

Die Verwahrung der Gruben des Kupferschieferbergbaus im Revier Sangerhausen

Martin Spilker, Sangerhausen (2016)

1. Vorbemerkung

Bekanntlich ging am südlichen und südöstlichen Rand des Harzes in den Revieren Mansfelder Mulde und Sangerhausen zwischen etwa 1200 und 1990 ein intensiver Abbau auf Kupferschiefer um (**Abb. 1**).



Abb. 1: Übersichtskarte

Im Zuge der Bergbautätigkeit wurden im Revier Sangerhausen die in der **Abb. 2** genannten Metallmengen gefördert. Die in der Erde verbliebenen Reste zeigt **Abb. 3**

	Mansfelder Mulde	Revier Sangerhausen	Summe
Erz [Mill. t]	82	27	109
Kupfer [Mill. t]	2	0,6	2,6
Silber [t]	11200	3000	14200

Abb.2: Förderzahlen

Durch diese Abbautätigkeit wurden, neben hunderten von Schächten und einer Reihe von Stollen unterschiedlicher Länge

- in der **Mansfelder Mulde** zwischen dem Ausstrich des Kupferschiefers am Harzrand (etwa +300 m NN) und der 14. Sohle (-788 m NN) rund 150 km² Flözfläche abgebaut und allein unterhalb des Schlüsselstollenniveaus (+72 m NN) rund 44 Mill m³ bergmännisch geschaffener Hohlraum hinterlassen.

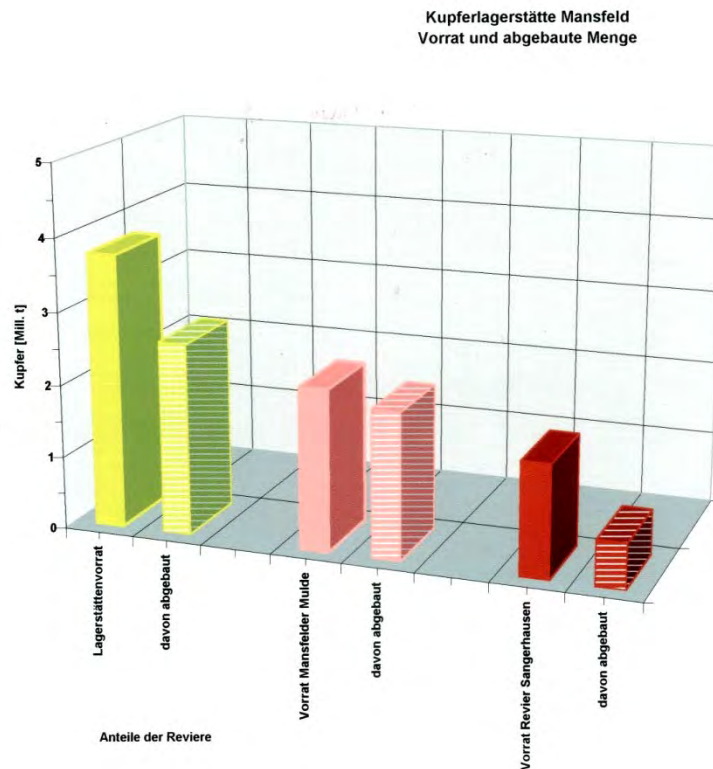


Abb. 3: Vorräte und Reste in der Lagerstätte

- im **Sangerhäuser Revier** blieben in einem Gebiet mit einer Ausdehnung von ca. 18 x 20 km in Teufenlagen zwischen etwa +300 m NN am Ausgehenden und der 12. Sohle des Grubenfeldes Niederröblingen (- 750 m NN) etwa 31 km² abgebaute Flözfläche und unterhalb des Seegen-Gottes-Stollns (+ 142 m NN) rund 12 Mill. m³ bergmännisch entstandener Hohlraum zurück.

Diese bergmännische Tätigkeit stellte zwangsläufig einen massiven Eingriff in den natürlichen Gebirgsverband dar und er wirkte sich auch auf den wasserlöslichen Teil des Gebirges im Hangenden der Lagerstätte aus. Die Folge waren von Anbeginn an erhebliche Zuflüsse zu den Gruben und der Kampf gegen das Wasser.

