exkursionen in den Tagebauen der RWE POWER AG (vorrangig Tgb. im Hambach) werden nachfolgend einige neu beobachtete Aspekte aus dem Tagebau Garzweiler vorgestellt, der seit 2006 regelmäßig im Rahmen der jährlichen PBA-Exkursionen besucht wurde. Insbesondere konnten die Fundstellen der von Autor LIEVEN (2006) beschriebenen Lackabzüge untersucht werden, um deren großräumige Einbindung in den Senkungsbereich der Venloer Scholle verstehen und zuordnen zu können.

Zusätzlich zu den Strukturen dieser Lackabzüge sollen hier einige neue Fotos als Ergänzung vorgelegt werden, auch um die unglaublich reichhaltige Vielfalt sedimentologischer und tektonischer Strukturen im Tagebau Garzweiler ergänzend zu dokumentieren. Ihre Fundorte im Tagebau Garzweiler sind in Abb. 1 gekennzeichnet. Eine Abhandlung über ähnliche Strukturen im Tagebau Hambach ist in Vorbereitung und wird ebenfalls im Verlag Documenta naturae erscheinen. THEWALT & DOERFNER haben 2001 bereits mineralogische Notizen aus dem Tgb. Hambach vorgelegt und sie dementsprechend interpretiert. Zu den chemischen Analysen von Sedimentgesteinen vgl. man TUCKER (1996).

Entsprechend dem „Grundgesetz der Stratigraphie“ werden die nachfolgend vorgestellten sedimentologischen Strukturen stratigrafisch geordnet (Abb. 2), also von unten nach oben, dem Alter nach aufsteigend beschrieben.

Die E-Nummern betreffen die Exkursionsnummer aus dem Tagebuch des Autors GREGOR mit Notizen usw. (E 957 von 2006, E 987 von 2007, E 1034 und E 1070 von 2010).

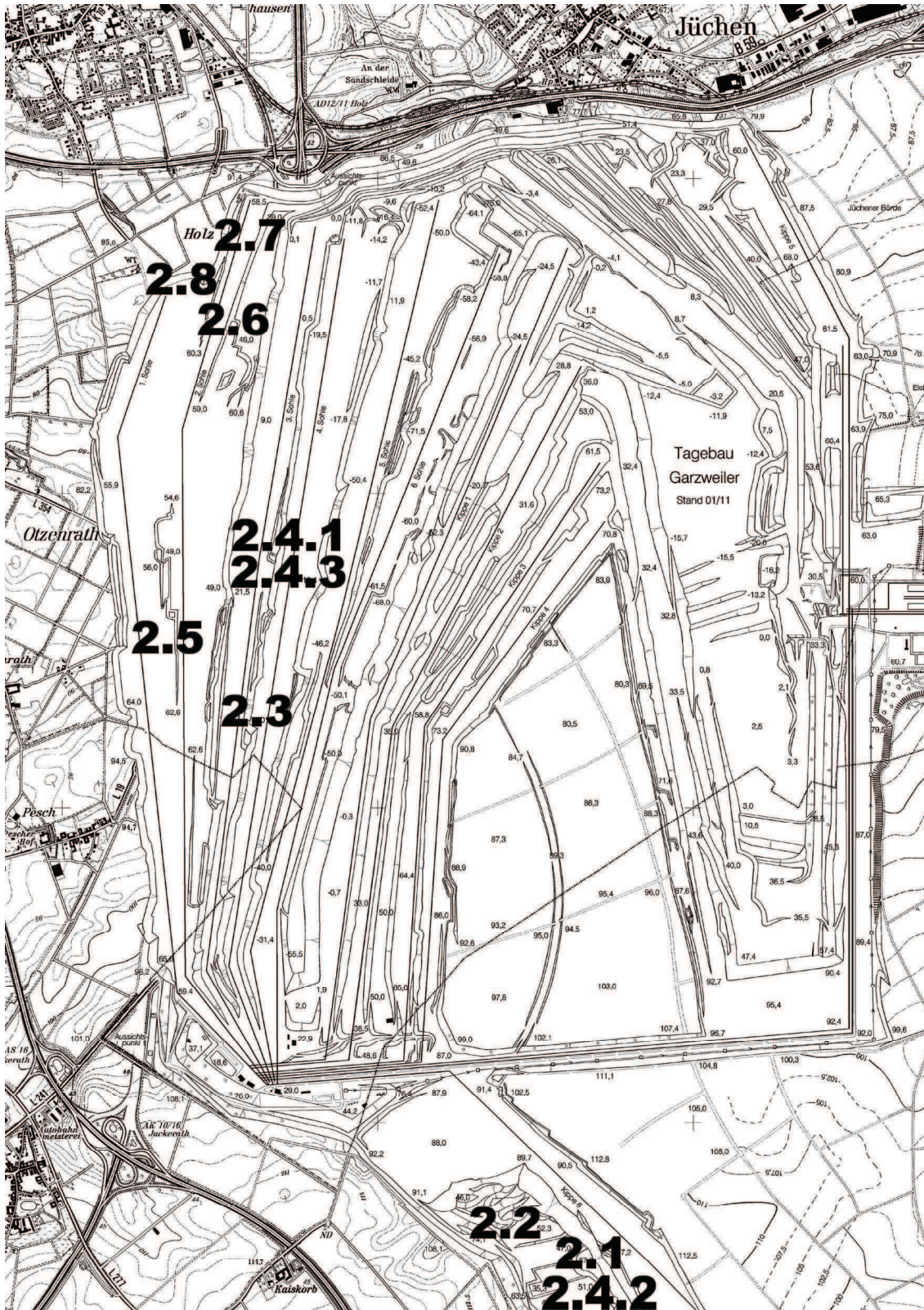


Abb. 1: Fundorte der einzelnen Strukturen im Tagebau Garzweiler.
(Nummerierung entsprechend den Kapitelnummern.)
Positions of individual finds within the open cut Garzweiler.
(The numbers correspond to the workplace identification numbers)

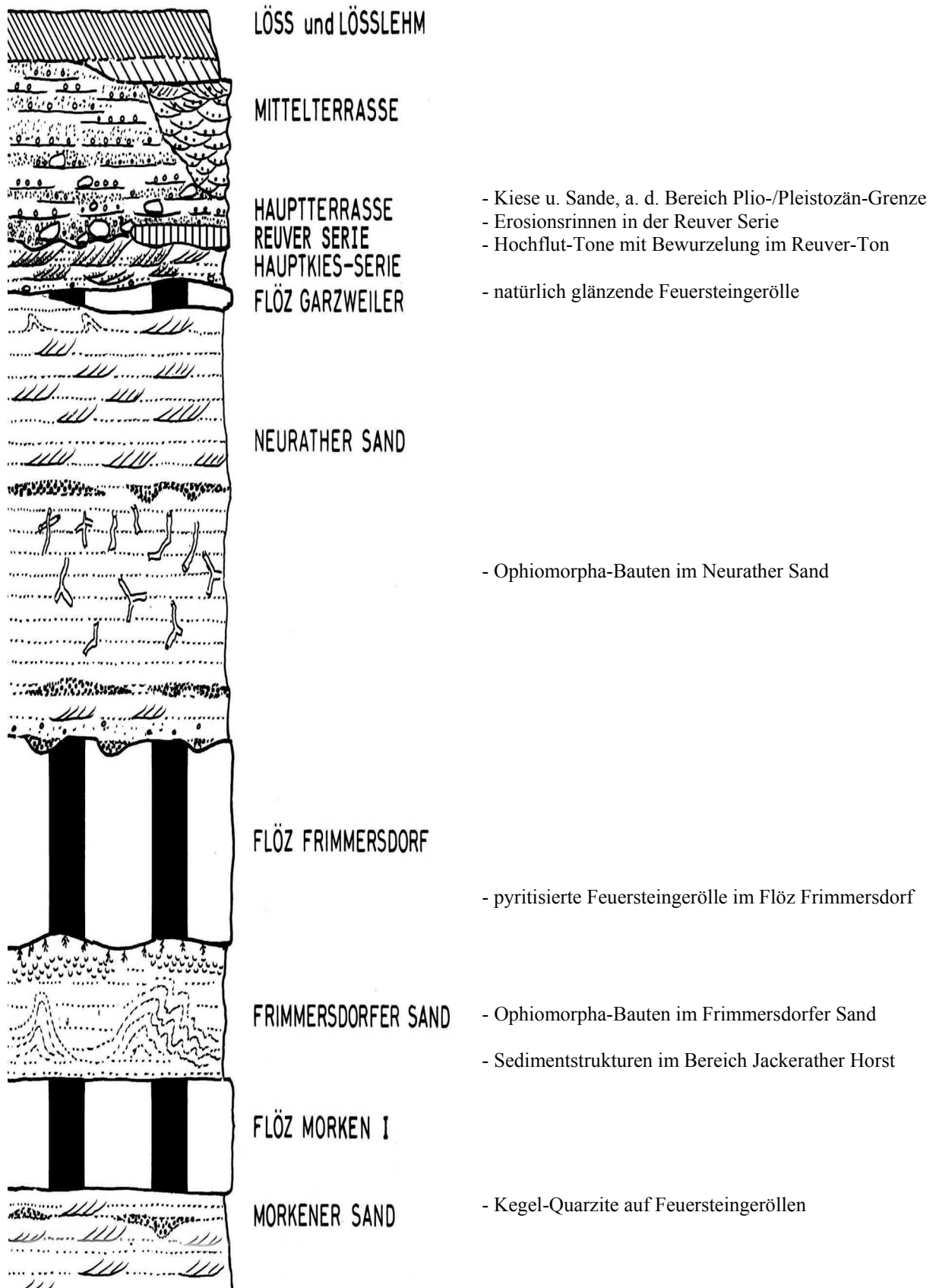


Abb.2: Stratigraphische Zuordnung der sedimentologischen Strukturen im idealisierten Profil.

