

## **Abschnitt 4.3.1, Auswahl 1**

### **Pyrit, Denitrifikation, Verockerung, Bilder 4.3.1 A bis Z**

#### **Eisensulfide und deren Oxidationsprodukte**

Querverweise: Bilder zum Thema "Eisen" findet man auch in Abschnitt "3.3.4 Verwitterung von Eisensulfiden und Silicaten", in Abschnitt "4.3.1, Auswahl 2: Eisenverbindungen", in Abschnitt "4.3.1 Auswahl 3, Enteisung im Filter", in Abschnitt "4.3.1 Auswahl 4, Eisenfällung in Flockungsanlage" und in Abschnitt "4.4.1 Chlorid in Korrosionsprodukten".

Im Buch wird detailliert bewiesen, dass die wichtigsten Reaktionspartner des Nitrats bei der Denitrifikation Eisensulfide, vorwiegend Pyrit, sind. Bei dieser Reaktion entstehen gasförmiger Stickstoff, Sulfat sowie gelöstes Eisen(II) und Eisen(III)-oxidhydrat. Das Eisen(II) kann bei Gegenwart von Nitrat oder Sauerstoff zur Abscheidung von Eisen(III)-oxidhydrat in Brunnen, Rohwasserleitungen, Teichen und Braunkohle-Restseen führen. Die Abscheidung von Eisen(III)-oxidhydrat in Brunnen wird als "Verockerung" bezeichnet.

Reduzierte Grundwasserleiter enthalten typischerweise fossile organische Substanz, die in Bohrprotokollen als "Holzkohle", "Braunkohle" oder "Lignit" bezeichnet wird. Im Grundwasserleiter des Wassergewinnungsgebiets Fuhrberger Feld der Stadtwerke Hannover AG wurde ein mittlerer Gehalt an fossiler organischer Substanz von ca.  $4 \text{ kg/m}^3$  festgestellt. Das Vorkommen von Eisensulfiden, die im Folgenden pauschal als "Pyrit" bezeichnet werden, ist weniger spektakulär. Im Fuhrberger Feld ist mit ca.  $0,5 \text{ kg/m}^3$  zu rechnen.

Das Thema "Denitrifikation" ist fotografisch nicht besonders ergiebig, wenn man von einigen Gipskristallen absieht, die nach dem Trocknen von sulfidhaltigem Aquifer-Material übrig bleiben.

Umso vielfältiger stellt sich das Thema "Verockerung" dar. Im Labor kann die Verockerung mit Nitrat als Oxidationsmittel als biologischer Prozess nachvollzogen werden. In der Praxis verockern können Brunnenfilter, Einbauelemente und Leitungen, aber auch Objektträger, die man zu Testzwecken an einem Nylonfaden in einen Brunnen einhängt. Ein Sonderfall sind Wässer mit einer freien Oberfläche, die der Atmosphäre ausgesetzt ist, z. B. Braunkohletagebau-Restseen oder auch stehendes Wasser in Torfabbaugebieten. In einem Fall ist eine Kaskade verockert, über die ein eisenhaltiges Mineralwasser in den Schlossteich eines Staatsbades plätschert.

Interessant ist auch der säureunlösliche Rückstand von Verockerungsprodukten. Er scheint überwiegend aus "extrazellulärer polymerer Substanz" ("EPS") als Rückstand aus dem biologischen Prozess oder auch aus Verbindungen von Eisen(III) mit Huminstoffen bestehen zu können.



Bild 4.3.1 A: Pyrit mit Gips, Aufschlussbohrung 3, Fuhrberger Feld, 1983, Tiefe: 22,5 m, 1,7 x 2,5 mm



Bild 4.3.1 B: Pyrit in fossilem Holz, Brunnen 5, Fuhrberg, 1981, 21,5 m Tiefe, 1,7 x 2,5 mm



Bild 4.3.1 C: Pyrit, framboidal (von franz. "Himbeere"), auf fossilem Holz, Stadt Hannover, Bohrung für Notwasserversorgung 1982, 1,7 x 2,5 mm



Bild 4.3.1 D: wie C, während des Trocknens teilweise oxidiert



Bild 4.3.1 E: Muschelabdruck mit Pyrit in organischem Sedimentgestein, Bohrung für Beregnungsbrunnen, Fuhrberger Feld, 1982, 17,5 m Tiefe, 15 x 23 mm



Bild 4.3.1 F: Eisensulfid, oxidiert, Aufschlussbohrung 3, Fuhrberger Feld, 1983, 22,5 m Tiefe, 1,7 x 2,5 mm

