

|                                  |              |              |          |                          |
|----------------------------------|--------------|--------------|----------|--------------------------|
| Brandenburgische Geowiss. Beitr. | Kleinmachnow | 7(2000), 1/2 | S. 83–91 | 11 Abb., 3 Tab., 16 Lit. |
|----------------------------------|--------------|--------------|----------|--------------------------|

## Quartäres Raseneisenerz in Mecklenburg-Vorpommern – Genese, Stoffbestand, Vorkommen und Nutzung

HASSO ZWAHR, KLAUS GRANITZKI, JOACHIM SCHOMBURG & HANS-JÜRGEN ZANDER

### 1. Einführung

Raseneisenerz wurde in Mecklenburg-Vorpommern in früheren Jahrhunderten als einheimischer Rohstoff für die Eisenherstellung verwendet. Schlackenfundplätze insbesondere aus der vorrömischen Eisenzeit belegen eine vorgeschichtliche Verhüttungstätigkeit. Vor allem aus dem 16.-18. Jahrhundert sind Eisenwerke aus den verschiedenen Landesteilen, z. B. Dömitz, Grabow, Wittenburg, Zarrentin, Hammer (Landkreis Uecker-Randow) u.a. bekannt (v. BÜLOW 1949, ERNST 1966). Eine besondere Bedeutung erlangte die Verhüttung von Raseneisenerz in Torgelow, die 1778 ausführlich von GEORGI beschrieben und erst 1858 eingestellt wurde.

In der Griesen Gegend, einem großen Heidegebiet in SW-Mecklenburg, wurde Raseneisenerz häufig als Baumaterial für Wohnhäuser, Mauern u.a. eingesetzt. BOCK (1987) berichtet über eine Vielzahl von Bauten, die mit Klump (kompaktes Raseneisenerz) aus diesem Gebiet errichtet wurden und stellt die Erhaltung dieser für die Griesen Gegend „so wichtigen Zeugnisse des ländlichen Bauens“ als Aufgabe des Denkmalschutzes heraus.

Nach dem 2. Weltkrieg wurde bis 1990 Raseneisenerz südöstlich Hagenow bei Kuhstorf - Moraas abgebaut. Das Erz diente nach Aufbereitung (Aufmahlen) als Katalysator bei der Herstellung einer Entschwefelungsmasse unter Zumischung von thermisch aktiviertem Schwefelkiesabbrand. Diese Masse war in der DDR der einzig vorhandene Trockenentschwefeler auf Eisenkontaktbasis, der der gaserzeugenden Industrie zur Verfügung stand.

### 2. Genese und Stoffbestand

Die beiden Eisenhydroxide Goethit ( $\alpha$ -FeOOH) und Lepidokrokit ( $\gamma$ -FeOOH) bauen das wichtige Eisenerz Limonit auf. Goethit und Lepidokrokit enthalten theoretisch 62% Fe, mit wechselnden H<sub>2</sub>O-Gehalten sowie sorptiven Anteilen von P, V, Mn, Si, Ba, Ca u.a. Goethit kristallisiert rhombisch und bildet feinste prismatisch-nadelige Kristalle meist zu strahligen, massig-dichten, pulverigen bzw. gelartigen mikro- bis kryptokristallinen Massen aggregiert. Limonit ist weltweit verbreitet. Je nach den verschiedenen Bildungsumständen ist er unterschiedlich ausgebildet. So treten die beiden Hydroxide als Verwitterungsprodukte eisenhaltiger Minerale gehäuft auf in

- **Raseneisenerzen** (Abb. 1a,b), **Morast-, Sumpf-, Wiesen- oder Seeerz**
- **Ortsteinkrusten der Podsolböden** (Auswaschung von Fe- und Al-Hydroxiden aus dem Oberboden und Anreicherung im sauren Milieu im Unterboden unter Verkittung der Bodenteilchen (Abb. 2a)
- tropischen **lateritischen Böden**, teilweise sogar lagerstättenbildend als Ferricret in Ferrasolen (im spanischen Sprachraum als **Perdigones** bekannt Abb. 2b),
- der **Oxidationszone sulfidischer Erzlagerstätten** (Eisener Hut),
- **Brauneisenerzen in Form von oolithischen Erzen** als mächtige Flachwasserbildungen (z.B. ordovizische oolithische Eisenerze Thüringens, mittellurassische Minette Lothringens, unterkretazische Bohnerze von Salzgitter)

Die bei der Verwitterung eisenhaltiger Minerale wirkenden Säuren sind im wesentlichen freie Kohlensäure der zirkulierenden Oberflächenwässer sowie Huminsäuren als Abbauprodukte pflanzlicher Substanzen.

Zweiwertiges Eisen ist als Hydrogenkarbonat leicht löslich, aber nur in sauerstofffreiem Milieu beständig. Besonders augenfällig ist die eisenlösende Wirkung von Huminsäuren der Moorwässer, aus denen beim Austritt an der Oberfläche rotbraun gefärbte Eisenhydroxide ausgefällt werden. Ähnlich ist die Entstehung der Raseneisenerze zu verstehen, die durch kapillar aufsteigende eisenhaltige Lösungen aus der Reduktionszone nahe der Oberfläche zu ihrer Bildung führen. Schematisch verläuft die Bildung der einzelnen Fe-Phasen (Hydroxide, Oxide), wie in Abbildung 3 aufgezeigt wird (SCHEFFLER, WELTE et. al. 1958). Entscheidend für die Kristallstruktur ist die Wertigkeit der Fe-Ionen im Moment der Bildung der Hydroxide. So entstehen aus Ferro-Ionen bei absinkenden pH-Werten braun gefärbte röntgenamorphe, wasserreiche Ferri-Gele, die bei Alterung (gedrosselte Oxidation bzw. Alterung bei alkalischer Reaktion) zur Bildung von Goethit führen. Im Falle der Raseneisenerze verläuft diese Reaktion im Bereich des Grundwasserspiegels und stauender Nässe, wie die Befunde des Auftretens dieser Gesteine (schmale Streifen - Bachtypus, flach sandig-flächige Vorkommen - Randzonentypus, flächig-nestartige Vorkommen - Nestertypus, BANDEL 1937) belegen.