Stratigraphic position of sediment structures within the schematic profile.

2. Die sedimentologischen Strukturen

2.1 Kegel-Quarzite auf Feuersteingeröllen („Zipfelmützen-Feuerstein“)

(E 987/3A); Tafel 1, Fig. 1-6, Taf. 2, Fig. 1-5, Taf. 3, Fig. 1-5, Taf. 4, Fig. 1-4

Bereits 2006 wurde im Liegenden von Flöz Morken ein ganz auffällig ausgebildeter Horizont mit Feuersteingeröllen gefunden. Einem Großteil dieser „Strandkiesel“ saßen verhärtete kegelige Aufsätze auf, weshalb diese Funde sofort mit dem vorläufigen Arbeitstitel „Zipfelmützen-Feuerstein“ belegt wurden. Die 20 - 30 cm mächtige Schicht bestand aus teilweise verfestigtem Sand mit den genannten „Zipfelmützen“, wobei die Zwickel zwischen den Kegeln leichte Pyritisierung zeigten. Eine umfassende Bearbeitung dieser einzigartigen geologischen Situation haben WOPFNER et. al. (2011) vorgelegt (siehe diesen Band).

Infiltration von Kieselsäure findet man bei sehr vielen geologischen Vorgängen, speziell auch bei der „Versteinerung“ von Hölzern. Die hier vorliegende Ausbildung als Kegel-Quarzit auf Feuersteingeröllen dürfte hingegen weltweit einmalig sein!

Eine der ersten Fragen, die damals auftauchten, war die Klärung des Verbindungsmaterials zwischen Feuersteingeröll und dem Quarzit-Kegel. Bei den Exkursionen war nämlich aufgefallen, dass sich Kegel im bergfeuchten Zustand leicht vom Feuerstein lösen, während bei ausgetrockneten Exemplaren eine schlagfeste Verbindung besteht.

Eine Analyse der Kittsubstanz durch Autorin ZIMMER bestätigte den Verdacht einer Art tonigen Natur“zements“ (Prüfbericht 190/2010-019/PNR-MM):

Hintergrund und Vorgehensweise:

Im Tagebau Garzweiler, Liegendes Flöz Morken, Bereich Jackerather Horst, wurden Feuersteine mit zipfelförmig ausgeprägten Anwachsungen gefunden. Diese Feuersteine sollten hinsichtlich Zusammensetzung (Komponenten) und Korngefüge untersucht werden. Hierbei war der Zusammenhalt (Kittsubstanz) zwischen Feuerstein und Kegel von besonderem Interesse.

Probenpräparation:

Für die Untersuchung wurde ein repräsentatives Teilstück (roter Rahmen) entnommen und hieraus ein Schliff hergestellt. Die Untersuchung erfolgte mittels:

1 Auflichtmikroskopie

2 REM (Mikrobereichsanalyse)

Für die mikroskopischen Untersuchungen wurde ein Anschliff der Probe hergestellt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

1 Teilen der Probe (nass mit Säge)

2 Einbetten der Probe (Kalteinbettung mit Epoxidharz)

3 Anschließendes Schleifen und Polieren der zu untersuchenden Probenoberfläche

Die mikroskopische Untersuchung erfolgte jeweils an zwei Teilbereichen:

Bereich 1 Übergang Feuerstein-Zipfel

Bereich 2 entfernt vom Übergangsbereich, innerhalb des Zipfels

Ergebnisse:

Lichtmikroskopie:

Im Bereich 1 erkennt man im linken Bildausschnitt die relativ homogene Struktur des Feuersteins. Unmittelbar daran anhaftend sind unregelmäßig, kantige Quarzkörner (weiß) umgeben von einer gräulichen Matrix erkennbar. Bei höherer Vergrößerung erkennt man, dass in dieser Matrix kleine Körner enthalten sind.

Rasterelektronenmikroskopie:

Hier wurden im Materialkontrast als Hauptbestandteile die Elemente Silizium (Si) und Sauerstoff (O) nachgewiesen. Innerhalb der umgebenden Matrix konnte, neben Silizium und Sauerstoff zusätzlich noch Titan (Ti) nachgewiesen werden.

Somit konnte außer der Phase SiO_2 nur Titan-Oxid gefunden werden, welches sich in der Kittmatrix befindet. Erhöhte Titangehalte deuten in den rheinischen Braunkohlenlagerstätten meist auf tonig-schluffige Bestandteile hin. Allerdings ist TiO_2 auch ein üblicher und typischer Begleiter von Silcretes, meist in Form von neu gebildetem Anatas (siehe WOPFNER & WALTHER, 1999). Boden- und Grundwasser-Silcretes enthalten immer 1-2% TiO_2 . Der erhöhte Ti-Gehalt an der Grenzfläche könnte somit auch durch den Verkieselungs-Prozess hervorgerufen sein.

2.2 Sedimentstrukturen im Bereich Jackerather Horst

(E 957/25) (E 987/3B); Tafel 5, Fig. 1-4, Tafel 6, 1-4

In Bereich des Jackerather Horstes kommen in einem bereits ausgekohlten Teil des Tagebaues Garzweiler unglaublich variable Sedimentstrukturen vor. Fast lehrbuchhaft sind hier - durch tektonische Vorgänge geschaffen - eine große Anzahl der verschiedensten Ablagerungsstörungen zu finden. Einen ausführlichen Bildband dazu legte Autor LIEVEN bereits in der Documenta naturae SB 43 (2006) vor. Hier sei nochmals kurz auf diese einmalig interessanten Sedimentstrukturen hingewiesen. Einige Beispiele sollen sowohl die Ästhetik, als auch die geologischen Besonderheiten dieser wissenschaftlich äußerst interessanten Strukturen zeigen.

Es liegen jegliche Art von Verstellungen, Rutschungen, Reliefumkehr, Stauchungen, Verwürgungen und Vertikalstellung in Sanden, Schluffen und kohligen Einlagerungen im Liegenden von Flöz Frimmersdorf vor. Eine ausführliche Beschreibung und Dokumentation zu diesem Fundort legte schon der ehem. Betriebsgeologe Dr. G. GROSS (1986-94) vor. Er erkannte diesen Bereich eindeutig als fossile Rutschung und fertigte zahlreiche Lackabzüge dieser Sedimentstrukturen an.

Die herausragendste Struktur in diesem Bereich stellt eine große, wellenförmige Überprägung der Schlüsselstrukturen im Liegenden von Flöz Frimmersdorf dar. Auf über 15 m Länge sind im grauen Liegendsand zahlreiche Wellenberge und -täler abgebildet, die 2007 bei einer geologischen Exkursion mit Praktikanten der Markscheiderei Garzweiler entdeckt wurden. Bei den Mineralientagen München 2010 und der Mineralienmesse Stuttgart 2011 war ein 10 m langer Lackabzug dieser geologischen Besonderheit einer der Publikumsmagneten.

Eine Interpretation der Entstehung dieser „perfekten Welle“ war lange umstritten, da sich zahlreiche Fachleute und Exkursionsteilnehmer nicht auf die Fließrichtung der Welle „von links nach rechts“ oder „von rechts nach links“ einigen konnten. Weitere umfangreiche Grabungsarbeiten vor Ort führten dann zur Lösung. Prof. M. SCHAEFER (Universität Bonn) bestätigte die Vermutung der Autoren, dass die Wellentäler ehemalige Abflussrinnen im marinen Sand darstellen und die Fließrichtung „ins Bild hinein“ erfolgte – also rechtwinklig zu den abgebildeten Wellen.

2.3 Pyritisierte Feuersteingerölle als Einspülung im Flöz Frimmersdorf

(E 957/29); Tafel 12, Fig. 1-3, Taf. 13, Fig. 1 - 6

Ein in der Fachwelt noch weitgehend unbekanntes und in den Braunkohletagebauen äußerst seltenes geologisches Phänomen erbrachte einmal mehr der Kohlestoß im Flöz Frimmersdorf. Hier waren im unteren Drittel des Kohleflözes weißgraue Sande mit kreidezeitlichen Feuersteingeröllen eingespült, welche seltsamerweise von einer dünnen goldfarbenen Schicht überzogen waren. Im Sonnenschein glänzten diese „Goldeier“ wie frisch poliertes Messing und es war eine fast abenteuerliche Freude, diese geologischen Schätze aus dem Sand herauszulösen.