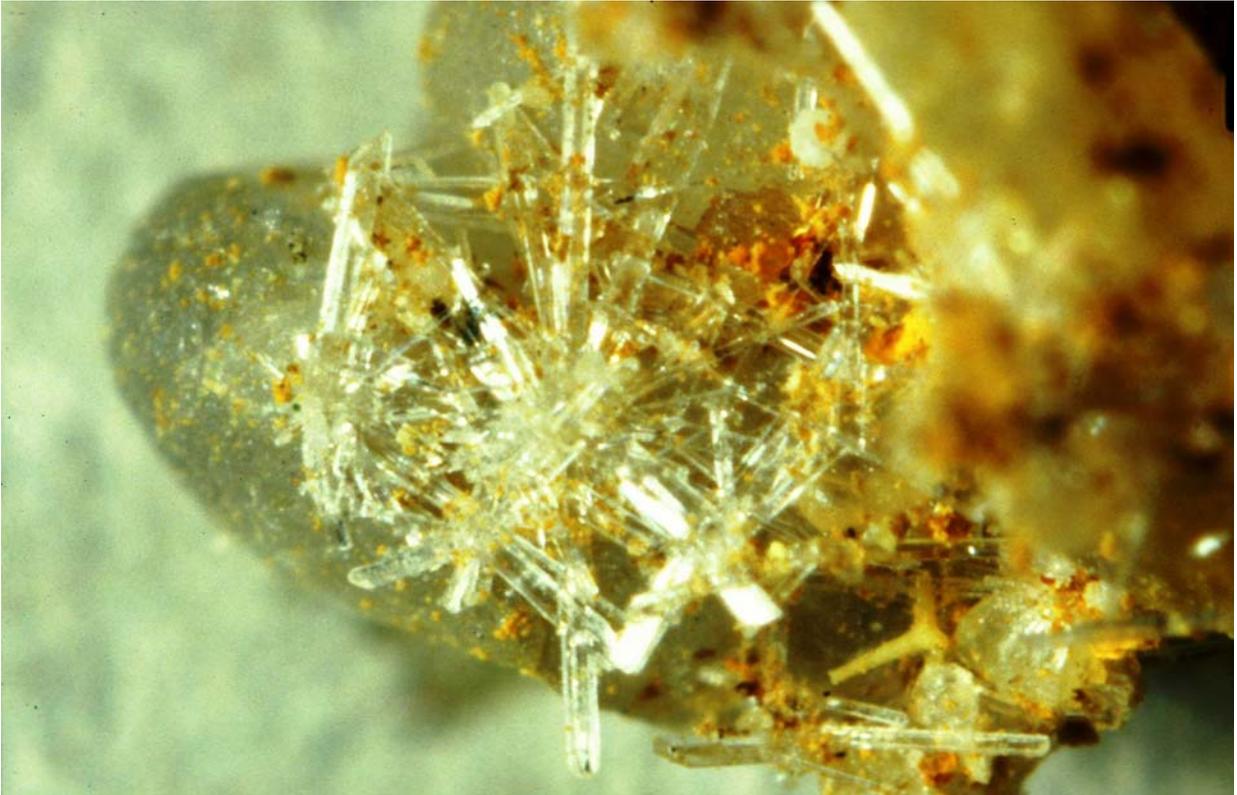


Bild 4.3.1 G: wie F, Oxidationsprodukt hauptsächlich Sulfat als Gips, 5 x 7,5 mm



Bild 4.3.1 H: wie F, Oxidationsprodukt hauptsächlich Eisen(III)-oxidhydrat, 1,7 x 2,5 mm

## Ergebnisse der Untersuchung einzelner Körner von Eisensulfiden an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (Abschrift)

Abt.Nr. 38941  
Dokumentation Eing.: 27.11.85 Erl.: 04.02.86

### Untersuchungsantrag BfB 4

Einsender: Strebel / Kölle / Rösch, Abt./Ref.: 4.22 BfB

Hannover-Buchholz, den 27.11.85

Fundort: Hannover, Garbsen, Nienburg und Nordhorn

Fragestellung und Untersuchungsprogramm des Einsenders: DFG-Programm: Stoffanlieferung in der gesättigten und ungesättigten Bodenzone.- Fragestellung: Die Zusammensetzung von Pyrit bestimmt u.a. entscheidend Umsetzungsprozesse von Nitraten im Boden.- 12 Pyrite aus Wassergewinnungsgebieten der o.a. Städte sollen mit der Mikrosonde möglichst quantitativ auf Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung untersucht werden.

Bezeichnung durch Einsender: Lfd. Nr. 1 bis 12 jeweils: "ausgelesener Pyritkristall aus quartärer Bodenschicht"

Labor-Nr. AS 2958a MS 99 und AS 2958b MS 99

B 4.23 E

Hannover, den 14.1.1986

Betr.: Erzmikroskopische und mikroanalytische Untersuchung

Einsender: Dr. Strebel / Kölle / Rösch

Herkunft: Hannover, Garbsen, Nienburg, Nordhorn

Abt.-Nr.: 4/38 941

Unt.-Nr.: AS 2958a + b, MS 99

### Fragestellung

12 Pyrite sollten mit der Mikrosonde möglichst quantitativ auf Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung untersucht werden.

### Ergebnis

Von den 12 Proben konnten nur 11 untersucht werden, da Probe Nr. 7 nicht vorhanden war.

Es wurden zahlreiche energiedispersive Analysen durchgeführt, um zu versuchen, "ungewöhnliche" Elemente - wie z.B. Arsen oder Selen - im Pyrit nachzuweisen. Die Nachweisgrenzen der interessierenden Elemente betragen bei der energiedispersiven Analyse ca. 1 % für As bzw. Se.

### Probe 1 (Fuhrberg, Meßstelle 878, 20,5 m Tiefe, schwarz)

Es handelt sich um kugelige, randlich häufig gezackte Einzelkörner von ca. 50 µm Größe, die zu größeren Aggregaten (bis einige 100 µm) zusammentreten. Sie zeigen feinste Poren und Risse. Die erzmikroskopische Untersuchung ergab eindeutig, daß es sich ausschließlich um MARKASIT handelt.

2 Mikrosondenanalysen ergaben außer Fe und S keine weiteren nachweisbaren Elemente. Die Andeutung einer Spur von Zn im energiedispersiven Spektrum konnte durch die empfindlichere wellenlängendispersive Analyse nicht bestätigt werden.

Probe 2 (Fuhrberg, Meßstelle 878, 20,5 m Tiefe, glänzend)

mm-großes lappiges Aggregat, daß aus bis 200 µm großen, teilweise tafelig ausgebildeten Körnern besteht, die teilweise feine Poren und Risse zeigen. Es handelt sich um eine Verwachsung von PYRIT und MARKASIT.