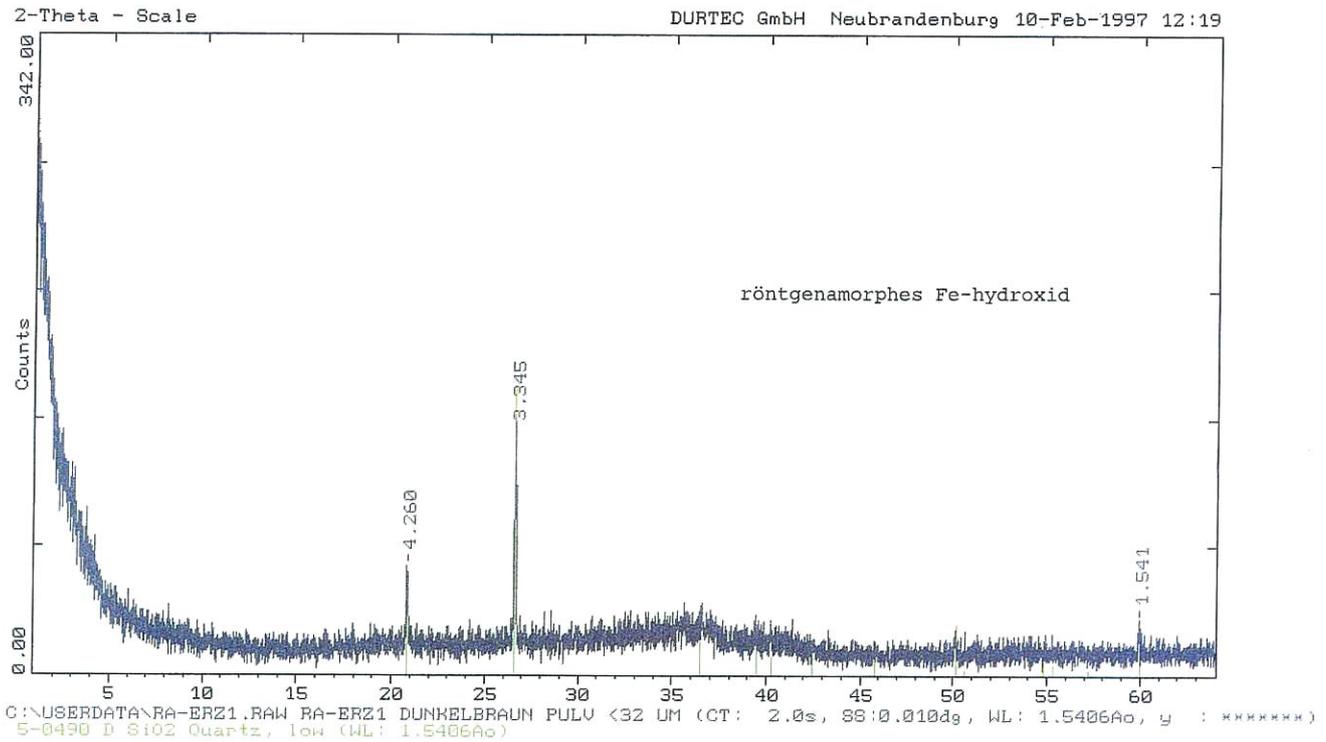


Abb. 1a Raseneisenerz, erdige Varietät, Sandhagen, dunkelbraun

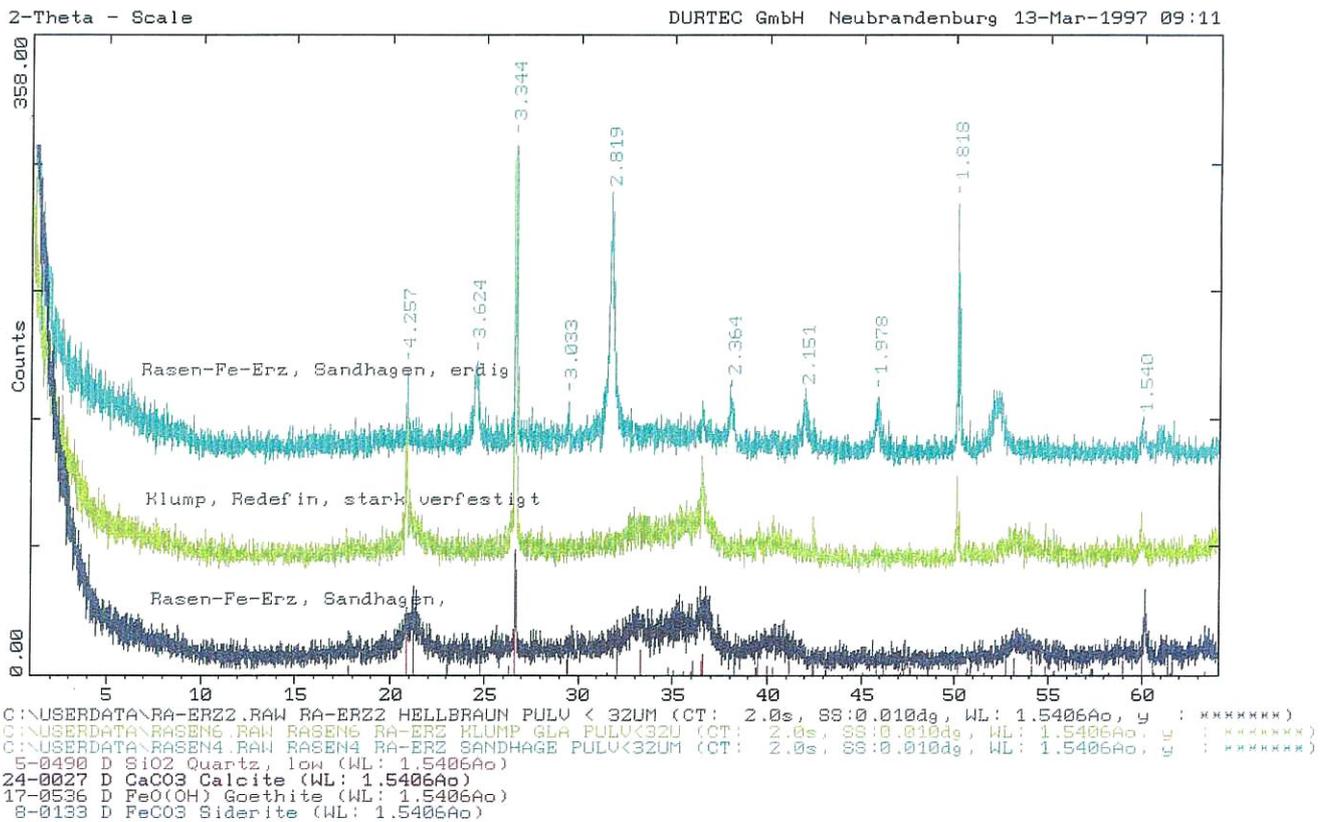


Abb. 1b

Raseneisenerz, schwach verfestigte Varietät, hellbraun bis ocker, Sandhagen, untere Kurve,