Es wird die These aufgestellt, dass es durch Reaktion von aus organischen Zersetzungsprozessen stammendem H_2S mit Eisen(II)-haltigen Wässern aus dem im mittleren Miozän aufwachsendem Flöz zur Ausfällung von Pyrit (FeS_2) kam. Als heterogener Keimbildungseffekt dieser übersättigten Lösungen lagert sich, nach diffusem Stofftransport, der Pyrit auf der dem Stoffstrom zugewandten Seite ab. Das erklärt gleichzeitig, warum die Feuersteingerölle ausschließlich auf ihren der Kohle zugewandten Seiten golden glänzten. Dieses Phänomen ist den Autoren trotz reicher Erfahrung mit den europäischen Braunkohlenablagerungen vorher noch niemals begegnet. Die eigentliche Fundstelle bzw. Fundschicht im über 30 km² großen Tagebau Garzweiler war eine Sandlinse von nur ca. 1 m Länge. Das eingespülte Feuersteinband war ca. 25 cm mächtig und nur die obersten Steinlagen wiederum waren teilweise pyritisiert. Die Fundstelle wurde umfangreich dokumentiert und zusammen mit Resten fossiler Hölzer wurden ca. 60 kg (~ 800 Stk.) an Belegmaterial geborgen.

Eine Analyse des goldschimmernden Belages durch Autor FRERIX ergab folgende Komponenten (Prüfbericht 100/2008-127/PNR-MM):

Verfahren:

Röntgenpulverdiffraktometrie; incl. qualitativer und halbquantitativer Auswertung der Mineralphasenbestandteile (Probe: 08-127-0001).

Mineralphasenanalyse:

Quarz:	81 %	SiO ₂
Pyrit:	2,2 %	FeS ₂
Kalifeldspat:	4,5 %	KAlSi ₃ O ₈
Röntgenamorph:	12 %	

Die Probe enthält eindeutig Pyrit. Markasit zeigt im Difraktogramm keine signifikanten Reflexe.

2.4 Ichnofossilien in den Zwischenmitteln Neurather- und Frimmersdorfer Sand

(E 957/30); Tafel 7, Fig. 1-6

Während der Wachstumsphase der küstenbegleitenden Torfmoore und Sumpfwälder gelangten im Miozän Sedimente der Proto-Nordsee in den Norden des Reviers. Diese marinen Feinsande wurden mit bis zu 70 m Mächtigkeit in der Hauptflözgruppe abgelagert. Sie bilden die heutigen Zwischenmittel Frimmersdorfer- und Neurather Sand, mit den typischen Schräg- und Kreuzschichtungen oder mit Rippelausbildung.

Sie sind im Neurather Sand leicht limonitisch geprägt, was sich an einigen Stellen in gelben Farbtönen deutlich zeigt. Im Frimmersdorfer Sand herrschen hingegen schokoladenbraune Sande vor, deren Farbe von feinsten kohligen Partikeln und Huminstoffen aus dem überla-

gerndem Flöz herrührt. Zu Huminstoffen in Sandprofilen vergleiche man KILLOPS & KILLOPS 1997: 87-90). Näheres zu Sedimentstrukturen die Bioturbation betreffen, findet man bei TUCKER (1996: 19-21, Tab. 2.4 und 2.5). Vor allem HÄNTZSCHEL (1962 im TREATISE) hat eine Vielzahl von Ichnofossilien aufgeführt; allerdings ohne unser „Unbekanntes Spurenfossil“. Auch MÜLLER (1976) kann nichts zur Lösung der Problematik dieser Form beitragen.

2.4.1 Grabbauten von *Ophiomorpha nodosa* (E 957/30); Tafel 7, Fig. 1 u. 3-5

Ganze Abbauwände dieser Sedimente zeigen eine unglaubliche Menge von Grabgängen und Wohnröhren. Diese sind als Spurenfossil *Ophiomorpha nodosa* in der Niederrheinischen Bucht hinlänglich bekannt und beschrieben (vergl. SEIDEL (1957), DASSEL (1988) und LIEVEN (2005).

Die Röhren können alle möglichen Lagen im Sediment einnehmen. Meist stehen sie jedoch fast senkrecht steil im Feinsand. Ihr Außendurchmesser schwankt zwischen 1 und 6 cm; die längsten Röhren(teil)abschnitte, die im Sediment zu verfolgen waren, erreichten ca. 100 cm Länge. Die Röhren sind umkrustet von Limonitschwarten und mit feinem Sand gefüllt, der oft ca. 1 – 2 m oberhalb der Fundschicht ansteht, was als Hinweis auf die ursprüngliche Röhrenlänge gelten mag. Quarzitisch geprägte größere Röhrengelände haben feine weiße Quarznädelchen im Inneren. Das auffälligste Erkennungsmerkmal aber ist ihre warzige Außenskulptur und die stets glatte Innenwandung.

Es handelt sich um diagenetisch verfestigte große Grabbauten, die z.T. mit quer verlaufenden Gängen verbunden sind. Die Gesamtheit der Röhren bildet weitläufige Systeme, die in großen Bereichen untereinander verbunden sind und sich in den Tagebauböschungen oft über 100 m und mehr verfolgen lassen. Als Verursacher der Röhren können Krebse der Gattung *Callianassa* vermutet werden.

2.4.2 Kohlegeröll mit *Teredo*-Spuren (E 957/30); Tafel 7, Fig. 6

Bei der Anfertigung eines Lackabzuges, der unter Pkt. 2.2 beschriebenen Wellenstruktur, wurde im Liegenden von Flöz Frimmersdorf ein faustgroßes Kohlegeröll gefunden. Es lag im unmittelbaren Kontakt zwischen der Flözbasis und dem grauem Liegendsand, in den es eingebettet war. Auffällig war an dieser Stelle schon die Tatsache, überhaupt ein solches Stück vorzufinden. Im gesamten Liegendbereich, der auf über 15 m aufgeschlossen war, wurde kein weiteres Kohlegeröll gefunden. In der Regel finden sich stets mehrere dieser abgerollten Kohlestücke gleichzeitig.

Das ganze Stück war vollständig von kleinen Kanälen durchsetzt, die sich unregelmäßig durch das ganze Kohlegeröll wanden. Sie hatten einen Durchmesser von ca. 4 mm und waren mit weißem Sand gefüllt. Da das Geröllstück anders nicht zu bergen war, wurde von dem Fund ebenfalls ein kleiner Lackabzug angefertigt. Durch Vergleich mit rezenten Funden wurde erkannt, dass es sich hierbei um die fossilisierte „Kinderstube“ des sog. Schiffsbohrwurmes (*Teredo* sp.) handelt.

2.4.3 Unbekanntes Spurenfossil (E 957/30); Tafel 7, Fig. 2

Bei einer Untersuchung des Frimmersdorfer Sandes wurde ein bis dato unbekanntes Spurenfossil entdeckt. Bei dem Gebilde handelt es sich um einen auf der Spitze stehenden Kegel mit

ca. 16 cm Länge und ca. 5 cm Basisdurchmesser. Angefüllt war diese „Spitztüte“ mit einem unregelmäßig verlaufenden Röhrengewirr. Die teilweise hohlen Röhren bestanden aus einer ausgetrockneten, bröselig-sandigen Matrix und hatten einen Durchmesser von ca. 4 – 6 mm. Ihre Außenwand war nur ca. 1-2 mm dick. Auffälligerweise waren sie völlig farblos, wie ausgebleicht und standen damit im scharfen Kontrast zum sie umgebenden Sand. Es hatte den Eindruck, als ob ein Fremdkörper im Sand eingeschlossen sei. Eine Deutung als Ansammlung von Wurmröhren liegt anhand des Aussehens und der marinen Beeinflussung des Lebensraums nahe. Wissenschaftlich ist diese Vermutung aber nicht mehr zu beweisen, da das Objekt, beim Versuch es zu bergen, leider vollständig zerstört wurde.

2.5 Natürlich glänzende Feuersteingerölle im Hangenden von Flöz Garzweiler

Tafel 8, Fig. 1

In den Fundschichten von Feuersteinen im Tagebau Garzweiler werden ab und an Feuersteingerölle gefunden, die einen natürlichen Glanz aufweisen, so dass sie fast schon wie poliert aussehen. Sie treten unverhofft auf und scheinen an keine Gesetzmäßigkeit der Ablagerungsfazies gebunden zu sein. Auffällig ist, dass immer gleich mehrere Exemplare auf kleinem Raum beieinander liegen. Sie werden stets in unmittelbarer Nähe zu den Braunkohlenflözen angetroffen. Gleichartige Feuersteingerölle in den pleistozänen Kiesschüttungen von Ur-Rhein oder Ur-Maas, sog. Maaseier, weisen hingegen niemals einen solchen Glanz auf.