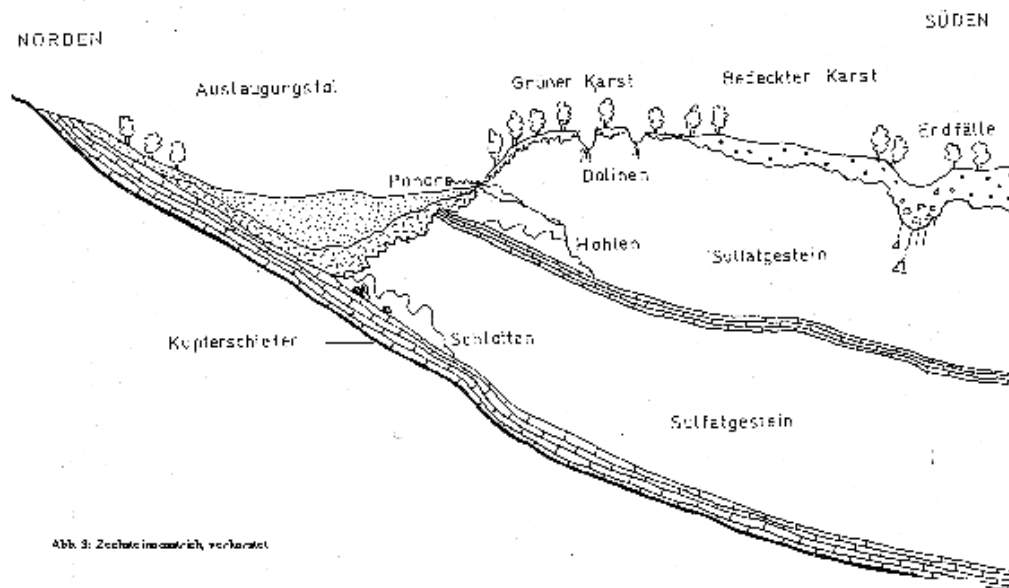


Abb. 4: Situation am Ausgehenden

Die Ursachen für das Auftreten und die Entwicklung der Zuflüsse liegen im Bereich des Ausgehenden, wo wegen des flachen Einfallens der Schichten (**Abb. 4**) das gesamte Zechsteinprofil in breitem Ausstrich mehr oder weniger schutzlos den Atmosphärien ausgesetzt ist. Hier hatte und hat das Wasser als lösendes Medium ideale Infiltrationsmöglichkeiten. Es löst dabei insbesondere die subrodierbaren Gesteinskomponenten im Zechstein (**Abb. 5**), schafft Massedefizit in Form von Hohlräumen und führt die gelösten Stoffe in der Regel im Einfallen der Schichten ab. Diese Vorgänge spielen sich in breiter Front ab.

Stratigraphie	Mächtigkeit [m]	Lage von Höhlen oder Schlotten
Buntsandstein		
Auslaugungsreste	ca. 25	
Haupt-Anhydrit	50	Höhle Heimkehle
Grauer Salzton	6	
Sangerhäuser Anhydrit	25	Schlote Seegen-Gottes-Stolln
Stäufurt-Steinsalz	0 bis 300	Zerstörungen an der Salzoberfläche bzw. an der Salzverbreitungsgrenze sind die Ursache für bruchlose Senkungen der Tagesoberfläche
Basal-Anhydrit	2	
Stinkschiefer	8	
Oberer Werra-Anhydrit	25	Höhle Questenberg
Werra-Steinsalz	0 bis 12	Schlote Seidel-Schacht
Unterer Werra-Anhydrit	30	Schlotten W-Schacht, Ottilie-Schacht, Barbarossahöhle, Numburger Höhle, etwa 35 bekannte Objekte
Zechsteinkalk	3 bis 5	
Kupferschiefer	0,4	
Weißliegendes	1	
Rotliegendes		

Abb. 5: Das Zechsteinprofil

Modifiziert wird dieser Vorgang der großflächigen Zerstörung der wasserlöslichen Schichtglieder durch geologische Einflussgrößen wie

- Schicht- und Faziesgrenzen
- tektonisch stärker beanspruchte Bereiche,

denn im Umfeld der hydrodynamisch wirksamen tektonischen Störungen und an Verbreitungsgrenzen leicht löslicher Gesteine (z. B. Steinsalz) wirken diese Lösungsprozesse besonders intensiv.

