

Abschnitt 4.3.1, Auswahl 3

Enteisenung im Filter, Bilder 4.3.1 A bis P

Querverweise: Bilder zum Thema "Eisen" findet man auch in Abschnitt 3.3.4 "Verwitterung von Eisensulfiden und Silicaten" in Abschnitt "4.3.1 Auswahl 1, Pyrit, Denitrifikation, Verockerung", in Abschnitt "4.3.1 Auswahl 2, Eisenverbindungen", in Abschnitt "4.3.1 Auswahl 4, Eisenfällung in Flockungsanlage" und in Abschnitt "4.4.1 Chlorid in Korrosionsprodukten".

Vorgänge in Wasserwerksfiltern sind interessant: Je nach Wasserbeschaffenheit und Filtermaterial können die folgenden Vorgänge ablaufen: Enteisenung, Nitrifikation, Entmanganung, Entsäuerung, Calcitabscheidung und nicht zuletzt auch die Elimination von Trübstoffen und Flocken aus einer Flockungsanlage. Häufig sollen Enteisenung, Nitrifikation, Entmanganung und Entsäuerung in einem einzigen "Vielzweckfilter" durchgeführt werden, eine Vorgehensweise, die preiswert, aber suboptimal ist. Die folgenden Ausführungen gehen mit dem Schwerpunkt "Enteisenung" der Frage nach, inwieweit die oben aufgeführten Vorgänge parallel ablaufen können, oder ob sie sich gegenseitig behindern oder ausschließen. Zusätzlich interessieren die Themen "Biofilm" und "Kornwachstum"