2 Mikrosondenanalysen ergaben keine Unterschiede in der Zusammensetzung zwischen Pyrit und Markasit und ebenfalls keine nachweisbaren Nebenelemente.

Probe 3 (Fuhrberg, Meßstelle 878, 10,5 m Tiefe, schwarz)

Bis 200 µm große lappige oder rundliche Aggregate, die im Kern eine Andeutung von konzentrisch-schaliger Struktur zeigen (Gel). Bei +N wird der strahlige Aufbau aus feinstkörnigen Massen besonders deutlich. Es handelt sich eindeutig um MARKASIT.

2 Mikrosondenanalysen in 2 verschiedenen Aggregaten ergaben keine qualitativen chemischen Unterschiede und keine erkennbaren Spurenelemente.

Probe 4 (Fuhrberg, Meßstelle 878, 10,5 m Tiefe, glänzend)

2 bis mm-große lappige Körner, die vermutlich unter der Schliffoberfläche zusammenhängen, mit feinsten Rissen und Poren. Nach der erzmikroskopischen Untersuchung handelt es sich um PYRIT.

2 Mikrosondenanalysen ergaben außer Fe und S keine weiteren Elemente.

Probe 5 (Fuhrberg, Aufschlußbohrung 3, 22,5 m Tiefe, zylindrische Bildung)

Ein ca. 30 µm großes lappiges Korn in poröser, mikroskopisch nicht identifizierbarer Matrix. Das Korn selbst ist eindeutig MARKASIT.

Neben Fe und S ergab die Mikrosondenanalyse geringe Spuren von Si, Cd und Mn. Si ist eindeutig verunreinigender Matrix zuzuschreiben; für Mn gilt ähnliches. Cd konnte bei einer zweiten, wellenlängendispersiven Analyse nicht eindeutig nachgewiesen und zugeordnet werden. Cd-Gehalte sind jedoch aus Pyrit und Markasit in der Literatur nicht berichtet.

Die nicht zweifelsfreie Zuordnung und die geringe Größe des untersuchten Kornes erlauben aber keine weitergehenden Spekulationen.

Probe 6 (Fuhrberg, Aufschlußbohrung 3, 22,5 m Tiefe, großes Korn mit Ausblühungen)

mm-großes lappiges Aggregat, das aus einer ± dichten Packung idiomorpher oder kantengerundeter, max. 50 µm großer Einzelkörner besteht. Es handelt sich um PYRIT.

Mehrere Mikrosondenanalysen ergaben außer Fe und S keine weiteren Elemente.

Probe 7

nicht vorhanden

Probe 8 (Wasserverband Garbsen-Neustadt, Wasserwerk Forst Esloh, Brunnen B, Probe 9, 6,80-7,60 m Tiefe, anoxidierte Probe)

Bis 100 µm große eckige Bruchstücke, die in einer feinkörnigen (ca. 10 µm) Matrix auftreten, die innig mit Brauneisen und Silikat verwachsen ist. Es handelt sich um Verwachsung von grobkörnigem PYRIT und feinkörnigem MARKASIT.

2 Pyritanalysen ergaben neben Fe und S keine weiteren Elemente. Die in der feinkörnigen Markasitgrundmasse festgestellten Spuren von Al und Si - vermutlich auch die Andeutung von Cd - sind sicher verunreinigendem Silikat zuzuschreiben.

Probe 9 (Nordhorn, Brunnen 42 Klausheide, Bohrprobe Nr. 65, glänzendes Korn)

Ein lappiges, ca. 600 µm großes Korn mit feinen Haarrissen, Löchern und Silikateinschlüssen. Es handelt sich um PYRIT.

Außer Fe und S wurden bei der Mikrosondenanalyse keine weiteren Elemente festgestellt.

Probe 10 (Nordhorn, wie Probe 9, jedoch anoxidiertes, zylindrisches Korn)

Ein lappiges, ca. 500 µm großes Aggregat, das aus kleinsten (ca. 10 µm) rundlichen Körnern aufgebaut ist und zahlreiche Poren und Risse zeigt. Es handelt sich um PYRIT.

Eine Mikrosondenanalyse ergab lediglich Fe und S.

Probe 11 (Nienburg (Schweningen), 38 m Tiefe, glänzendes Korn)

Ein bis mehrere mm langes lappiges Korn, das aus max. 15 µm großen ± idiomorphen Einzelkörnern aufgebaut ist. Eindeutig PYRIT.

Bei der Mikrosondenanalyse wurden nur Fe und S festgestellt.

Probe 12 (Nienburg, wie Probe 11, jedoch anoxidiert)

Ein lappiges, ca. 600 µm großes, sehr dichtes Korn mit wenigen Haarrissen und Poren. Erzmikroskopisch handelt es sich um Pyrit.

Die Mikrosondenanalyse ergab lediglich Fe und S.

#### Schlußfolgerungen

Bei den Proben handelt es sich um Pyrit, Markasit oder Verwachsungen von Pyrit und Markasit. Weitere Erzminerale konnten nicht festgestellt werden. Mit Hilfe der Mikrosondenanalysen konnten lediglich Fe und S, jedoch keine die Wasserqualität beeinträchtigenden Elemente wie z.B. As oder Se festgestellt werden. Mögliche Gehalte liegen unter der Nachweisgrenze und sollten mit empfindlicheren Methoden (z.B. AAS, ICP) nachgewiesen werden.

Sachbearbeiter:  
Dr. Th. Weiser

#### **Anmerkung**

Die hier wiedergegebene Vorlage enthält noch mikroskopische Aufnahmen der Anschliffe, jedoch als Kopien. Sie sind nicht besonders aussagekräftig. Zur Veranschaulichung der Tatsache, dass es sich bei den untersuchten Körnern um Aggregate aus porösen und rissigen Einzelkörnern handelt, wird hier eine Auswahl von zwei Aufnahmen in den Text eingebunden, und zwar Aufnahmen der Proben 1 und 6, beide aus dem Fuhrberger Grundwasserleiter.