Raseneisenerz, Varietät Klump, stark verfestigt, Redefin, mittlere Kurve

Raseneisenerz, Varietät erdig, dunkelbraun, Sandhagen, obere Kurve

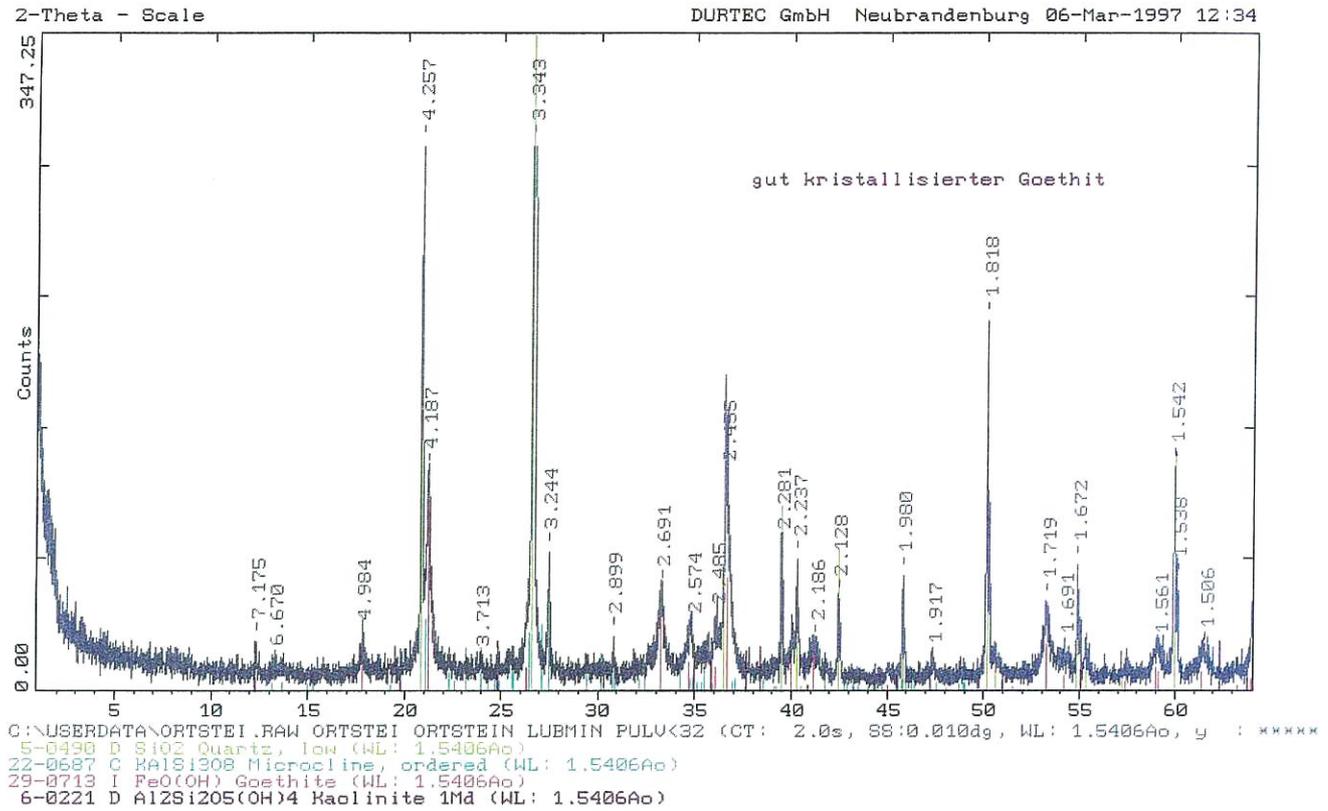


Abb. 2a Ortsteinkruste (Lubmin), braun

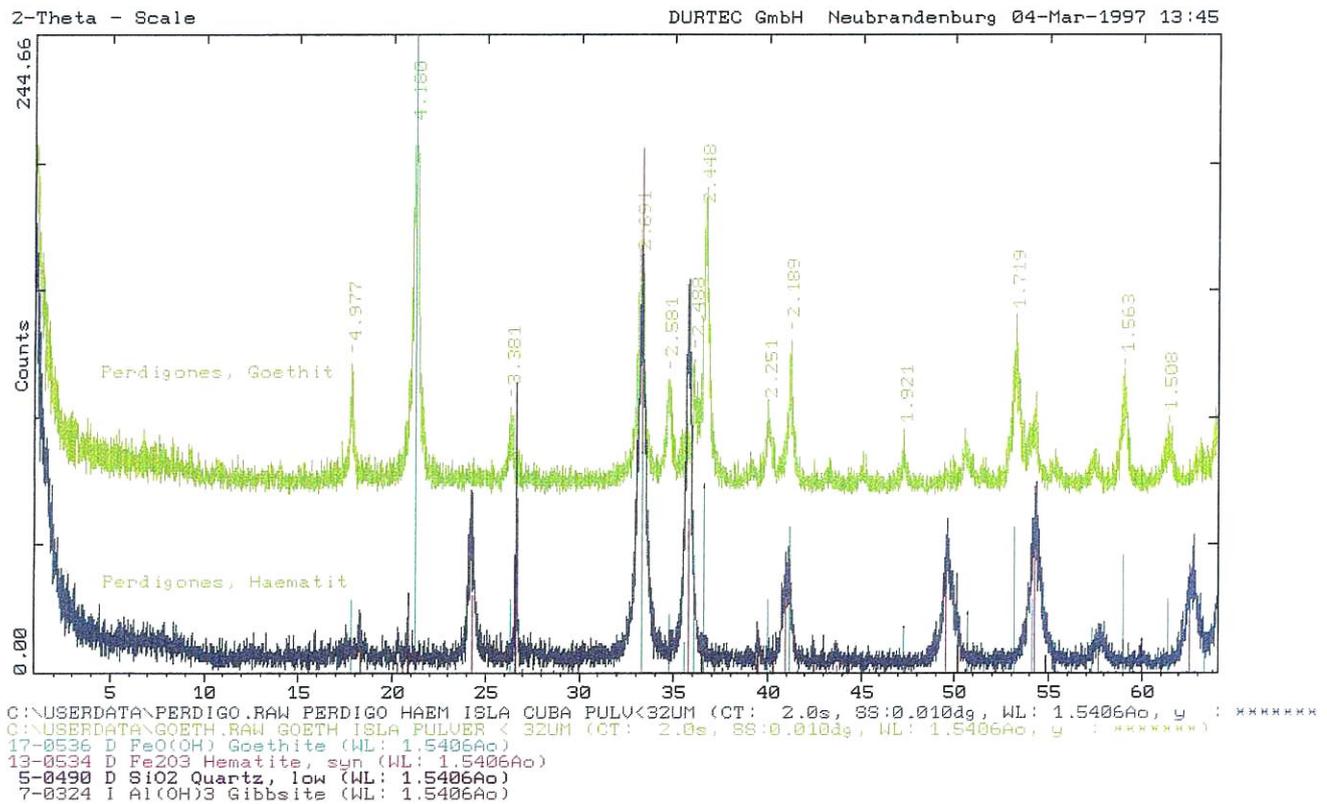


Abb. 2b Perdigoes, Goethit, obere Kurve; (konkretionäre Bildungen in Perdigoes, Hämatit, untere Kurve; tropischen Lateritböden, Isla de la Juventud, Kuba)