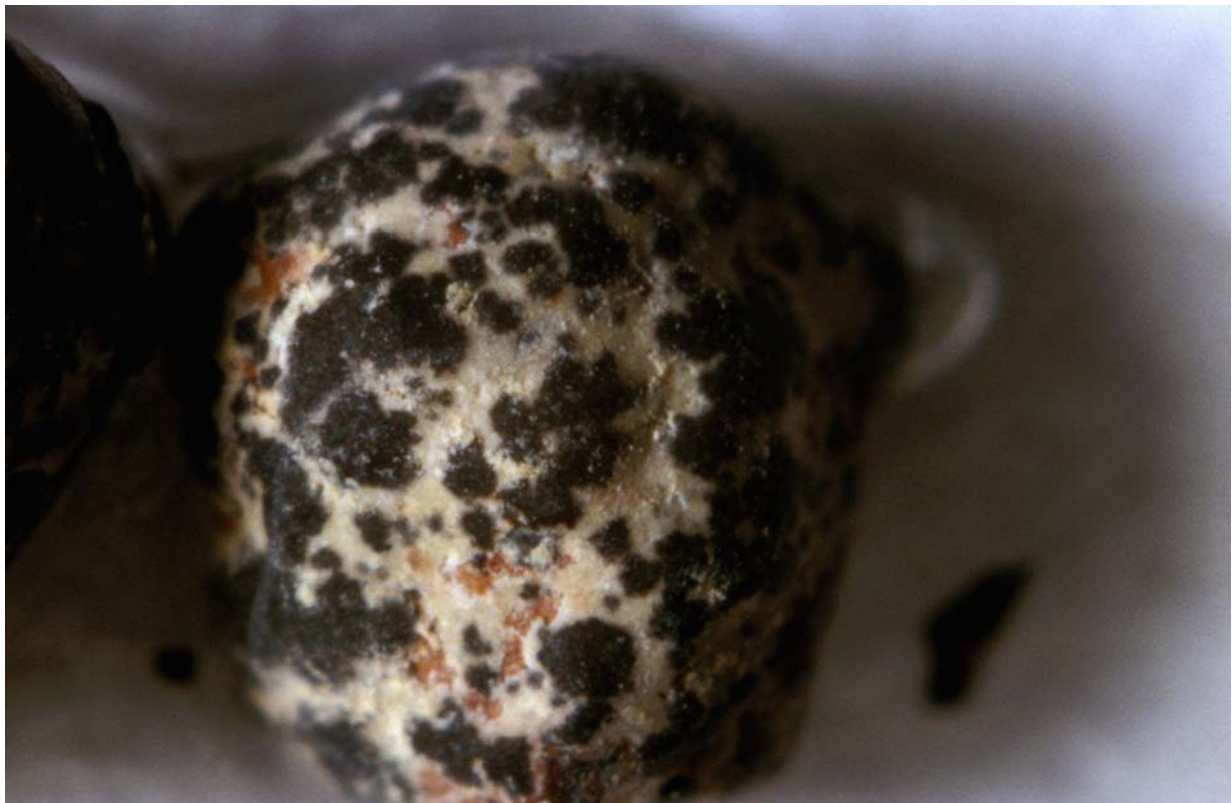


Bild 4.3.1 A: getrennte Zonen auf einem Filterkorn, 1979, 1,7 x 2,5 mm

Das in A gezeigte Filterkorn stammt aus einem Filter, das mit einem manganhaltigen Wasser beaufschlagt wurde. Das Wasser hatte zuvor eine Schnellentcarbonisierungsanlage passiert und war daher kalkabscheidend. Die beiden Vorgänge "Entmanganung" und "Calcitabscheidung" laufen offenbar im Filter parallel ab, bilden aber kleinräumige Zonen, in denen sie sich jeweils gegenseitig ausschließen.



Bild 4.3.1 B: Filterkorn aus dem Wasserwerk Elze-Berkhof der Stadtwerke Hannover AG, 1996, 2 x 3 mm. Die Schrumpfungsrisse sind beim Trocknen entstanden.



Bild 4.3.1 C: wie B, 3,3 x 5 mm



Bild 4.3.1 D: wie B, 2 x 3 mm

Einige Daten der Wasserbeschaffenheit sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (111 Datensätze aus der Zeit von Januar 1994 bis Dezember 1996):

pH-Wert	6,95	Fe ²⁺ , mg/l	7,37
K _{S4,3} , mmol/l	2,18	Fe(III), mg/l	1,24
Ca ²⁺ , mg/l	94	Mn ²⁺ , mg/l	0,63
Mg ²⁺ , mg/l	4,7	Cl ⁻ , mg/l	48
NH ₄ ⁺ , mg/l	0,24	SO ₄ ²⁻ , mg/l	137

Das Rohwasser enthielt so viel Eisen und Mangan, dass die Aufbereitung in einem Grundwasserwerk mit der Aufbereitungstechnik "Belüftung und Filtration" nur unter Schwierigkeiten möglich war. Eine zusätzliche Komplikation war das Auftreten von dreiwertigem Eisen in stark schwankenden Konzentrationen.

Bild B zeigt, dass im Verlauf mehrerer Jahre ein Kornwachstum eingetreten ist. Die aufgewachsene Schicht enthält offenbar Wasser, das beim Trocknen abgegeben wird und dabei Schrumpfungsrisse hinterlässt. Die Konsistenz scheint massiver zu sein als der Biofilm, der sich bei der Entmanganung bildet. Die dunkleren Flecken auf Bild B könnten als Zonen interpretiert werden, in denen bevorzugt eine Entmanganung abläuft. Diese Interpretation ist, wie die folgenden Beispiele zeigen werden, wahrscheinlich falsch.

Die folgenden Bilder zeigen das Filterkorn aus einem niedersächsischen Grundwasserwerk aus dem Jahre 1982.



Bild 4.3.1 E: Filterkies aus einem Grundwasserwerk, 1982, 26 x 34 mm



Bild 4.3.1 F: wie E, 13 x 17 mm

Die Bilder E und F zeigen, dass die aufwachsende Schicht aus Eisen(III)-oxidhydrat unterschiedlich gefärbt sein kann.