Erzmikroskopische und mikroanalytische Untersuchung von Pyritkörnern aus dem Fuhrberger Feld  
 1: Markasitaggregat, Meßstelle 878, 20,5 m Tiefe 2: Pyritaggregat, Aufschlußbohrung 3, 22,5 m Tiefe

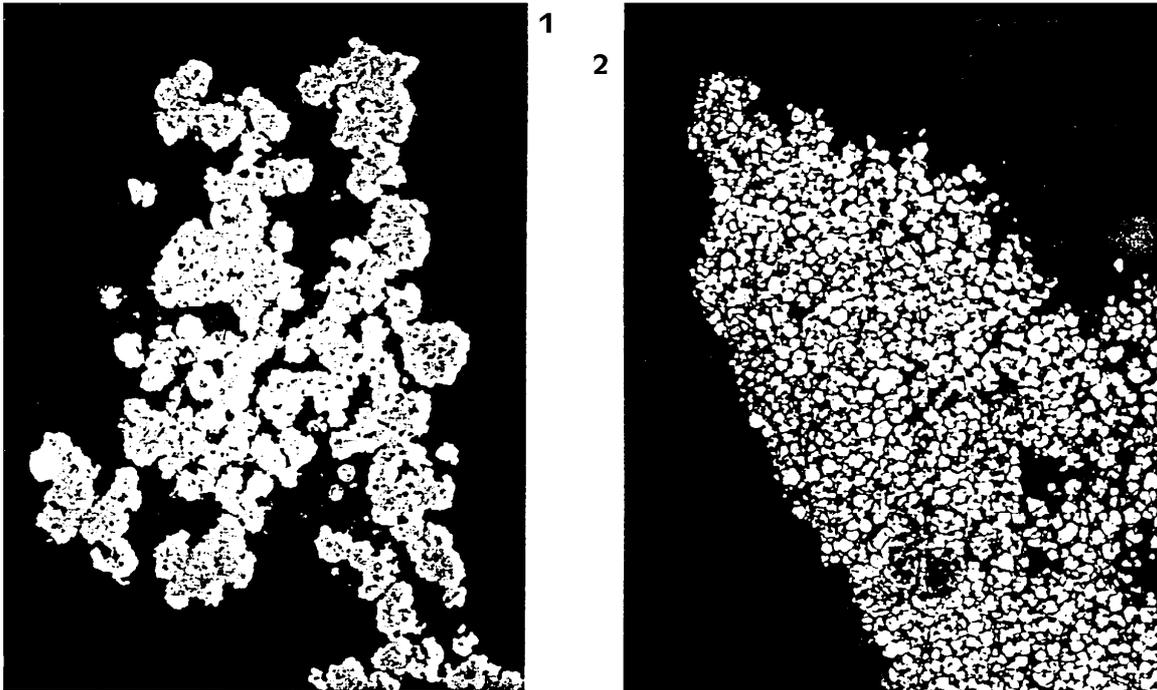


Bild: Ergebnisse von Untersuchungen an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, veranlasst von: Strebel und Rösch (BGR) und Kölle (SWH).

### Geografische Aspekte

Im Buch wird ausführlich erörtert, dass aus Eisensulfiden durch oxidierende Einflüsse gelöstes Eisen(II) freigesetzt werden kann, das durch weitergehende oxidierende Einflüsse als Eisen(III)-oxidhydrat wieder ausgefällt wird. Dies wird mit Bild 4.3 im Buch veranschaulicht.

Im Verlaufe langer Zeiträume können auf diese Weise große Mengen an Eisen verfrachtet werden. Als Resultat entstehen dicke Schichten aus Raseneisenerz (Rasenerz, Ortstein, Sumpferz). Für unsere Vorfahren war dies ein sehr leicht zu gewinnender Rohstoff, der zusammen mit einem nachwachsenden Rohstoff, nämlich Holz bzw. Holzkohle, die Grundlage einer frühen Eisenverhüttung in "Rennöfen" darstellte.

Im Freiluftmuseum "Historische Waldschmiede" im Wietzenbruch kann ein größeres, hochkant gestelltes Raseneisenerzvorkommen besichtigt werden. Man erreicht das Museum von Wieckenberg (Landkreis Celle) aus auf der Fuhrberger Straße, ca. 3 km südlich der Ortsmitte. (Besucher sollten auf das Hinweisschild westlich der Straße achten).



Bild 4.3.1 I: Historische Waldschmiede, Raseneisenerz, hochkant (2004)

### **Verockerung**

Die Abscheidung von Eisen(III)-oxidhydrat in Brunnen, an Pumpen und in Rohwasserleitungen ("Verockerung") tritt immer dann ein, wenn das Rohwasser Eisen(II) und Sauerstoff oder Nitrat enthält.