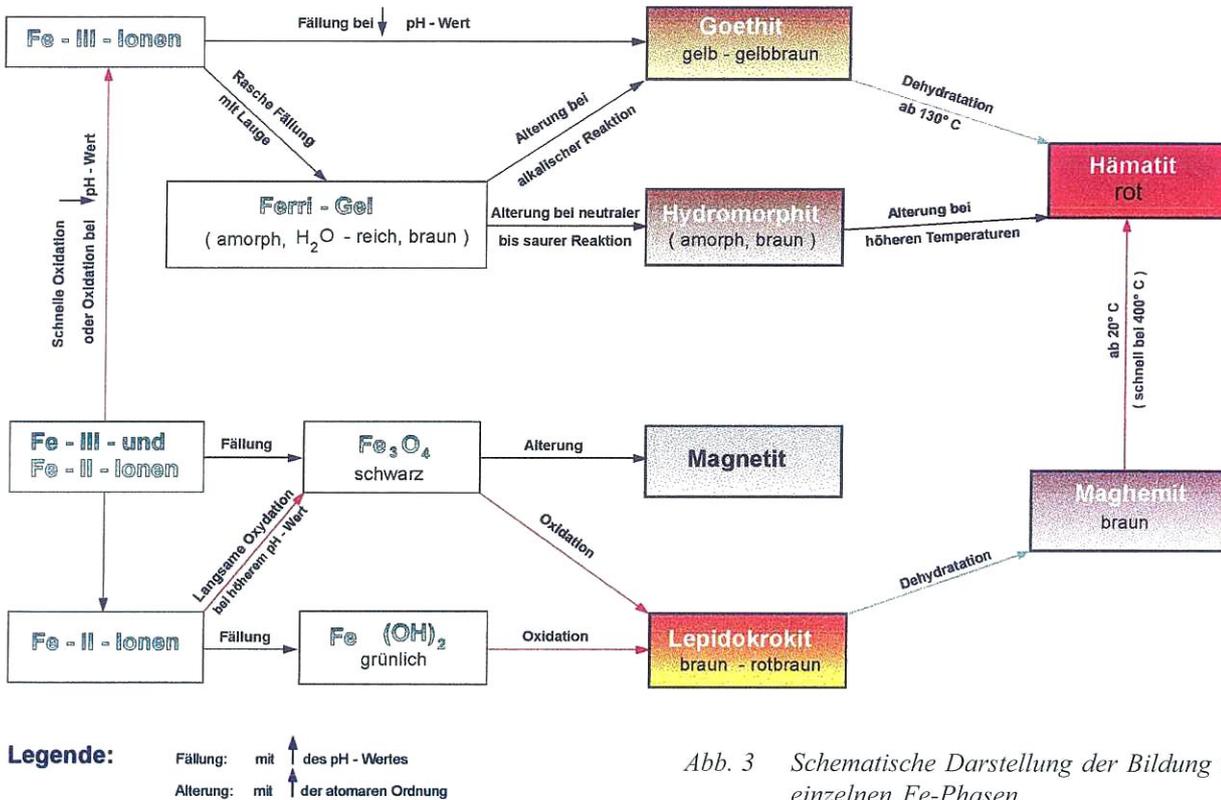


Abb. 3 Schematische Darstellung der Bildung der einzelnen Fe-Phasen

Aus dem Eh - pH - Diagramm (Abb. 4) der einfachen Eisenionen und Eisenhydroxide bei 25°C (HELGESON, BROWN et al. 1969) wird deutlich, dass die Fällung der Eisenhydroxide im wesentlichen bei positiven hohen Redoxpotentialen und pH-Werten < 7 (saure Lösungen, Redoxpotentiale von ca. -50 bis +800 mV) erfolgt. Die Löslichkeit von Fe(OH)<sub>2</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, Al(OH)<sub>3</sub> und SiO<sub>2</sub> mit den zugehörigen Gleichgewichtsgleichungen stellt die Abbildung 5 und Tabelle 1 nach BIERMANS & BAERT (1977), SILLEN & MARTELL (1964), STUMM & MORGAN (1971) dar.

Je nach Kristallinitätsgrad von Goethit-haltigen Proben ist das enthaltene Eisen unterschiedlich löslich und auch die spezifische Oberfläche schwankt zwischen 25 und 180 m<sup>2</sup>/g, wie die Tabelle 2 (TORRENT, SCHWERTMANN et al. (1991) zeigt.