Bilder 4.3.1 G und H: wie E, jeweils 2 x 3 mm



Bild 4.3.1 I: wie E, 1,7 x 2,5 mm

Im klassischen Enteisungs- und Entmanganungsfilter werden eine Enteisung, eine Nitrifikation des Ammoniums und eine Entmanganung erreicht. Aus thermodynamischen Gründen sollte man davon ausgehen können, dass diese drei Reaktionen in der genannten Reihenfolge ablaufen. Es müssten sich daher entsprechende Zonen im Filter bzw. auf jedem Kieskorn ausbilden. Eindeutige Hinweise darauf haben sich nicht ergeben. Dass die Nitrifikation offenbar völlig abgekoppelt von den anderen Prozessen im Filter verläuft, ist darauf zurückzuführen, dass das Ammonium primär durch Adsorption an Eisen(III)-oxidhydrat aus dem Wasser eliminiert und erst dann oxidiert wird (s. Abschnitt 4.3.1.3 im Buch). Auch die Entmanganung ist nicht zu lokalisieren.

Unabhängig von den hier diskutierten Beobachtungen treten auf und in den aufgewachsenen Schichten Zonen und Farbeffekte auf. Solange keine plausible Erklärung für diese Effekte gefunden wird, neigt der Autor dazu, sie als "Scharlatanerie des Eisenoxidhydrats" zu bezeichnen.

Umso größer war die Überraschung, als im Jahre 1996 ein Fall beobachtet werden konnte, bei dem in den aufgewachsenen Schichten offensichtlich klar abgegrenzte braune Enteisungszonen und schwarze Entmanganungszonen zu unterscheiden waren.

Die folgenden Bilder zeigen dieses Phänomen.



Bild 4.3.1 J: Filterkies aus einem Grundwasserwerk, 1996 (ca. 17 Jahre im Einsatz), 3,3 x 5 mm

Das Rohwasser dieses Wasserwerks hat die folgende Beschaffenheit (Mittelwerte aus 15 Datensätze aus den Jahren 1977 bis 1996):

pH-Wert	7,43	Fe ²⁺ , mg/l	1,76
K _{S4,3} , mmol/l	2,92	Fe(III), mg/l	0,06
Ca ²⁺ , mg/l	65,4	Mn ²⁺ , mg/l	0,23
Mg ²⁺ , mg/l	4,6	Cl ⁻ , mg/l	20,0
NH ₄ ⁺ , mg/l	0,08	SO ₄ ²⁻ , mg/l	32,5

Der pH-Wert ist höher und die Konzentrationen von Ammonium, Eisen und Mangan sind niedriger sind als im Falle des Wasserwerks Elze-Berkhof. Die Bedingungen für die Enteisung und Entmanganung sind daher vergleichsweise günstig.

Der Gleichgewichts-pH-Wert liegt bei ca. 7,8. Das Aufbereitungsfilter enthält neben Quarzkies auch dolomitische Filtermaterial zur Entsäuerung. Bild K zeigt ein Korn des halbgebrannten Dolomits. In der Umgebung solcher Dolomitskörner ist der pH-Wert erhöht, was die Enteisung und die Entmanganung begünstigt. Der "Panzer" aus Eisenoxidhydraten wächst also besonders schnell und wird besonders dick. Die Entsäuerung begünstigt daher die Enteisung, die aber ihrerseits die Entsäuerung behindert. Eine wechselseitige Abhängigkeit zwischen Enteisung und Entsäuerung kann auch bei der unterirdischen Wasseraufbereitung beobachtet werden (s. Bild O in Abschnitt 7.9.7).