Die Verockerungsneigung eines Brunnens kann mit verschiedenen Untersuchungsverfahren getestet werden:

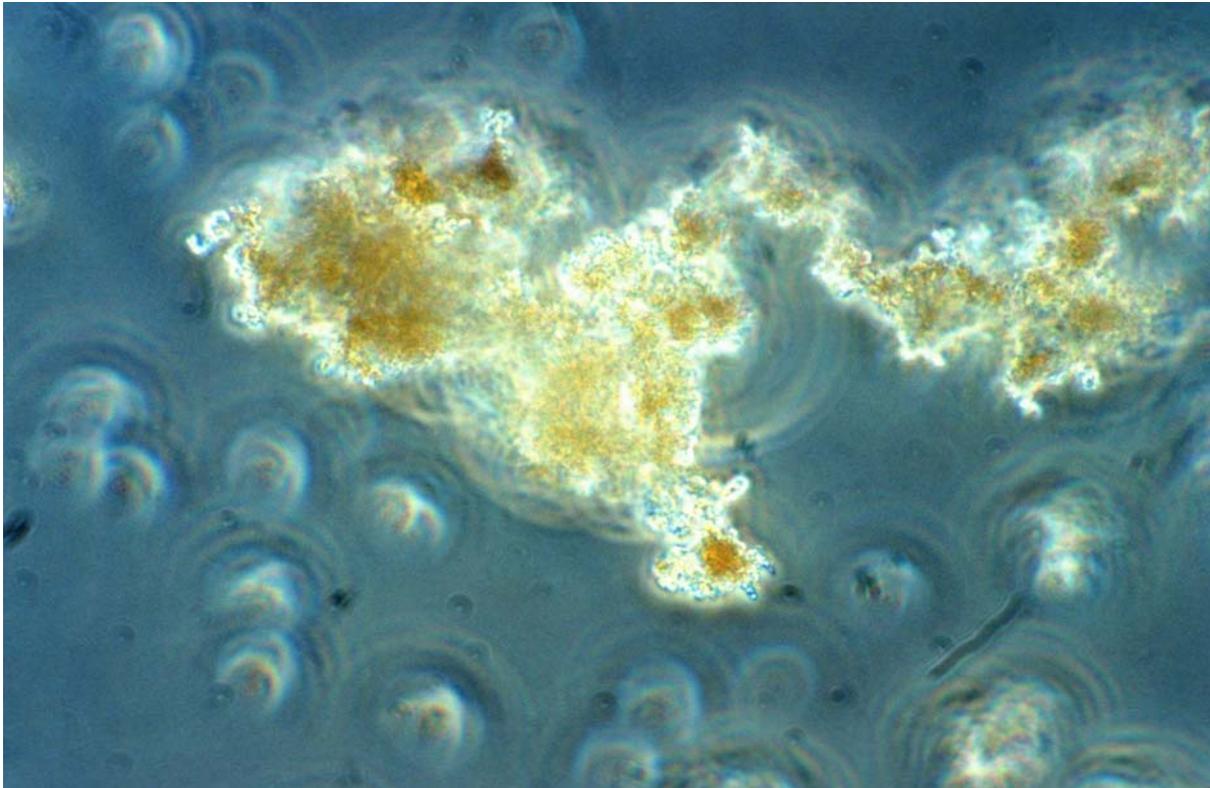
Messung des Redoxpotentials des Wassers: Das Redoxpotential reagiert auf geringste Spuren von Sauerstoff, die mit anderen analytischen Mitteln nicht mehr sicher bestimmt werden können. Die Verockerung mit Nitrat als Oxidationsmittel ("Nitratverockerung") ist in analytischer Hinsicht weniger kritisch.

Einhängen von Objektträgern: Objektträger, die an einem Nylonfaden in einen Brunnen abgelassen werden, spiegeln den Verockerungsprozess wider und eignen sich für mikrobiologische Untersuchungen.

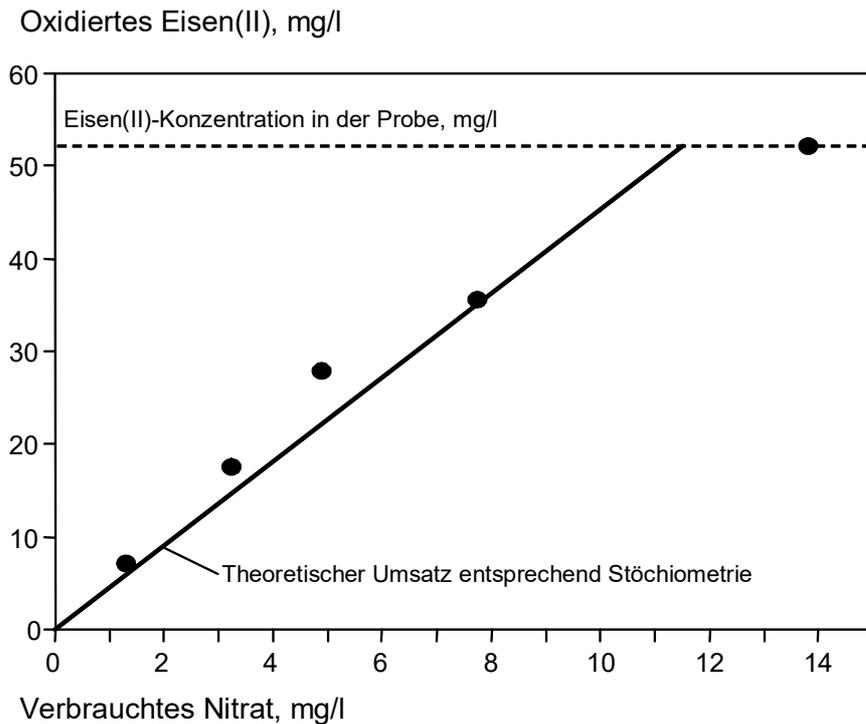
Die beiden aufgeführten Methoden haben eines gemeinsam: Sie bestätigen einen Sachverhalt, den man schon vorher kannte. Wirklich wichtig ist die Erkenntnis, dass die Verockerung hauptsächlich durch die Mischung unterschiedlicher Wässer verursacht wird (SCHIKOWSKI et al., 1993).



Bilder 4.3.1 J: "Nitratverockerung" im Labor. Die Zugabe von Chloroform zum Versuchsansatz verhindert das Bakterienwachstum bzw. die Eisenoxidation perfekt.