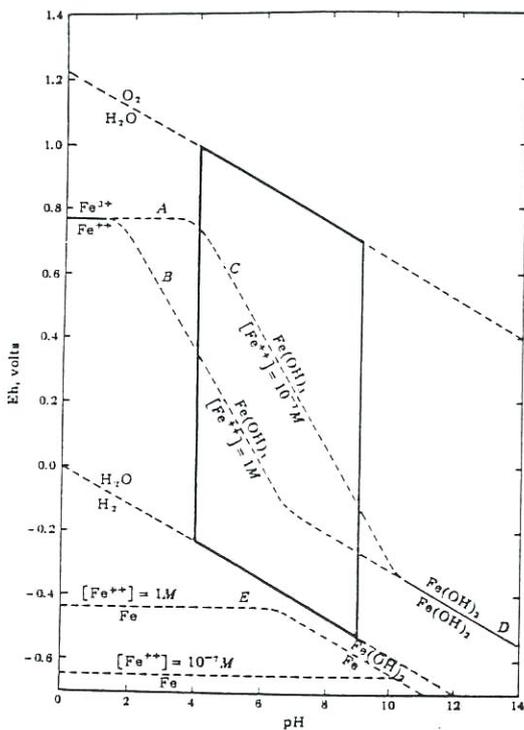


Abb. 4 Eh - pH - Diagramm der einfachen Ionen und Hydroxide des Eisens bei 25°C

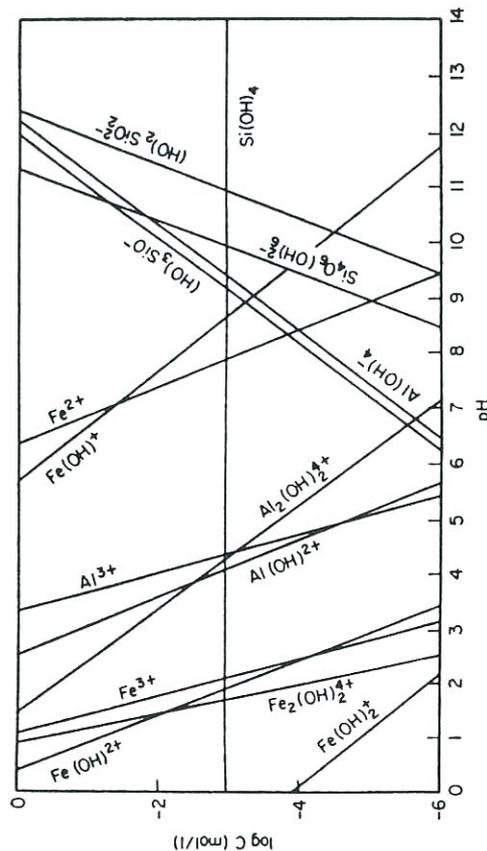


Abb. 5 Löslichkeitsdiagramm von Al(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> und verwandter Komplexe als Funktion des pH-Wertes bei 25°C

Tab. 1 Gleichgewichtsgleichungen bezüglich der Oxide oder Hydroxide des Aluminiums, Eisens und Siliziums in wässrigem Milieu bei 25°C (SILLEN &amp; MARTELL 1964, STUMM &amp; MORGAN 1971)

| Gleichgewichtsgleichungen   | Form                      | log K <sub>s</sub> | log K   |
|---|---------------------------|--------------------|---------|
| FeO(OH) <sub>(s)</sub> + H <sub>2</sub> O $\square$ Fe <sup>3+</sup> + 3OH <sup>-</sup>   | Goethite<br>amorphes FeOx | - 44,0<br>- 36,5   |         |
| Fe <sup>3+</sup> + H <sub>2</sub> O $\square$ Fe(OH) <sup>2+</sup> + H <sup>+</sup>   |                           |                    | - 2,60  |
| Fe(OH) <sup>2+</sup> + H <sub>2</sub> O $\square$ Fe(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup> + H <sup>+</sup>                                 |                           |                    | - 4,70  |
| 2Fe <sup>3+</sup> + 2H <sub>2</sub> O $\square$ Fe <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> <sup>4+</sup> + 2H <sup>+</sup>                   |                           |                    | - 2,85  |
| Fe(OH) <sub>2(s)</sub> $\square$ Fe <sup>2+</sup> + 2OH <sup>-</sup>  |                           | - 15,1             |         |
| Fe <sup>2+</sup> + H <sub>2</sub> O $\square$ FeOH <sup>+</sup> + H <sup>+</sup>  |                           |                    | - 7,15  |
| Al(OH) <sub>3(s)</sub> $\square$ Al <sup>3+</sup> + 3OH <sup>-</sup>  | Gibbsite<br>amorphes AlOx | - 33,51<br>- 29,92 |         |
| Al(OH) <sub>3(s)</sub> + H <sub>2</sub> O $\square$ Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup>                               |                           | - 12,4             |         |
| Al <sup>3+</sup> + H <sub>2</sub> O $\square$ Al(OH) <sup>2+</sup> + H <sup>+</sup>   |                           |                    | - 4,96  |
| 2Al <sup>3+</sup> + 2H <sub>2</sub> O $\square$ Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> <sup>4+</sup> + 2H <sup>+</sup>                   |                           |                    | - 8,06  |
| Al <sup>3+</sup> + 4H <sub>2</sub> O $\square$ Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup>                                   |                           |                    | - 20,30 |
| SiO <sub>2(s)</sub> + 2H <sub>2</sub> O $\square$ Si(OH) <sub>2</sub>   | Quarz<br>amorphes SiOx    | - 3,7<br>- 2,85    |         |
| Si(OH) <sub>4</sub> $\square$ H <sup>+</sup> + SiO(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |                           |                    | - 9,46  |
| SiO(OH) <sub>3</sub> <sup>-</sup> $\square$ H <sup>+</sup> + SiO <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>                       |                           |                    | - 12,56 |
| 4Si(OH) <sub>4</sub> $\square$ Si <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sup>+</sup> + 4H <sub>2</sub> O |                           |                    | - 12,57 |

Tab. 2 Ausgewählte Eigenschaften Goethit-reicher Proben

| Probe  | Ursprung                          | andere Minerale <sup>4</sup> | Fe <sub>d</sub> <sup>5</sup><br>g/kg | Al <sub>d</sub> <sup>5</sup><br>g/kg | Fe <sub>o</sub> <sup>5</sup><br>g/kg | Fe <sub>HCl</sub> <sup>5</sup><br>g/kg | spez. Oberfläche<br>m <sup>2</sup> /g |
|--------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Bou 1  | Bröckelboden <sup>1</sup>         | Qu, Ta                       | 325                                  | 9                                    | 5,7                                  | 370                                    | 110                                   |
| Bou 2  | Wurzelröhre <sup>1</sup>          | Qu, Ta                       | 390                                  | 17                                   | 5,9                                  | 410                                    | 107                                   |
| Bou 5a | Ferricret <sup>1</sup>            | Qu, Chr, Ta                  | 455                                  | 17                                   | 5,9                                  | 410                                    | 107                                   |
| Tib 3  | Ferricret <sup>1</sup>            | Gb, Chr                      | 280                                  | 57                                   | 0,6                                  | 295                                    | 78                                    |
| Moi 1  | Ferricret <sup>1</sup>            | Qu, Chr, Ta                  | 360                                  | 9                                    | 3,8                                  | 385                                    | 55                                    |
| 388    | Seeerz (Kruste) <sup>2</sup>      | Fh                           | 465                                  | 0                                    | 144,5                                | 485                                    | 182                                   |
| 47A    | Seeerz (pisolitisch) <sup>2</sup> | Fh                           | 435                                  | 22                                   | 14,4                                 | 480                                    | 123                                   |
| K1     | Bodenkonkretion <sup>3</sup>      | n.d.                         | 490                                  | 0                                    | 34,4                                 | 515                                    | 37                                    |
| Fe 29  | Bröckelboden                      | n.d.                         | 440                                  | 12                                   | 1,0                                  | 485                                    | 53                                    |
| Fe 8b  | Ferricret                         | Qu                           | 485                                  | 2                                    | 3,3                                  | 545                                    | 25                                    |