Bild 4.3.1 K: wie J, Dolomitkorn, 3,3 x 5 mm



Bild 4.3.1 L: wie J, Quarzkorn mit Zonen in der aufgewachsenen Schicht, 3,3 x 5 mm



Bild 4.3.1 M: wie L, 2 x 3 mm

Es fällt auf, dass sich in der aufgewachsenen Schicht gelbe und schwarze Zonen abwechseln. Daraus ergibt sich die folgende messerscharfe, aber falsche Schlussfolgerung:

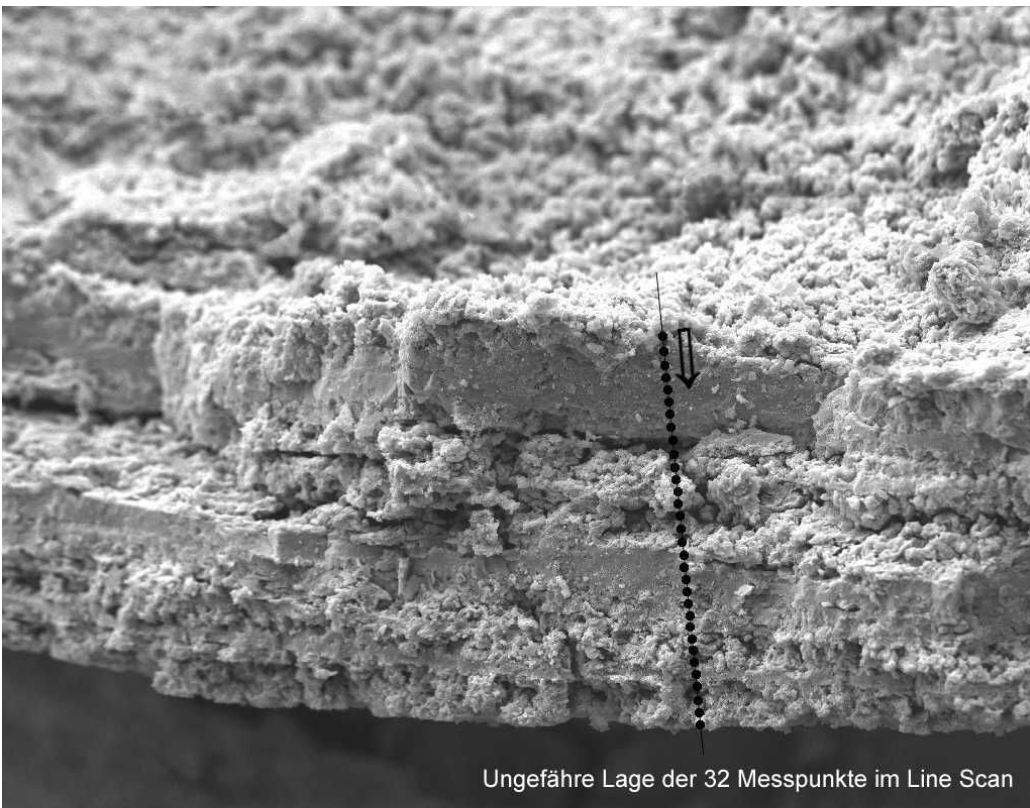
falsch! Solange sich das Korn in der Enteisungszone des Filters (also oben) aufhält, scheidet sich auf dem Filterkorn hellbraunes Eisen(III)-oxidhydrat ab. Beim Rückspülen des Filters gelangt das Korn manchmal in die Entmanganungszone (also nach unten). Dort scheidet sich schwarzes Mangan(IV)-oxid ab.

Um diese einleuchtende Hypothese zu überprüfen, wurde Material von der aufgewachsenen Schicht mit dem Rasterelektronenmikroskop ("REM") untersucht. Dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover sei für die Untersuchung ausdrücklich gedankt. Mit einem "Line scan" auf den Röntgenlinien des Eisens und des Mangans wurde die Verteilung dieser beiden Elemente in der Schicht ermittelt.