Bilder 4.3.1 K: Das Bild gibt den eisenoxidierenden Organismus wieder, der dem Versuch entsprechend Bild J entnommen worden ist, Vergr. 1000x, Aufnahme: Peter Werner



Überprüfung der Stöchiometrie der mikrobiellen Oxidation von Eisen(II) durch Nitrat. Bei dem Nitratumsatz von 4,9 mg/l muss ein Teil des Eisens durch Sauerstoff oxidiert worden sein, was durch das Vorhandensein von *Gallionella ferruginea* angezeigt wurde. Für den Nitratverbrauch von 14 mg/l wurde keine Erklärung gefunden.

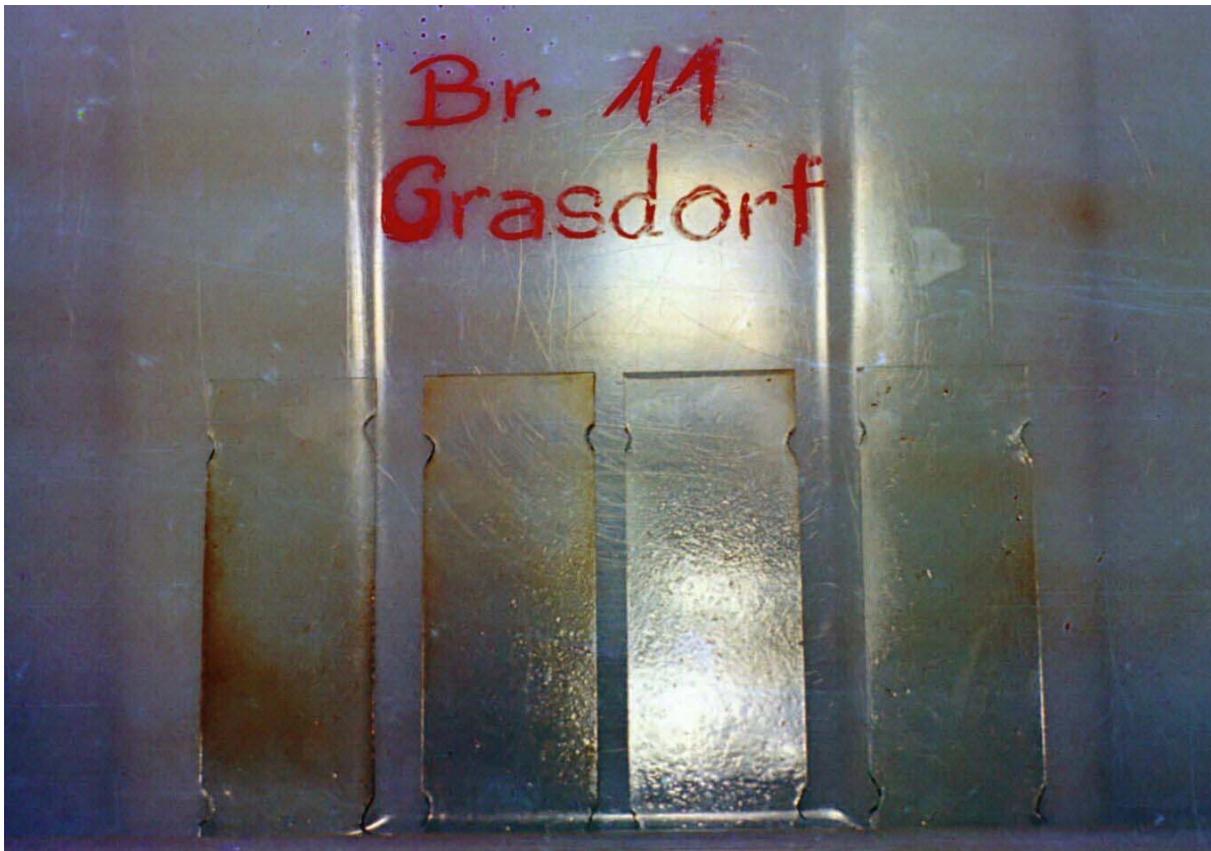


Bild 4.3.1 L: Test-Objektträger, die in unterschiedlichen Tiefen dem Brunnenwasser ausgesetzt waren



Bild 4.3.1 M: Video-Inspektion von einem verockernden Brunnen, 1989



Bild 4.3.1 N: wie M, stärker verockert



Bild 4.3.1 O: Verockertes Einbauelement



Bild 4.3.1 P: Reinigungskasten an einer verockerten Rohwasserleitung im Wassergewinnungsgebiet Fuhrberger Feld, 1972