<sup>1</sup> - SCHWERTMANN & LATHAM (1986) <sup>2</sup> - SCHWERTMANN et al. (1987) <sup>3</sup> - SCHWERTMANN (1988)

<sup>4</sup> - Qu - Quarz, Ta - Talk, Chr - Chromit, Gb - Gibbsite, Fh - Ferrihydrit, n.d. - nicht bestimmt

<sup>5</sup> - Fe<sub>d</sub>, Al<sub>d</sub> = CBD\* - lösliches Fe, Al; Fe<sub>o</sub> = Oxalat - lösliches Fe; Fe<sub>HCl</sub> = HCl - lösliches Fe,

\* CBD = Citrat-Bikarbonat-Dithionit

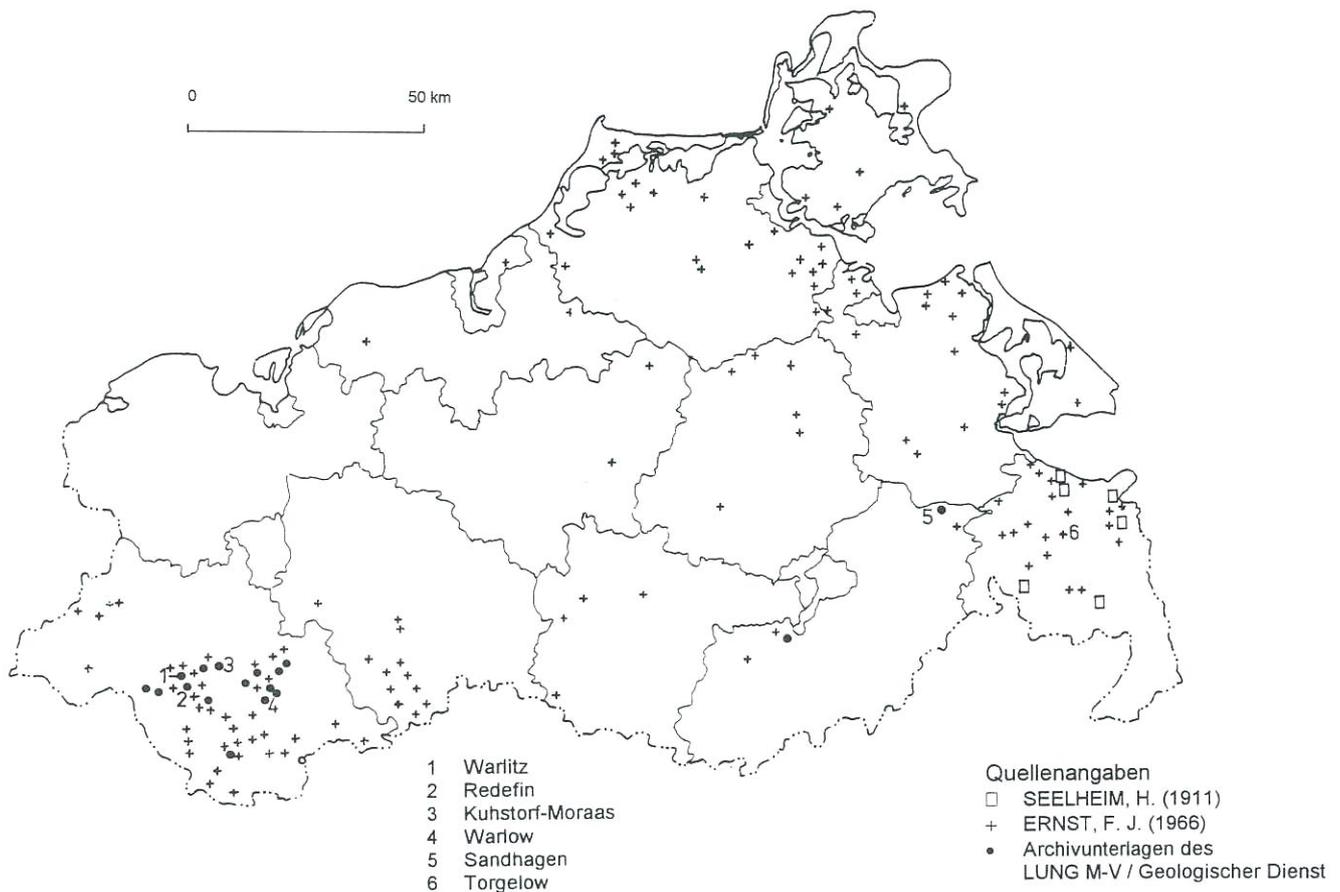


Abb. 6 Raseneisenerzvorkommen und -fundpunkte in Mecklenburg-Vorpommern

Alle Übergänge zwischen röntgenamorphen Zuständen der Eisenoxihydrate und -hydroxide kommen in Abhängigkeit von der Alterung und damit der Dauer von physikochemischen Zuständen vor (Abb. 1, 2). Bemerkenswert ist, dass die konkretionären Fe-Hydroxide der tropischen lateritischen Verwitterungskruste sowohl in Form von Hämatit bzw. auch als sehr gut kristallisierter Goethit auftreten (Abb. 2b). Ortsteinkrusten der Podsole bestehen meist aus relativ gut kristallisiertem Goethit, der detritische Bodenbestandteile (Quarz, Kalzit, Tonminerale) verkittet (Abb. 2a).

Raseneisenerze werden durch BANDL (1937) und ERNST (1966) in vier Gruppen unterteilt:

1. erdiges Erz (Brinker, Rotfien)
2. eigentlicher Raseneisenstein oder Klump
3. sandiges Erz, Eisensand
4. erbsengroße Klümpchen, loser Graupenstein.

Die an Raseneisenerzproben aus Mecklenburg-Vorpommern durchgeführten röntgenographischen Untersuchungen (Abb. 1a,b) belegen die Dominanz von oft amorphen bis schlecht kristallisierten Fe-Hydroxiden (lockere, erdige Varietäten - Ocker oder Xanthosiderit), während der zum Hausbau verwendete sehr feste Klump aus stark fehlgeordnetem Goethit und deutlich Quarz besteht. Manchmal enthalten die Raseneisenerze auch Einschlüsse von Vivianit und Siderit. Im Liegenden der Profile wird oft eine Vivianitkonzentration beschrieben (BANDEL 1937). Zusätzlich zu den Fe-Mineralen treten detritische Minerale der obersten Schich-

ten des Alluviums (Böden, Umlagerungshorizonte) wie Quarz, Feldspat, Kalzit und geringe Anteile von Tonmineralen auf.