Als Erklärung dieser natürlichen Glanzerscheinung bieten sich zwei Hypothesen an:

- Mechanische Politur der Oberfläche – z.B. durch andauernde Feinsandverwehungen auf den Abbausohlen.
- Chemische Ablagerung einer durchsichtig glänzenden Mineral-, bzw. SiO_2 -Schicht auf der Feuersteinoberfläche.

Eine Analyse der natürlich glänzenden Feuersteine durch Autorin ZIMMER ergab die Bestätigung von Pkt. 2. (Prüfbericht 190/2010-018/PNR-MM):

Hintergrund und Vorgehensweise:

Im Tagebau Garzweiler, Hangendes Flöz Garzweiler, wurden Feuersteine mit hochglänzender Oberfläche (wie poliert) gefunden. Ob die Bildung dieser glänzenden Oberfläche mechanisch („Politur“) oder durch An- bzw. Ablagerung einer Fremdschicht erfolgt ist („Lackierung“), war unklar.

Probenpräparation:

Für die Untersuchung wurde exemplarisch ein Stein geteilt (längsseitig) und mittels REM (Mikrobereichsanalyse) untersucht.

Interpretation:

In den untersuchten Mikrobereichen (Innenseite/Oberfläche) konnten nur die Elemente Silizium (Si) und Sauerstoff (O) nachgewiesen werden. Hinweise auf eine angelagerte Fremdschicht wurden nicht gefunden.

Chemisch-biogene Einflussfaktoren, die zur Ausfällung von gelöstem SiO_2 auf der Feuersteinoberfläche geführt haben, sind denkbar. Weniger wahrscheinlich ist ein mechanischer „Poliereffekt“, da die Oberfläche weitgehend kratzerfrei ist und den gesamten Feuerstein betrifft.

2.6 Hochflut-Tone mit Bewurzelung im Reuver-Ton

E 1070/12; Taf. 9, Fig. 1-4

Am Top der Reuver-Abfolge in der Tiefstufe der 1. Sohle fand sich eine ca. 4-5 m mächtige graue Tonlage mit Verwürgungen und deutlich senkrecht ausgerichtetem Wurzelhorizont. Es handelt sich sedimentologisch um kompakte feste Tone, die vermutlich sehr schnell abgelagert wurden, möglicherweise in wenigen Tagen/Wochen/Monaten. Die Durchwachsung mit reichlich vorhandenen Wurzelresten ergibt den Eindruck eines Pionierwaldes, der sich auf einer trockengefallenen Überflutungsfläche angesiedelt hat und einige Jahre existierte. Ein größeres Handstück wurde von Kollegen J.v.d. BURGH als unbestimmte Konifere angesehen. Solche schnellen Überflutungslagen finden sich häufig in Tertiärablagerungen, z.B. auch im Tgb. Hambach. Basal im Profil fanden sich viele Fusitsplitter, was auf Waldbrände in damaliger Zeit hinweist.

Im Hangenden des Profils wird dann die Tonlage abrupt von einer gelben Sandschüttung abgelöst, die sich erosiv in den Ton eingefressen hat. Irgendwelche bestimmbareren Fossilien wie Blätter, Früchte oder Samen konnten trotz mehrfachen Schlämmens nicht gefunden werden, wohl aber eine filzige Masse dünner und dünnster verholzter Wurzelfäden. Das Biotop war damals im Reuver also vermutlich noch relativ jung und unwirtlich; die Bäumchen waren sicher noch nicht zapfentragend (event. von einem Koniferenwäldchen ausgehend).

2.7 Erosionsrinnen in der Reuver Serie

E 1070/12; Taf. 10, Fig. 1-4

Im Reuverprofil von Garzweiler fanden sich mehrfach Erosionsrinnen mit deutlich erosiver Anlage (Überblick Taf. 11, Fig. 1). Zwei Typen werden hier kurz vorgestellt, weil sie zeigen, wie häufig sich also energiereiche Wasserführungen in bestehende Seichtwasseranlagen eingetieft haben und wie schnell eine Besiedlung solcher Schlenken und Untiefen in einem alten und sehr wechselvollen Relief vor sich gehen kann.

Die hangende Erosionsrinne bestand aus dunklem Ton (Taf. 12, Fig.2), und hatte sich in helle Würgetone mit Wurzelspuren eingetieft hatte (vgl. Kap. 2.8). Der dunkle Ton hob sich gut vom hellen Untergrund ab und war überlagert durch gelbe Kiese und Sande. Fossilien konnten keine gefunden werden. Im Liegenden folgten wurzelführende hellgraue Tone und darunter fast weißgraue sandige, laminiert wirkende Tonlagen.

Die liegende Erosionsrinne (Taf. 11, Fig. 3,4) bestand aus dunkelgrauen fossilführenden Tonen, und war in hellgraue sterile sandige Tone eingetieft. Aufgrund der Rinnenfüllung war dies auch gleichzeitig ein wasserführender Horizont, was sich durch fortlaufende, rückschreitende Erosion und Auswaschungen bemerkbar machte. Aufgrund der Vernässung konnten fast keine Proben genommen -, sondern nur Lesefunde getätigt werden. Die Braunkohle war tonig und führte Holzreste, während die kohligen Tone eine Menge von Pflanzenresten lieferten. Es werden ganz grob drei Horizonte mit verschiedenen Fossilfunden im Gesamtpaket Reuver-Ton unterschieden, die in einer separaten Publikation zusammengestellt werden sollen. Hier werden nur kurz die wichtigsten Gegebenheiten erwähnt:

Hangende Lage D: Kohleton mit Zweigen und Gliedern von *Taxodium* sp.

Hangende Lage B: Kohlige Blattlagen, dicht gepackt mit Holzresten und Häcksel

Liegende Lage C: Grauer Ton mit Hölzern, Wurzeln und Häcksellagen

Die beiden Rinnen zeigten unterschiedliche Ausbildung, ihre Entstehung ist offensichtlich auf kurzzeitige Vorgänge zurückzuführen, die kaum zu mehrjähriger Besiedlung durch Pflanzen führten.

2.8 Farbige Kiese und Sande aus dem Bereich der Plio-/Pleistozän-Grenze

E 1070/13; Taf. 11, Fig. 1-4

Am Top der gesamten Schichten-Abfolge im Tgb. Garzweiler stehen gelbrotschwarze Kiese und Sande an, die üblicherweise als pleistozäne Ablagerungen gelten, was z.T. in Zweifel gezogen werden kann. Interpretationen hierzu beruhen auf den geologisch/paläontologischen Befunden der seit über 20 Jahren durchgeführten PBA-Exkursionen in allen drei Braunkohlentagebauen im Rheinischen Revier. Zusätzlich wurden im April d.J., in Zusammenarbeit mit dem Geolg. Dienst Krefeld, über 300 Sedimentproben vom Liegenden des Flözes Garzweiler bis hoch in die o.g. Kiesfolgen hinein genommen. Diese werden auf Schwerminerale, Pollen, Micro- und Macrofossilien hin untersucht und ausgewertet. Eine Veröffentlichung dazu ist in Vorbereitung und erfolgt nach Abschluss dieser Arbeiten.

Die möglicherweise noch oberpliozänen Sedimente sind durch Eisenoxidkrusten rot-, durch feinverteilten Limonit gelb- und durch Manganoxid schwarz gefärbt. Die gesamte Folge ist sehr wechselvoll und zeigt klassische Schräg- und Kreuzschichtung, wie sie für größere Flüsse typisch ist. Aufgrund der schlechten Sortierung/Gradierung der Komponenten ist sicher, dass hier Ablagerungen eines „braided river systems“ vorliegen. Tonschmitzen und -linsen zeigen Ablagerungsstrukturen, wie sie heutzutage z.B. an den Flüssen Fiume Taro oder am Po (Padana-Ebene) anzutreffen sind. Die vorgefundenen Liesegangschen Ringstrukturen erlauben u. U. die Rekonstruktion stagnierender Wässer, wobei auch typische grundwasserbezogene Limonitschwarten auf Stagnation im Untergrund hinweisen. Vereinzelt fanden sich Holzreste und in Tonlinsen eingewürgte Stämmchen, die noch nicht näher untersucht sind.

3 Fazit

Erst die großräumige Aufnahme und Zusammenstellung verschiedener Befunde erlaubt eine Gesamtschau und Interpretation der geologischen und sedimentologischen Abfolgen in einem Tagebau. Die im Artikel genannten Beispiele sind daher als Ergänzung der bereits vorliegenden Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse zu sehen und werden sicher durch zu erwartende Neu(be)funde ergänzt werden.