Bild 4.3.1 Q: Verockerungsprodukt aus Brunnen 4, Fuhrberg, 1982, 40 x 60 mm

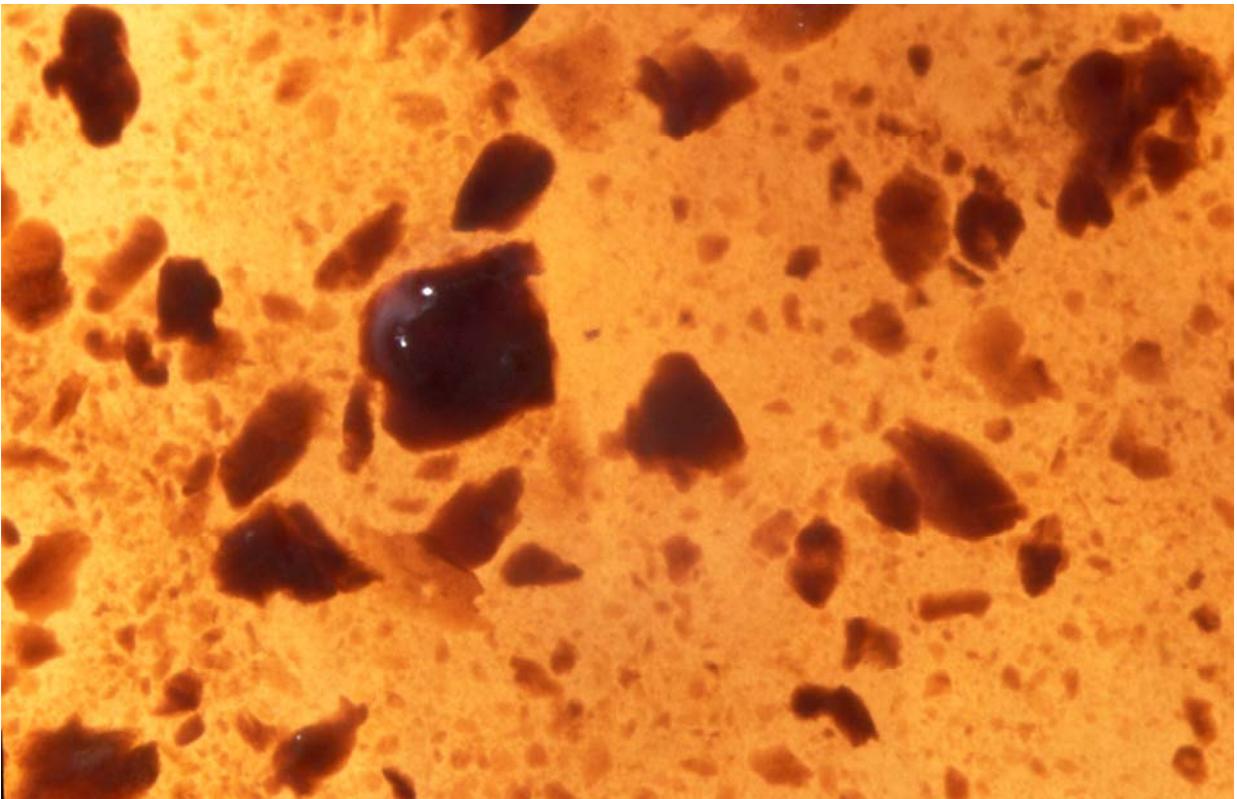


Bild 4.3.1 R: wie Q, Säureunlöslicher organischer Rückstand, 2 x 3 mm (wahrscheinlich Eisen(III)-humat)



Bild 4.3.1 S: Verockerungsprodukt, 2007, 26 x 35 mm



Bild 4.3.1 T: wie S, säureunlöslicher organischer Rückstand, 15 x 20 mm (extrazelluläre polymere Substanz, "EPS")

Die beiden Verockerungsprodukte entsprechend den Bildern P und R unterscheiden sich sehr stark. Wie Tabelle 1 zeigt, haben sich die beiden Produkte unter sehr verschiedenen Bedingungen gebildet:

Tabelle 1: Randbedingungen für die Verockerung von zwei Brunnen

	Br. 4, Fuhrberg 1997	Vergleichsbr. 2007
<b>Wasser</b>		
pH-Wert	6,5	5,5
Geruch	H <sub>2</sub> S	-
Sauerstoff, mg/l	0,1	3,1
Gesamthärte, mmol/l	2,14	0,24
Eisen, gesamt, mg/l	21,5	0,58
Sulfat, mg/l	158	27
Nitrat, mg/l	0,8	6,3
DOC, mg/l	6,5	<0,2
<b>Verockerungsprodukt</b>		
org. C in der Trockensubstanz, %	6,5	2,97

Der Geruch nach Schwefelwasserstoff im Wasser des Brunnens 4, Fuhrberg, beweist, dass der Grundwasserleiter bei Brunnen 4, Fuhrberg, grundsätzlich sauerstofffrei gewesen sein muss. Es läuft daher mit den aus Bild J bekannten Mikroorganismen eine reine Nitratverockerung ab.

Der Vergleichsbrunnen fördert ein Wasser mit einem vergleichsweise hohen Sauerstoffgehalt von 3,1 mg/l. Wegen des sehr niedrigen pH-Wertes von 5,5 sind die Oxidationsbedingungen trotzdem ungünstig. Dies zeigt sich in einem hohen Gehalt an extrazellulärer polymerer Substanz.

Überraschenderweise enthält das Verockerungsprodukt aus Brunnen 4 mehr als doppelt so viel organischen Kohlenstoff wie das Produkt aus dem Vergleichsbrunnen. Es gibt Anzeichen dafür, dass es sich bei dem säureunlöslichen Rückstand aus Brunnen 4 um eine Verbindung von Eisen(III) mit Huminsäure ("Eisen(III)-humat") handelt. Die großen Unterschiede des DOC der Brunnenwässer machen diese Interpretation plausibel.

Der Sonderfall eines Wassers mit einer freien Oberfläche, die der Atmosphäre ausgesetzt ist, wurde im Staatsbad Pyrmont beobachtet. Der Überlauf der Bad Pyrmont-Helene-Quelle plätschert über eine kleine Kaskade in die Schlossgruft. Das Wasser ist eisenhaltig, auf der Kaskade scheidet sich daher Eisen(III)-oxidhydrat ab. Wahrscheinlich enthält das Wasser auch Phosphat, so dass man sich über Anzeichen eines Algenwachstums nicht wundern darf.