Am gesamten Harzrand entstand so in Abhängigkeit von der Ausstrichbreite eine intensiv bis total verkarstete Zone mit den bekannten Erscheinungsformen, wie teilweiser bis totaler Zerstörung von Schichtgliedern des Gesteinsverbandes, Höhlen (Schlotten), Erdfällen, Bachschwinden und dergleichen mehr (**Abb. 6**).

In Richtung des Schichteinfallens reicht diese Zone etwa bis zum Einsetzen des auf dem Zechstein aufliegenden Buntsandsteins. Dessen Basisschichten sind tonig ausgebildet und schützen so den Zechstein von oben. An dieser Grenze liegt auch etwa die Front der aktiven Auslaugung der anhydritischen Gesteine und die Linie der am weitesten vom Ausgehenden entfernt entstandenen Erdfälle.

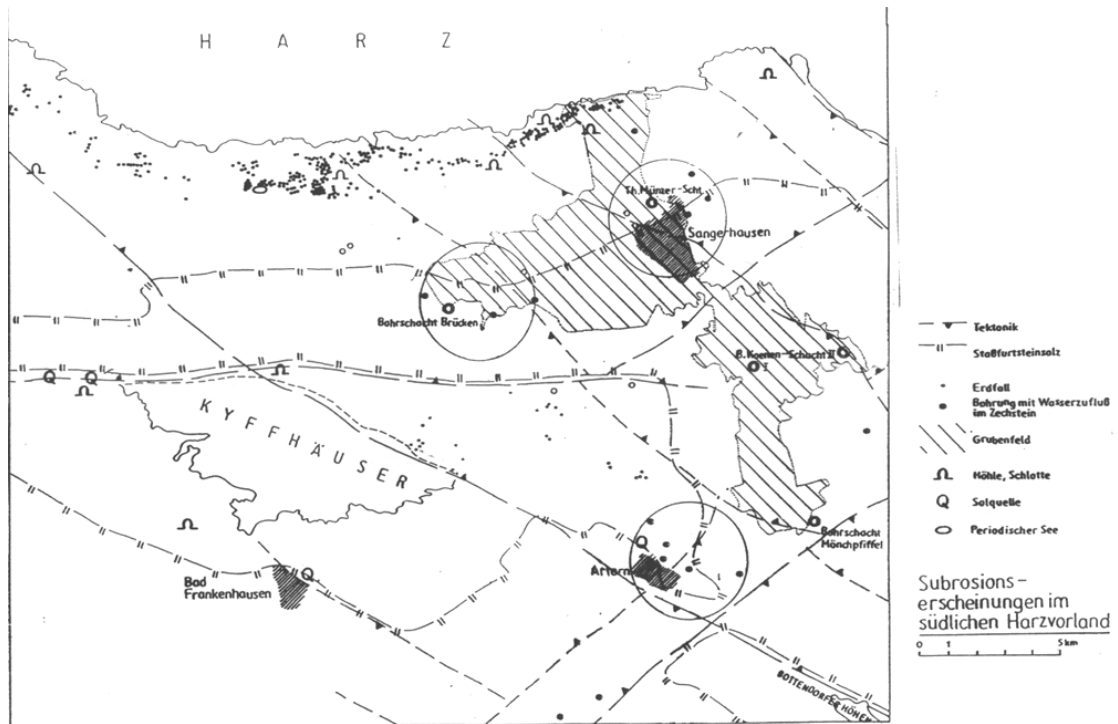


Abb. 6: Karte der Subrosionserscheinungen im Revier Sangerhausen

Noch weiter vom Ausgehenden entfernt liegen an den Verbreitungsgrenzen der Steinsalzhorizonte weitere Bereiche intensiverer natürlicher Gesteinszerstörung, über denen an der Tagesoberfläche durch unterschiedlich kräftige Senkungen die Intensität dieser Auflösung erkennbar ist. Hier erhalten infolge dieser Vorgänge die Wässer ihren Salzgehalt, der alle Schattierungen bis zur Sättigung mit Kochsalz durchlaufen kann. An diese Bereiche sind in der Regel die Zuflussschwerpunkte unter Tage und die großen Wassereinbrüche in den Bergbau, aber auch die Anzeichen der in geologischen Zeiträumen abgelaufenen natürlichen Gesteinszerstörung im Untergrund, wie oberflächennahe Faulschlammbildungen (Bereich Pfingstgraben in Sangerhausen) oder tief eingeschnittene Täler (Gonna im Bereich Mafa oder im Bereich der Engelsburg) gebunden.

Wegen ihrer Herkunft vom Ausgehenden her sind die Zuflüsse unter Tage auch mehr oder weniger deutlich niederschlagsabhängig (Abb. 7).

Die Feldesteile in der Nähe des Ausgehenden des Zechsteins sind generell als hydrogeologisch gefährdet eingestuft.

Die dem Bergbau zusitzenden Wässer wurden zunächst mit einfachen Mitteln abgeführt. Im Zuge der Entwicklung des Bergbaus wurden dann Stollen als horizontale Verbindung zum Vorfluter an der Tagesoberfläche aufgefahen. Sie förderten vorwiegend ein hartes Süßwasser, das vielfach auch als Trinkwasser genutzt wurde (Abb. 8, Abb. 9).

Im Sangerhäuser Revier war wegen der Lage nahe dem Ausgehenden und der fehlenden Steinsalzbedeckung das Grubenfeld des Schachtes Sangerhausen von Anfang an als hydrogeologisch gefährdet eingestuft.