Zusammenfassend haben wir folgende sedimentologischen Besonderheiten:

Sedimentstrukturen, bedingt durch Bioturbation.	<i>Ophiomorpha</i> -Bauten <i>Teredo</i> -Spuren Ichnofossil indet.
Sedimentstrukturen, bedingt durch Tektonik:	Verstellungen
Sedimentstrukturen, bedingt durch Schüttung:	Hochflut-Tone
Sedimentstrukturen, bedingt durch Ausräumung:	Erosionsrinnen
Sedimentstrukturen, bedingt durch Chemismus:	Gerölle mit Pyritüberzug natürlich glänzende Gerölle Verkieselungen
Sedimentstrukturen, bedingt durch Petrografie:	Farbgebungen im Kies (incl. Chemismus)

Literatur

- DASSEL, W. (1988): Beobachtungen in einer Sandgrube am Gielenberg bei Straelen-Brüxken, Geldrischer Heimatkalender, S. 70-78, 6 Abb., 1 Tab. Geldern
- GROSS, G. (1986-94): Lackabzüge mit geologischen Erklärungen.- 185 S., 342 Abb., unveröffentlicht, RWE AG, Grevenbroich
- KILLOPS, ST.D. & KILLOPS, V.J. (1997): Einführung in die organische Geochemie.- 230 S., 98 Abb., 30 Tab., 23 Übersicht., Enke Verl., Stuttgart
- LIEVEN, U. (2005): *Ophiomorpha* im Miozän der Niederrheinischen Bucht. – Fossilien, (2): 110-115, 7 Abb.; Wiebelsheim.
- LIEVEN, U. (2006): Lackabzüge - geologische Zuordnung, Sedimente, Interpretation.- Documenta naturae SB 43: 45-121, 2 Abb., 45 Tafeln, München
- LIEVEN, U. (2011): Fossilinhalt kreidezeitlicher Feuersteingerölle im Liegendsand von Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän) im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler der RWE Power AG.- Documenta naturae, 185: 47-69, 1 Abb., 6 Taf., München
- SEIDEL, U. (1957), Ein Vorkommen von *Ophiomorpha* LUNDGREN im Miozän der Niederrheinischen Bucht. N. Jb. Geol. Paläontol., Stuttgart
- THEWALT, U. & DÖRFNER, G. (2001): Mineralogische Notizen vom Tagebau Hambach (Köln, Rheinbraun AG).- Documenta naturae, 138: 77-91, 5 Taf., München
- TUCKER, M. (1996): Methoden der Sedimentologie.- 366 S., 223 Abb., 38 Tab., Enke Verl., Stuttgart
- WOPFNER, H. & WALTHER, H. (1999): Bildungsbedingungen der frühtertiären Silcretes Inland-Australiens und deren paläoklimatische Bedeutung. – Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1 (für 1997), Heft 10-12, S. 1329-1345
- WOPFNER, H., LIEVEN, U. & NIEDEREHE, R. (2011): Kegelförmige Einkieselungen im Liegendsand von Flöz Morken I (unt./mittl. Miozän) im Braunkohlen-Tagebau Garzweiler der RWE Power AG.- Documenta naturae, 185: 1-47, 7 Abb., 12 Taf., 1 Tab., München

Tafeln

Plates

Die Geländefotos stammen von den Autoren GREGOR und LIEVEN, Labor- und REM-Aufnahmen von den Autoren FRERIX und ZIMMER.

Tafel 1

Lichtmikroskopie **Thin section microscopy**

Fig. 1: Probeentnahmestelle am durchsägten Kegelquarzit.
Position of thin section marked on cut surface of silcrete cone.

Fig. 2: Schliff des umrahmten Bereichs in Fig. 1.
Thin section of rock portion marked in figure 1.

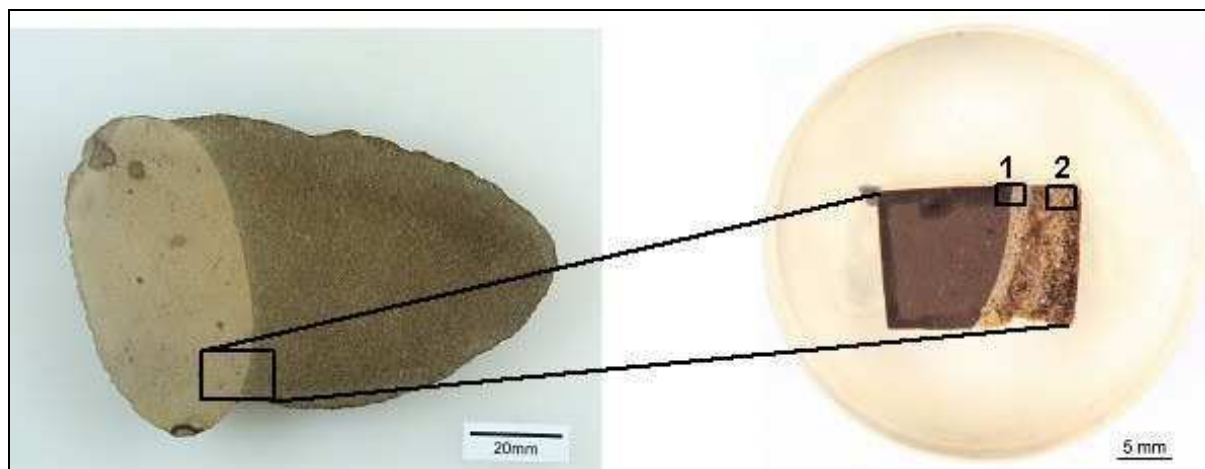
Fig. 3 und 4: Kontaktzone Feuerstein (feinkörnig) – Kegel. Innerhalb des Kegelbereiches erkennt man eckige (schlecht sortierte), teils kantengerundete Quarzkörner in einer sehr feinkörnigen Matrix.
Contact area between chert (flint) (fine grained) and silcrete cone. The silcrete portion exhibits moderately sorted, angular to subangular quartz grains within a very fine grained matrix.

Fig. 3: Bereich 1: 50-fache Vergrößerung.
Area 1: 50-times magnification.

Fig. 4: Bereich 1: 125-fache Vergrößerung.
Area 1: 125 -imes magnification.

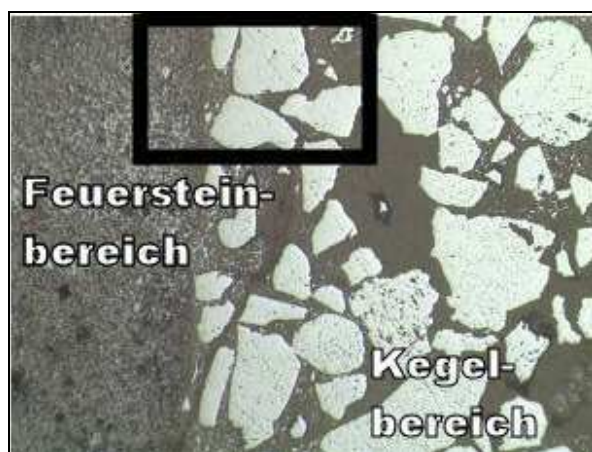
Fig. 5: Bereich 2: 50-fache Vergrößerung.
Area 2: 50-times magnification.

Fig. 6: Bereich 2: 125-fache Vergrößerung.
Area 2: 125-times magnification.

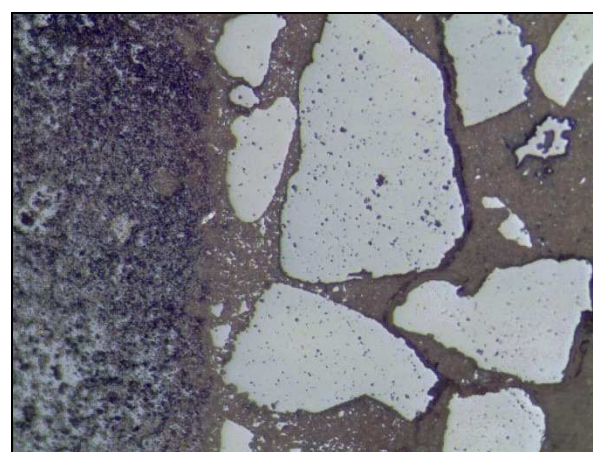


1

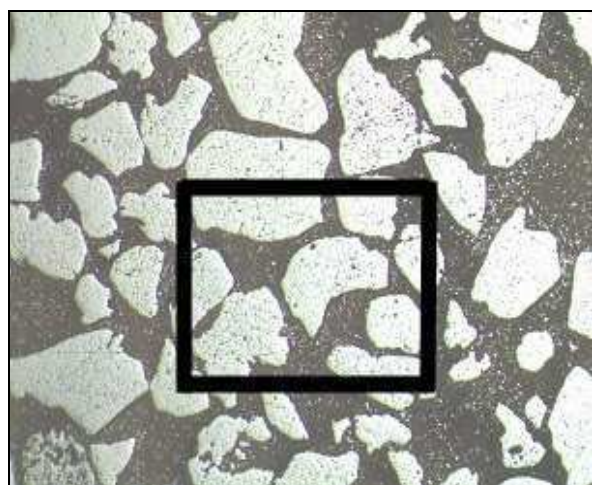
2



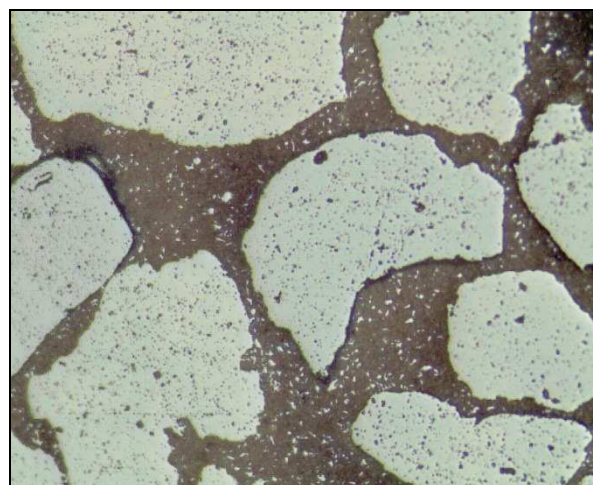
3



4



5



6

Tafel 2

Rasterelektronenmikroskopie (REM) Investigations with scanning electron microscope (SEM)

Mapping Bereich 1: Übergang Feuerstein-Quarzit-Kegel Scan of area 1: Contact between chert and silcrete cone

Fig. 1: Stereoelektronenmikroskopie 172-fache Vergrößerung.
SEM image at 172-times magnification.