### 3. Vorkommen

Die aus der Literatur und den Archivunterlagen des LUNG, Geologischer Dienst Mecklenburg-Vorpommern bekannten Raseneisenerzvorkommen und deren Fundpunkte sind auf der Karte der Abbildung 6 übersichtsmäßig eingezeichnet. Es wird deutlich, dass sich die Fundstellen in SW-Mecklenburg (Griese Gegend) und in der Uecker-münder Heide häufen. Für diese beiden Gebiete erfolgten auch spezielle Bearbeitungen durch BANDEL (1937) und SEELHEIM (1911).

Einen Schichtenschnitt durch das Raseneisenerzvorkommen Sykau zeigt die Abbildung 7 und ein in einer Schürfundgrube freigelegtes Raseneisenerzprofil bei Sandhagen/Landkreis Mecklenburg-Strelitz wird in der Abbildung 8 dargestellt.

1952 wurden in SW-Mecklenburg (Raum Boizenburg - Hagenow - Grabow - Dömitz) geologische Untersuchungen zum Nachweis von Raseneisenerz durchgeführt. Dabei wurden Flächen in einer Größe von 28,5 km<sup>2</sup> untersucht, von denen insgesamt 8,4 km<sup>2</sup> als fündig ausgewiesen wurden. Im Ergebnis der geologischen Arbeiten wurden durch den Objektbearbeiter GEHL (1952) 15 Gebiete für weitere Spezialuntersuchungen vorgeschlagen.

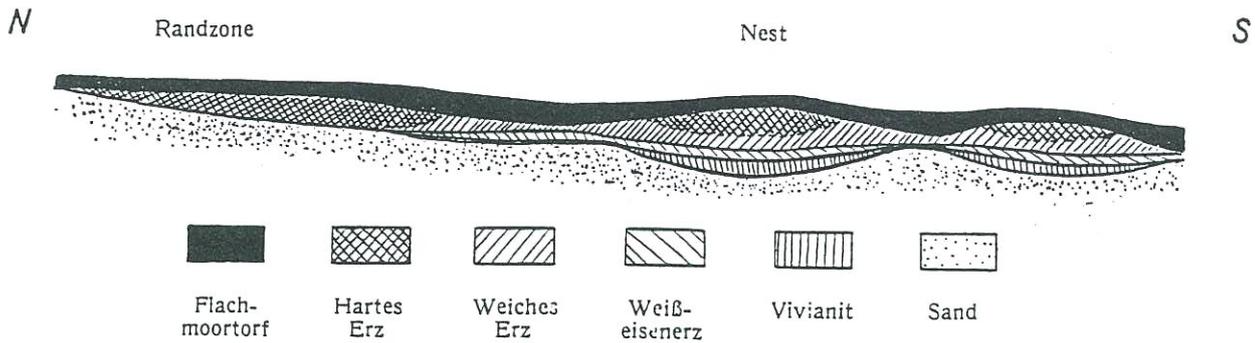


Abb. 7 Schichtenschnitt durch das Raseneisenerzvorkommen Sykau (BANDEL 1937)

1977 wurden die Raseneisenerzlagerstätten Warlitz (20 ha) und Niendorf - Warlow (6 ha) als Bergbauschutzgebiete durch den damaligen Bezirkstag Schwerin festgesetzt. Damit wurden diese Flächen für eine künftige Nutzung gesichert. Die nach der Wende auf diesen Flächen begonnene landwirtschaftliche Nutzung hat eine künftige Raseneisenerzgewinnung in Frage gestellt.

#### 4. Nutzung

Die Roherzgewinnung und Verhüttung von Raseneisenerzen in den sogenannten Eisenhämmern Mecklenburgs und Vorpommerns sowie die Verwendung als Hausbaumaterial (BOCK 1987, BANDEL 1937) sind seit vielen Jahrzehnten ohne Bedeutung und müssen als historische Nutzungen bewertet werden (Abb. 8, Tab. 3).

Die einzige bekannte Nutzung von Raseneisenerz aus dem Tagebau Kuhstorf-Moraas bei Hagenow bestand in der Bereitstellung von Material zur Trockenentschwefelung von

Kesselanlagen und Gasleitungen in allen Energiekombinaten der DDR und kam 1990 zum Erliegen (Tab. 3). Weitere Applikationen sind nicht bekannt.

Interessant für seinen Einsatz als Adsorbentmaterial ist die sehr geringe primäre Kristallitgröße der Eisenoxihydrate, ihre damit erheblich große spezifische Oberfläche sowie ihre Fähigkeit zur Sorption von z. B. P, V, S, Mn, Si, Al, Ba, Ca, u.a., was Raseneisenerze für die Entwicklung von Mischadsorbentern interessant macht. Für eine Verwendung als Adsorbentmaterial müssen die Raseneisenerze nach der Gewinnung getrocknet und auf eine reaktive Sekundärkorngröße vermahlen werden. Die resultierenden Pulver können dann allein oder mittels verschiedener Bindemittel wieder in feste Granalien unterschiedlichster Formen und Körnungen überführt werden, wodurch sie in Schüttungsschichtfiltern u.ä. einsetzbar werden. Insbesondere die von TORRENT, SCHWERTMANN et al. (1991) durchgeführten Untersuchungen zur Phosphoradsorption an Goethitreichen Materialien ergeben Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft (Phosphatfixierung und gesteuerte P-

Tab. 3 Applikationen und Anforderungen an Raseneisenerze

| Rohstoff      | Spezielle Applikationen  | Rohstoffanforderungen  |
|---------------|--|--|
| Raseneisenerz | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. metallurgische Industrie: als historischer Rohstoff in Mecklenburg und Vorpommern für Eisengießerei, z.B. Eisenhammer in Neustadt, 1769 stellte die Eisenhütte Dömitz ihren Betrieb ein, heute aus Kostengründen bedeutungslos;</li> <li>2. Bauwesen: als Baustoff im Hausbau anstelle von Feldsteinen, historische Verwendung in W-Mecklenburg (Ludwigsluster Raum), Klumphäuser in Loosen, Bandenitz, Büdne rei in Glaisin und Grebs, Friedhofstor und Teile der Stadtmauer von Ludwigslust;</li> <li>3. Katalysatoren/Adsorber (Tagebau im Kreis Hagenow, zur Trockenentschwefelung von Kesselanlagen und Gasleitungen in allen Energiekombinaten der DDR verwendet)</li> </ol> | <p>Fe-Gehalt &gt; 35%</p> <p>verfestigte Varietäten</p> <p>große spezifische Oberfläche (meist &gt; 100 m<sup>2</sup>/g)</p> |



Abb. 8  
Raseneisenerzprofil bei Sandhagen/Landkreis  
Mecklenburg-Strelitz

Pflanzenverfügbarkeit in Böden) und in der Umweltschutztechnik (Phosphatfixierung in unverfestigten Seesedimenten, Behandlung von eutrophierten Gewässern) erkennen. Eine niedersächsische Umweltechnikfirma bietet seit kurzem einen eisenhydroxidhaltigen Mischadsorber am Markt an.