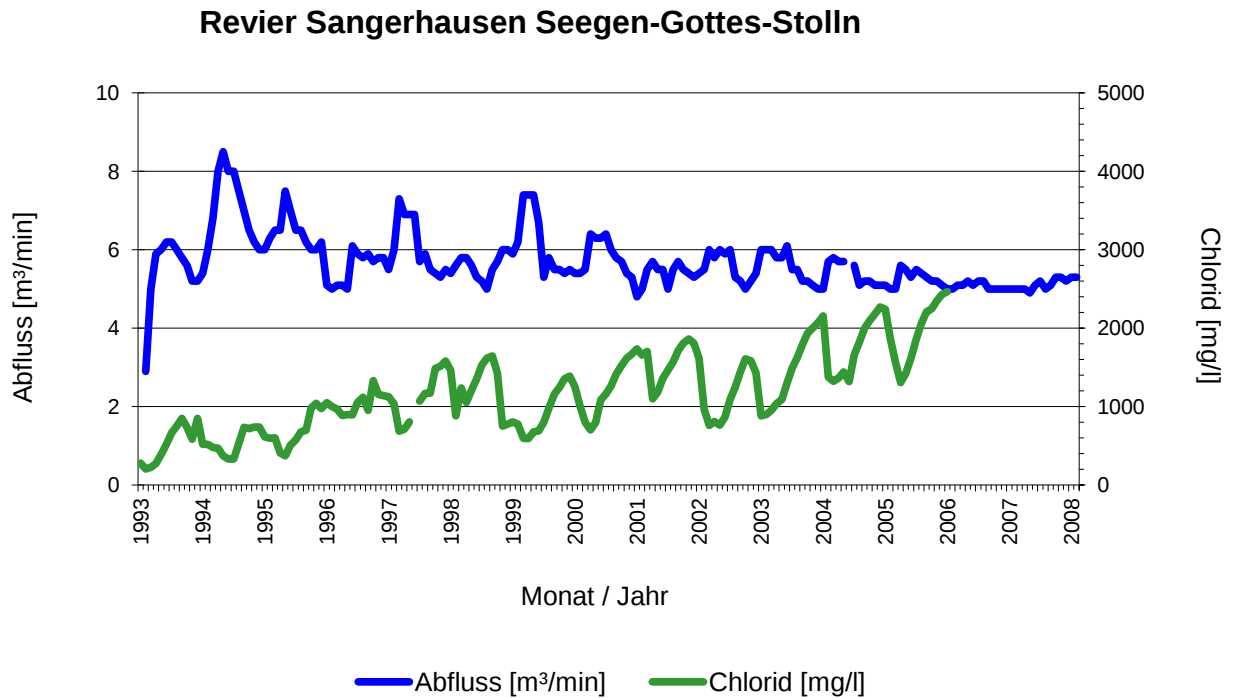


Abb. 7: Abfluss des Seegen-Gottes-Stollns

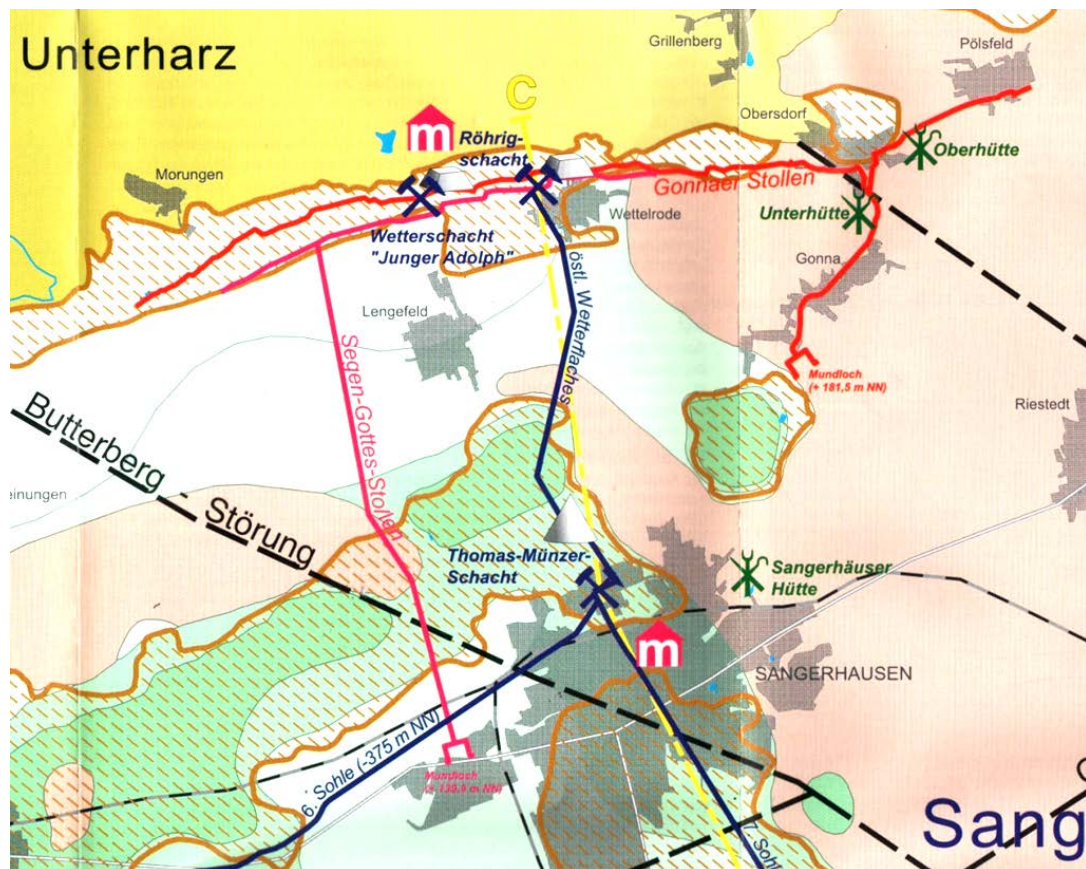


Abb. 8: Lage S.-Gottes- und Gonnaer Stollen

Nach 1945 begann mit dem Teufen der Schächte in Sangerhausen (Thomas Münzer), Niederröblingen (Bernard Koenen 1) und Nienstedt (Bernard Koenen 2) die Entwicklung des Abbaus in größere Teufen und damit die Gefahr neuer Wasserzuflüsse. Der TMS erhielt deshalb in der 5. Sohle, oberhalb von der sich das als hydrogeologisch gefährdet eingestufte Nordfeld erstreckte, eine leistungsfähige Wasserhaltung. Auch

der Schacht in Niederröblingen besaß auf der 8. Sohle eine Wasserhaltung. Sie diente aber fast ausschließlich der Abförderung des Rücklaufs der technologischen Wässer.