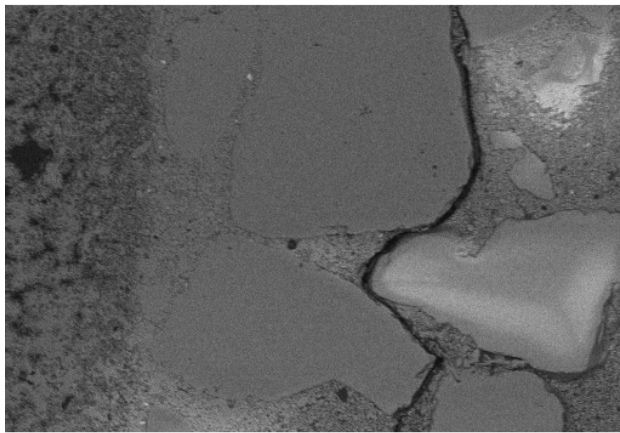
Fig. 2: C Ka1_2

Fig. 3: O Ka1

Fig. 4: Si Ka1

Fig. 5: Ti Ka1

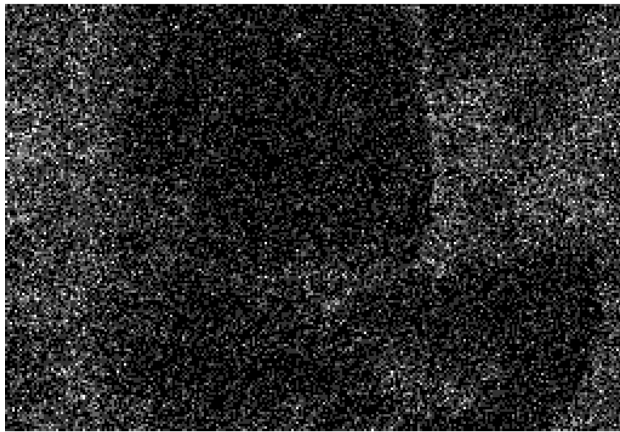
Tafel 2



300μm

Elektronenbild 1

1

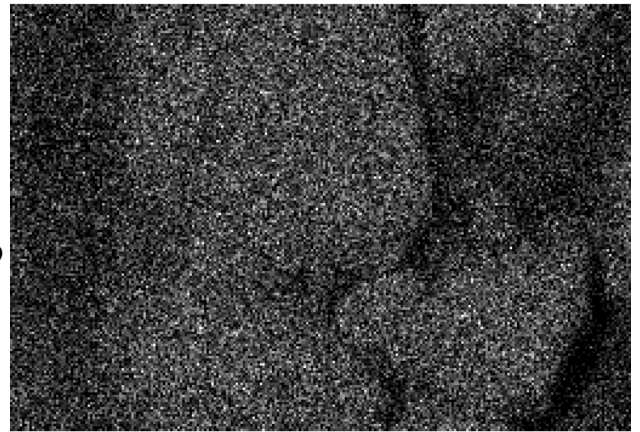


8

300μm

C Ka1_2

2

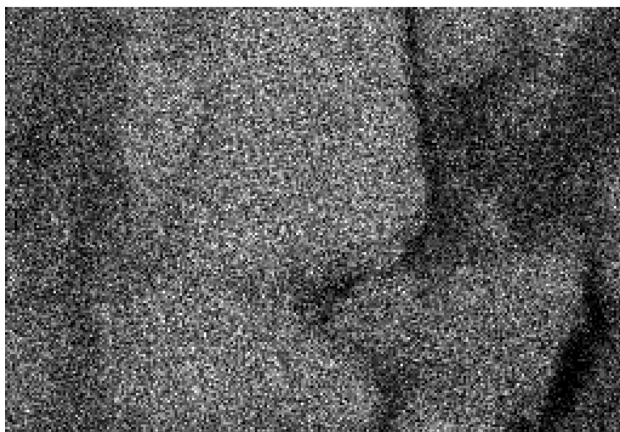


9

300μm

O Ka1

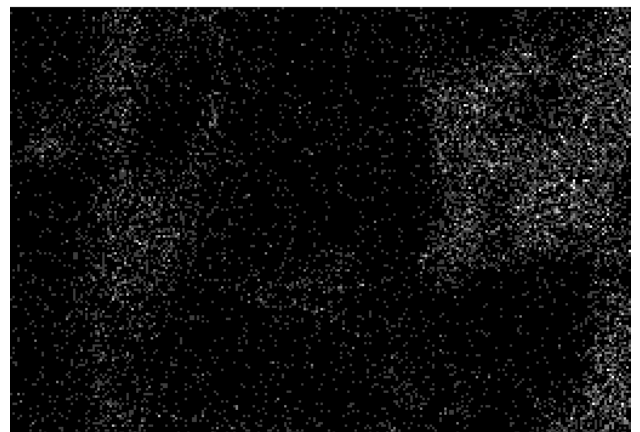
3



4

300μm

Si Ka1



5

300μm

Ti Ka1

Tafel 3

Mapping Bereich 2: Kegelbereich Scan of area 2: Silcrete cone

Fig. 1: Rasterelektronenmikroskopie 139-fache Vergrößerung.
SEM image at 139-times magnification.