Wie die Röntgensignale des Line-Scans zeigen, gibt es keine Auffälligkeiten, die darauf hindeuten, dass unterschiedliche Zonen existieren, in denen jeweils Enteisung bzw. Entmanganung bevorzugt sind. Die verschiedenen Färbungen der aufgewachsenen Schichten sind sehr wahrscheinlich dadurch zu erklären, dass sich die Reaktionsbedingungen im Filter jeweils dann änderten, wenn das verbrauchte dolomitische Filtermaterial ersetzt wurde. Die dadurch entstandenen Diskontinuitäten können das Erscheinungsbild des Eisen(III)-oxidhydrats beeinflusst und zu der "Scharlatanerie" geführt haben.



REM-Aufnahme: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, Juni 2004
 © LBEG Hannover Breite: 0,62 mm

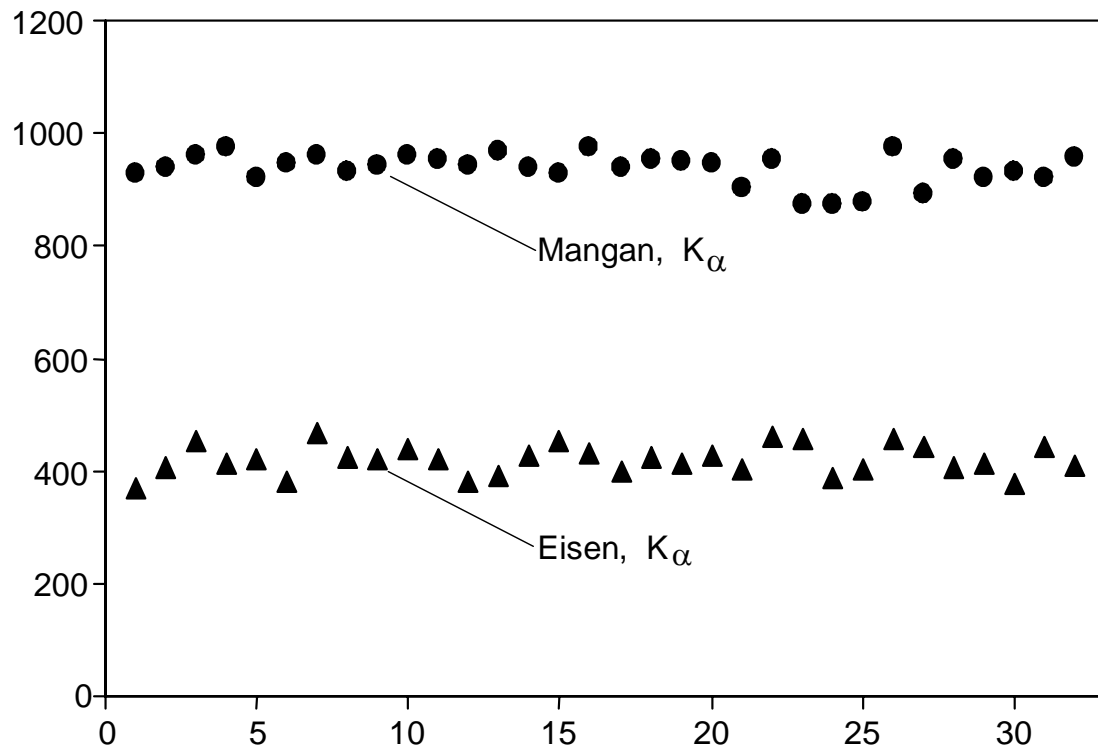


Ungefähre Lage der 32 Messpunkte im Line Scan

REM-Aufnahme: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, Juni 2004
 © LBEG Hannover Breite: 0,62 mm

Bilder 4.3.1 N und O: wie L, REM-Aufnahme, 0,48 x 0,62 mm

Intensität (Zahl der Röntgenimpulse)



Messpunkt Nr.

Bild 4.3.1 P: Ergebnisse des Line-Scans für die Elemente Eisen und Mangan.