Bild 4.3.1 U: Kaskade an der Schlossgraft in Bad Pyrmont (Teilansicht, September 2009)

### Spurenelemente in Verockerungsprodukten

Bei der Denitrifikation durch Eisendisulfide werden, wie in Abschnitt 5 im Buch ausführlich begründet, auch diejenigen Elemente mobilisiert, die sich ursprünglich gemeinsam mit den Eisendisulfiden im Grundwasserleiter abgeschieden hatten. Wenn das gelöste Eisen als Verockerungsprodukt wieder immobilisiert wird, können die Elemente (teilweise) in die Verockerungsprodukte eingebaut werden. Am Institut für Geologie und Paläontologie der TU Clausthal wurden die Verockerungsprodukte des Horizontalfilterbrunnens 4 des Wasserwerks Fuhrberg der Stadtwerke Hannover AG auf die Elemente Cobalt, Nickel, Zink, Arsen, Cadmium, Blei und Uran untersucht. In der gleichen Analysenreihe wurden Abscheidungen aus dem Horizontalfilterbrunnen 1 des Wasserwerks Fuhrberg untersucht. Hierbei handelte es sich nicht um Verockerungsprodukte im engeren Sinne, sondern um aluminiumhaltige Reaktionsprodukte (siehe hierzu: 5.3.1 Aluminium.pdf auf der CD-ROM). Auch in diese Produkte werden Spurenelemente aus dem Denitrifikationsprozess eingebaut. Herrn Professor Wolfgang van Berk sei für die Überlassung der Ergebnisse ausdrücklich gedankt.

Die Filterstränge beider Brunnen bestehen aus Kupfer, daher wurde Kupfer aus den Analysen ausgeklammert.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse. Die Proben wurden anlässlich von Arbeiten zur Brunnenregeneration entnommen. Die Konzentrationen differieren mit dem Zeitpunkt der Probenahme. Besonders ausgeprägt sind die Unterschiede zwischen

den beiden Brunnen. Es muss offen bleiben, ob diese Unterschiede mehr auf die Beschaffenheit des Aquifers oder mehr auf den Typ der Ablagerung zurückzuführen sind.

Tabelle 2: Konzentrationen von Spurenelementen in Ablagerungen aus Horizontalfilterbrunnen des Wasserwerks Fuhrberg der Stadtwerke Hannover AG, Daten aus dem Institut für Geologie und Paläontologie der TU Clausthal. Angaben in mg/kg.

Brunnen	4				1		
	1969	1975	1979	1980	1969	1976	1983
Cobalt	4,0	1,5	3,8	29,4	14,8	7,0	9,5
Nickel	21,0	11,2	7,9	80	26,0	27,6	37,2
Zink	75	47	17	56	116	964	1104
Arsen	41	45	46	85	2	6	8
Cadmium	0,27	0,14	0,72	0,39	0,71	2,65	2,20
Blei	1,04	0,98	3,02	0,65	2,09	4,36	2,48
Uran	0,98	0,66	0,58	0,57	3,75	3,78	1,85

### Restseen des Braunkohletagebaus

Restseen des Braunkohletagebaus sind ein eindrucksvolles Beispiel für die Oxidation von Eisensulfiden und die Abscheidung großer Mengen von Eisen(III)-oxidhydrat. Bild 4.3.1 V gibt davon ein Beispiel.



4.3.1 V Restsee des Braunkohletagebaus, Niederlausitz, März 1987

### Eisen(III)-Oberflächenfilme

Abschließend sei auf das Phänomen der Eisen(III)-Oberflächenfilme hingewiesen: Dieses Phänomen beobachtet man an sauerstofffreien, eisenhaltigen Wässern, die, ohne sich zu bewegen, der Atmosphäre ausgesetzt sind. Das Eisen kann dann nur an der Grenzfläche Wasser / Atmosphäre oxidiert werden. Dabei entstehen Oberflächenfilme aus Eisen(III)-oxidhydrat, die in der Regel sehr dünn sind. Sie fallen vor allem dadurch auf, dass sie das Licht stärker reflektieren als die freie Wasseroberfläche. Dieser Effekt führt mitunter zu Verwechslungen mit Ölfilmen.



Bild 4.3.1 W: Eisen(III)-Oberflächenfilm (Amrum, Oktober 1985)

In der Natur sieht man Eisen(III)-Oberflächenfilme auf dem Wasser, das sich in wasserführenden Gräben, beispielsweise in Torfabbauegebieten, ansammelt. Bild 4.3.1 W zeigt ein Beispiel, das im Oktober 1985 auf Amrum aufgenommen wurde. Typisch sind Risse in der Oberflächenschicht, die z. B. durch Luftbewegungen hervorgerufen werden. Ölfilme bilden naturgemäß keine Risse. In Bild 4.3.1 W erkennt man außerdem beginnende Braunfärbung durch Eisen(III)-oxidhydrat an den Stellen erhöhter Konzentration.

Auch auf eisenhaltigem Brunnenwasser, das man an der Luft stehen lässt, bilden sich solche Filme. Bild X zeigt einen Oberflächenfilm, den der Autor selbst erzeugt hat (von Experimenten dieser Art ist allerdings abzuraten).



Bild 4.3.1 X: Eisen(III)-Oberflächenfilm

### Zusatzinformationen

Pyrit bildet sich unter den verschiedensten geologischen Bedingungen, er ist das verbreitetste Sulfid der Erdkruste ("Hans in allen Gassen"). Pyrit kristallisiert kubisch. Häufig findet man Kristalle in der Form des Würfels oder Pentagondodekaeders. Bei der Versteinering eiweißreicher Organismen wird der Schwefelgehalt des Eiweißes oft als Pyrit oder Markasit fixiert. Die beiden folgenden Bilder zeigen entsprechende Beispiele aus der Mineraliensammlung.



Bild 4.3.1 Y: Pyrit, Elba, 53 x 70 mm



Bild 4.3.1 Z: Pyritbildung in einem Schalentier, ca. 70 x 95 mm