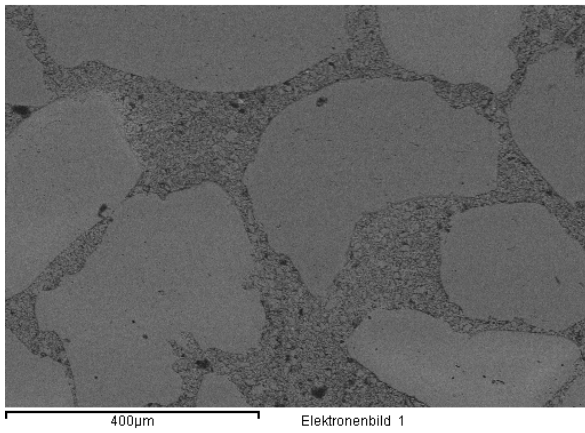
Fig. 2: C Ka1_2

Fig. 3: O Ka1

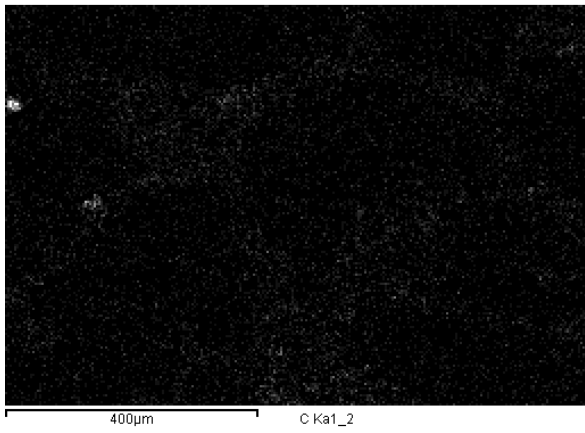
Fig. 4: Si Ka1

Fig. 5: Ti Ka1

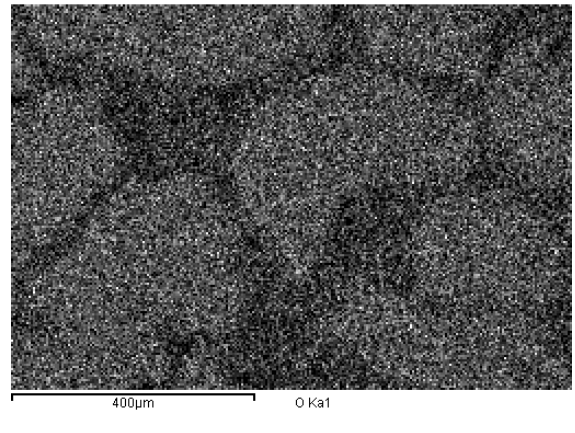
Tafel 3



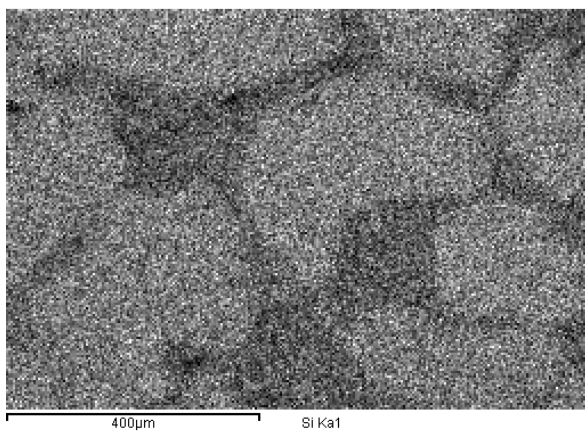
1



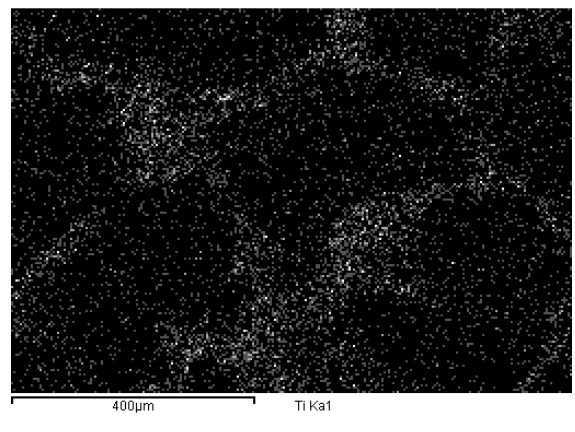
2



3



4



5

Tafel 4

Kegel-Quarzite vor Ort (E 987/3A)

Field exposures of silcrete cones (E 987/3A)

Fig. 1: Panoramaaufnahme der ausgewitterten Kegel-Quarzite im Profil - Bildbreite 5 m.
Panoramic view of a selectively eroded profile of cone-shaped silcretes – width of photograph is 5 m.

Fig. 2 u. 3: Beispiele von Kegel-Quarziten. In Fig. 3 mit gut erkennbaren, ursprünglichen Sedimentstrukturen - Höhe der Kegel 4 - 9 cm.
Examples of silcrete cones. In figure 3 original sediment structures (bedding) are clearly recognizable. – height of cones 4 - 9 cm.

Fig. 4: Schrägaufnahme der ausgewitterten Quarzitbank. An ihrer Oberfläche sind die hervorstehenden Spitzen der Kegel-Quarzite gut zu erkennen. - Bildbreite 1,5 m.
Oblique photograph of an exposed silcrete layer, the surface of which exhibits the points of individual silcrete cones – width of photograph is 1.5 m.



1



2



3



4

Tafel 5

Sedimentstrukturen im Bereich Jackerather Horst (E 957/25, E 987/3B) **Sediment structures in the region of Jackerather Horst (E 957/25, E 987/3B)**

Fig. 1: Autor Lieven in einer Erosionsrinne mit kleinem Profil am Stoss.
Author Lieven in an erosional gully with a short profile on the excavation face.

Fig. 2: Tektonisch gestörte Sandlage mit humos-kohligen Horizonten.
Faulted sand layer with thin humin-rich, carbonaceous interbed.

Fig. 3: Teilweise verwürgte, braune und helle Sande mit Kohlelagen.
Partially contorted, brown and light coloured sands with lignite intercalations.

Fig. 4: J. Bläser bei der Entnahme des Lackabzugs einer diskordanten Sedimentstruktur.
J. Bläser removing a lacquer replica of a discordant sediment-structure.

Tafel 5



1



2



3



4

Tafel 6

Sedimentstrukturen im Bereich Jackerather Horst (E 957/25, E 987/3B) **Sediment structures in the region of Jackerather Horst (E 957/25, E 987/3B)**

Fig. 1: Autor Lieven beim Freilegen eines Profils im Sand.
Author Lieven cleaning a sand profile.

Fig. 2: Lackabzug einer tektonisch gestörten Sandlage mit humos-kohligen Horizonten.
Lacquer replica of a tectonically disturbed sand layer with carbonaceous interbeds

Fig. 3: Lackabzug einer Störzone mit Stauchungszonen und Kleintektonik.
Lacquer replica of a disturbed zone with micro-deformations.

Fig. 4: Lackabzug einer Aufwölbung grauer Schüsselstrukturen in helle Sedimente.
Lacquer replica of upwarped, grey dish-structures in light coloured sediments.

Tafel 6



1



2



3



4

Tafel 7

Ichnofossilien im Frimmersdorfer- und Neurather Sand (E 957/30)

Ichnofossils from the Frimmersdorfer and Neurather sands (E 957/30)

Fig. 1: Profilwand im Frimmersdorfer Sand mit Röhrensystem des Ichnofossils *Ophiomorpha nodosa* – Bildbreite ca. 6 m.

Exposure of Frimmersdorfer Sand with tube-systems of the ichnofossil *Ophiomorpha nodosa* – width of photograph approximately 6 m.

Fig. 2: Kegelförmiges Röhrengewirr zoogenen Ursprungs, aber unbekannter Art im Frimmersdorfer Sand.

Cone-shaped maze of animal burrows in the Frimmersdorfer Sand.

Fig. 3: *Ophiomorpha nodosa* in situ – waagerechte und nach unten führende Haupttröhre mit Nebenabgängen, die senkrecht nach oben führen. Frimmersdorfer Sand – Bildbreite ca. 2 m.

Ophiomorpha nodosa exposed in the Frimmersdorfer Sand exhibits an inclined main tube with with vertically rising branches – width of photograph is about 2 m.

Fig. 4: Herausgewitterte Grabröhren, die tektonisch beansprucht und abgeschert wurden. Teilweise noch in situ; teilweise zu Boden gefallen. Frimmersdorfer Sand – Durchmesser der Röhren 10 – 15 mm.

Sheared burrows, partially in situ and partially dropped down, exposed in the Frimmersdorfer Sand – Diameter of the burrows is 10 – 15 cm.

Fig. 5: Völlig freigewitterter Grabgang im Neurather Sand – Länge ca. 40 cm.

Completely exposed burrow in the Neurather Sand of about 40 cm length.

Fig. 6: Lackabzug eines Kohlegerölls mit *Teredo*-Spuren – Breite 15 cm.

Lacquer replica of a coal ball with remnants of *Teredo* – width 15 cm.

Tafel 7



1



2



3



4



5



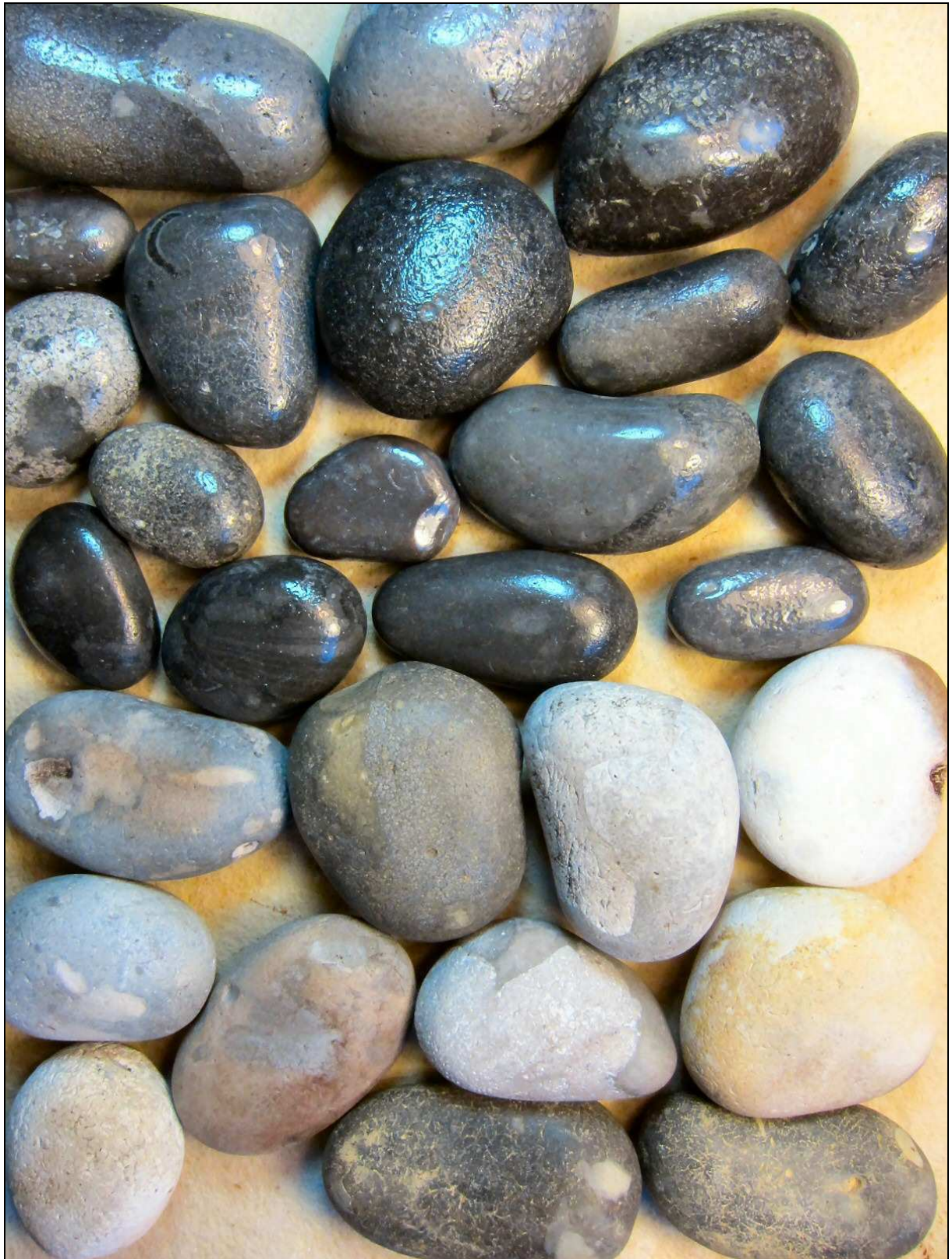
6

Tafel 8

Natürlich glänzende Feuersteingerölle Chert (flint) pebbles with natural lustre

Fig. 1: Natürlich glänzende Feuersteingerölle im Vergleich mit den üblichen matten Fundstücken – natürliche Größe.