#### Zusammenfassung

Raseneisenerz stellt eine Anreicherung von Eisenhydroxiden (Goethit, Lepidokrokit) dar, die durch Ausfällung des in Huminsäuren gelösten Eisens entstehen. Diese Reaktion verläuft in Niederungsgebieten in Bereichen stauender Nässe.

Raseneisenerz ist in früheren Jahrhunderten als einheimischer Rohstoff für die Eisenherstellung verwendet worden. Die letzte Nutzung bestand in der Materialbereitstellung zur Trockenentschwefelung von Kesselanlagen und Gasleitungen. Sie kam 1990 zum Erliegen. Wegen der sehr geringen primären Kristallitgröße der Eisenoxihydrate ergeben sich Einsatzmöglichkeiten als Adsorbiermaterial in der Landwirtschaft und Umwelttechnik.

#### Summary

Meadow iron ore represents an enrichment of iron hydroxides (goethite and lepidocrocite), which are formed by precipitation of iron dissolved by humic acids.

This reaction takes part in lower regions with areas of damming up wetness. The x-ray investigations of samples of meadow iron ores of Mecklenburg-Vorpommern show a dominant occurrence of amorphous or bad crystallized iron hydroxides by the earthy and loose varieties, while the very hard and dense so called "Klump" consists of strong disordered goethite and quartz.

Meadow iron ore was used in former centuries as an domestic raw material for the production of metallic iron. The last use was as a material for dry desulfurication of cauldron installations and gas pipelines. This use was finished in 1990. Because the very small grain size of the iron hydroxides primary crystals there are possibilities of use as adsorbens in the agriculture and environmental technique.



Abb. 9 Friedhofsmauer und Wohnhaus in Wöbbelin, erbaut aus Klump

Die an Raseneisenerzproben aus Mecklenburg-Vorpommern durchgeführten röntgenographischen Untersuchungen belegen die Dominanz von oft amorphen bis schlecht kristallisierten Fe-Hydroxiden bei den lockeren, erdigen Varietäten, während der zum Hausbau verwendete sehr feste Klump aus stark fehlgeordnetem Goethit und deutlich vorhandenem Quarz besteht.

## Literatur

- BANDEL, W. (1937): Die alluvialen Eisenerze in SW-Mecklenburg und ihre Entstehung. – Beilage zu Heft 46, N. F. 11, Mitteilungen aus der Mecklenburgischen Geologischen Landesanstalt, S. 1-13, Rostock
- BIERMANS, V. & L. BAERT (1977): Selective extraction of the amorphous Al, Fe and Si oxides using an alkaline iron solution. – Clay Minerals 12, S. 127-135, London
- BOCK, S. (1987): Bauen mit Klump. – Schweriner Blätter, 7, Schwerin
- v. BÜLOW, K. (1949): Entstehung der alluvialen Eisenerzlagerstätten Mecklenburgs. – Archiv für Lagerstättenforschung, 79, Berlin
- ERNST, F. J. (1966): Die vorgeschichtliche Eisenerzeugung. Mitt. des Bezirksfachausschusses für Ur- und Frühgeschichte, 14, S. 1-93, Neubrandenburg
- GEHL, O. (1952): Bericht über die Ergebnisse der Kartierung der Raseneisenerzvorkommen in SW-Mecklenburg. – Staatl. Geol. Komm. Zweigstelle Schwerin, Rostock (unveröff.)
- GEORGI, J. G. (1778): Nachricht von dem Eisenwerke bey Torgelow in Vorpommern. – (Aus: D. G. Schrebers neuen Sammlg. verschiedener in die Cameral-Wissenschaften einschlagender Abhandlungen etc. 1762 Theil I, S.147-160) Abgedruckt in „Gesterdings Pommersch. Magazin“ IV., Rostock
- HELGESON, H. C., BROWN, T. H. & R. H. LEEPER (1969): Handbook of theoretical activity diagrams depicting chemical equilibria in geologic systems involving an aqueous phase at one atm and 0 - 300°C. – Freeman Cooper & Comp., 253 S., San Francisco
- SEELHEIM, H. (1911): Die Ueckermünder Heide. – XII. Jahresbericht der Geographischen Ges. – S. 1-193, Greifswald
- SILLEN, L. G. & A. E. MARTELL (1964): Stability constants of metal ion complexes. – Chemical Society, London
- STUMM, W. & J. J. MORGAN (1971): Aquatic chemistry. – New York (Wiley)
- SCHEFFLER, F., WELTE, E. & F. LUDWIG (1958): Zur Frage der Fe-Oxid-Hydrate im Boden. – Chemie der Erde 19, S. 31-64, Jena
- SCHWERTMANN, U. (1988): Some properties of soil and synthetic iron oxides. – In: J. W. STUCKI et al. (ed.) Iron in soils and clay minerals, S. 203-250. – Nato Advanced Inst., Bad Windsheim, Dordrecht (Reidel Publishing Co.)
- SCHWERTMANN, U. & M. LATHAM (1986): Properties of iron oxides in some New Caledonian oxisols. – Geoderma 39, S. 105-123, Amsterdam
- SCHWERTMANN, U., CARLSON, L. & E. MURAD (1987): Properties of iron oxides in two finnish lakes in relation to the environment of their formation. – Clays Clay Miner. 35, S. 297-304, Oxford
- TORRENT, J., SCHWERTMANN, U. & V. BARRON (1991): Phosphate adsorption by natural goethite-rich materials. – Proc. 7th. EUROCLAY Conf. Dresden '91, S. 1095-1100, Greifswald
- Anschrift der Autoren:  
Dr. H. Zwahr & Dr. habil. J. Schomburg  
DURTEC GmbH, Neubrandenburg  
Dipl.-Geol. K. Granitzki  
Landesamt für Umwelt, Naturschutz u. Geologie, Geologischer Dienst, Außenstelle Neubrandenburg  
Dipl.-Ing. H.-J. Zander  
Landesamt für Umwelt, Naturschutz u. Geologie, Geologischer Dienst, Schwerin