Chert (flint) pebbles with natural lustre (upper part of picture) compared with the dull surfaces of the usually occurring chert pebbles (lower half of picture) - natural scale.



Tafel 9

Hochflut-Tone mit Bewurzelung (E 1070/12)

Highstand-flood clays with root remnants (E 1070/12)

Fig. 1: Profil auf der ersten Sohle (Tiefstufe) im Reuver-Ton. Deutlich ist rechts im Bild der helle Ton (mit dunkelgrauer Erosionsrinne) zu sehen. Unterlagerung durch laminierte Sande. Profile of the first level (low storey) of the Reuver Clay. An erosion-cut into the light coloured clay and filled with dark clay is recognisable in the upper right hand of the picture. The clay is underlain by laminated sands.

Fig. 2: Kollegen des Geol. Dienstes NRW am Profil der durchwurzelter Tonlage. Colleagues of the Geological Survey of NRW at the profile containing the root-zone.

Fig. 3: Detail der hangenden Tonlage mit vertikal gestellten Wurzelspuren. Detail of the upper clay layer with vertical root traces.

Fig. 4: Block aus grauem Würgeton mit deutlich verholzten Wurzelspuren. Block of contorted clay with well preserved root traces.

Tafel 9



1



2



3



4

Tafel 10

Erosionsrinnen im Reuver Ton (E 1070/12)

Erosion-channel in the Reuver Clay (E 1070/12)

Fig. 1: Blick auf die erste Sohle mit dunklen Tonen (Reuver) und hangenden Kiesen und Sanden (teilw. Pleistozän).

View to the first level with dark clays of the Reuver Clay and the overlaying grits and sands, partially of Pleistocene age.

Fig. 2: Dunkelgraue Erosionsrinne im Reuver-Ton der 1.Sohle.

Dark grey erosional channel in the Reuver Clay on the first level.

Fig. 3: Erosionsrinne tiefer im Profil mit dunkelgrauen Tonen (Reuver).

Erosional channel, situated lower in the profile, filled with dark grey clays (Reuver).

Fig. 4: Deutlich erosiv geprägte dunkle Tonschicht in der Erosionsrinne.

Clear erosive cut of a channel filled with dark grey clay.



1



2



3



4

Tafel 11

Farbige Kiese und Sande aus dem Bereich der Plio-/Pleistozän-Grenze

(E 1070/11)

Coloured gravels and sands around the Plio-/Pleistocene boundary (E 107/11)

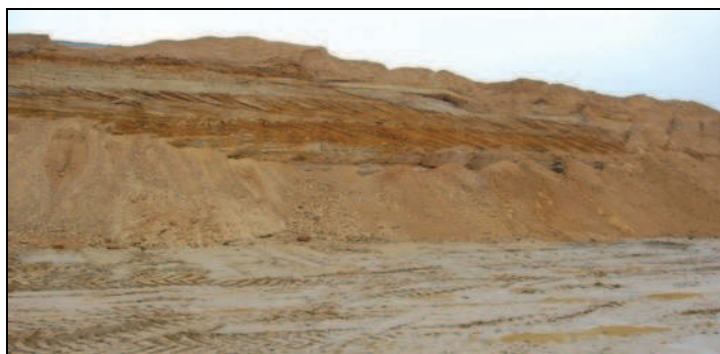
Fig. 1: Profil-Überblick auf der ersten Sohle mit gelb-rot-braunen Kiesen und Sanden.
Overview of profile on first level showing yellow to red-brown gravels and sands.

Fig. 2: Schräg- und Kreuzschichtung mit schlecht sortierten Grobkies-Geröllen im Profil.
Current bedded, ill-sorted gravel conglomerates within the profile.

Fig. 3: Profil mit grau-grüner Tonlinse im unteren Böschungsbereich.
Greenish-grey clay lens in the lower part of the excavation face

Fig. 4: Graue Tonlinse, überlagert von rostroten schräggeschichteten Kiesen mit schwarzem Mangananteil.
Grey clay lens overlain by rusty-red, current bedded gravels with black, manganiferous components.

Tafel 11



1



2



3



4

Tafel 12

Pyritgerölle in der Kohle (E957/29)

Pyritic chert (flint) pebbles in the lignite (E 957/29)

Fig. 1: Fundstelle der pyritisierten Feuersteingerölle mit Kollegin Pinggen, Autor Lieven und Kollege Winterscheid (v.l.n.r.).

Collecting location of pyretic chert pebbles with colleague Pinggen, author Lieven and colleague Winterscheid (from left to right).

Fig. 2: Autor Gregor bei der Erkundung der pyritisierten Lage unterhalb von Flöz Frimmersdorf.

Author Gregor investigating the layer of pyretic chert pebbles below the lignite seam Frimmersdorf.

Fig. 3: Erste Funde, direkt unterhalb der Kohle. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Pyritbelag mit dem Abstand zur Kohle abnimmt.

First finds directly below the lignite. The picture clearly shows that the intensity of the pyrite coating decreases with increasing distance from the coal.

Tafel 12



1



2



3

Tafel 13

Pyritgerölle in der Kohle (E957/29)

Pyritic chert (flint) pebbles in the lignite (E952/29)

Fig. 1 - 6: Pyritisierte Feuersteingerölle im Frimmersdorfer Sand, unmittelbar unterhalb von Flöz Frimmersdorf – die größten Steine haben etwa die Größe eines Hühnereis.

Pyrite-coated chert pebbles within the Frimmersdorfer Sand, directly below lignite seam Frimmersdorf. The largest pebble is about the size of a hen's egg.

Fig. 1 u. 2: Aufnahmen im Tageslicht.

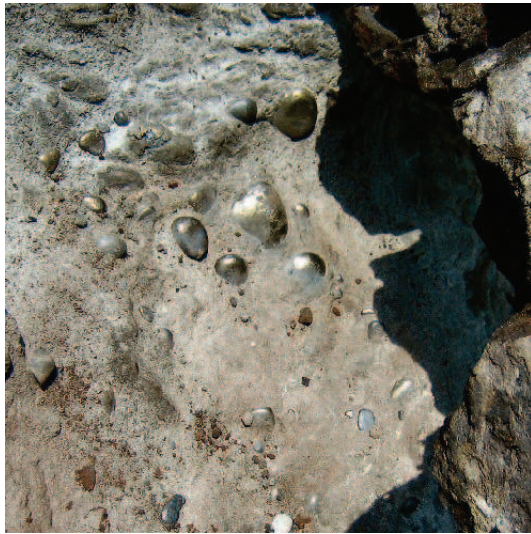
Daylight photographs.

Fig. 3 - 5: Aufnahmen im Tageslicht mit Blitzlichtunterstützung.

Daylight photographs with flashlight assistance.

Fig. 6: Aufnahme der goldfarbigsten Exemplare mit Studiobeleuchtung.

Photograph of gold-coloured examples in artificial studio light.



1



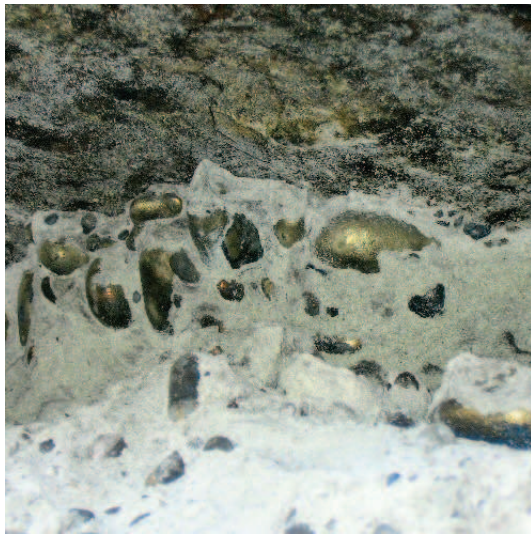
2



3



4



5



6