Abb. 9: Das Mundloch des Seegen-Gottes-Stollns

Beide Hauptwasserhaltungen förderten zunächst direkt in die Vorfluter. Erst in den Jahren nach 1980 mussten infolge der Zuflussentwicklung in der Grube Sangerhausen erhebliche Anstrengungen zur Verstärkung der Wasserhaltung des Schachtes Sangerhausen unternommen werden. Die Zuflüsse erreichten nach längerem Verharren bei etwa $2 \text{ m}^3/\text{min}$ allmählich höhere Zuflusswerte und bis 1988 im Westfeld mit Mengen von über $30 \text{ m}^3/\text{min}$ den Höhepunkt (**Abb. 10**). Dies führte Ende 1988 zur vorzeitigen Aufgabe des Abbaus im Westfeld und zur Abkapselung dieses Teilfeldes durch 6 Dämme, die zwischen der 7. Mittelsohle (-399 m NN) und der 3. Sohle (-118 m NN) errichtet wurden. Aus den Standortbedingungen ergab sich die Notwendigkeit, sie für Drücke von etwa 7 MPa (Niveau Vorfluter über Tage bzw. im Karstwasserleiter) auszulegen (**Abb. 11**).

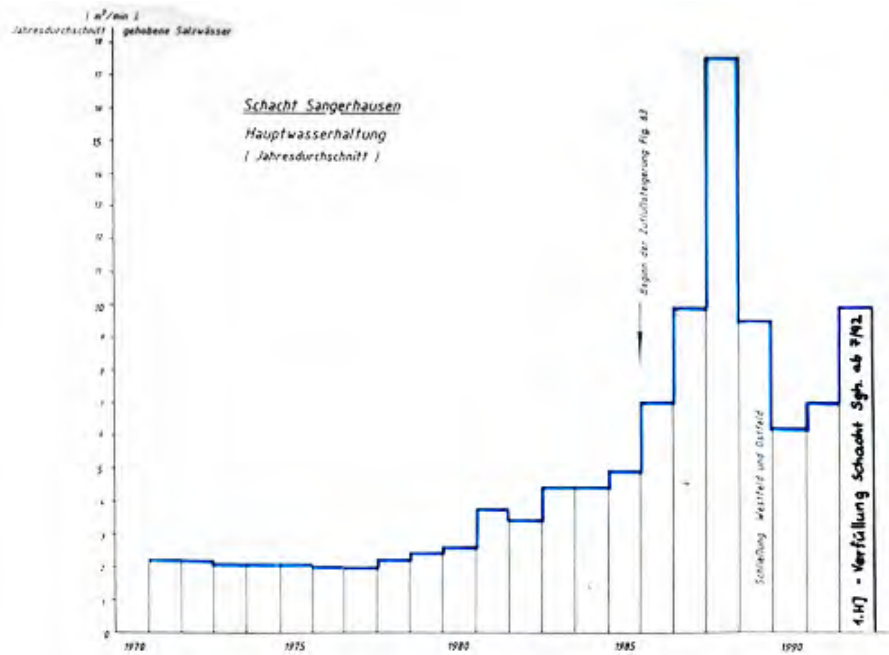


Abb. 10: Die Zuflussentwicklung im Thomas-Münzer-Schacht

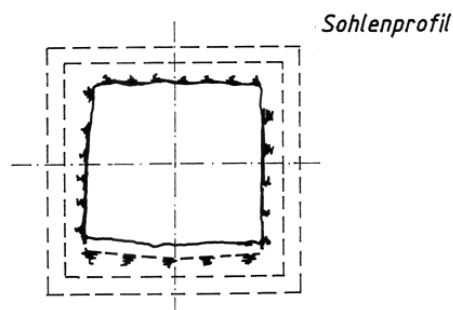
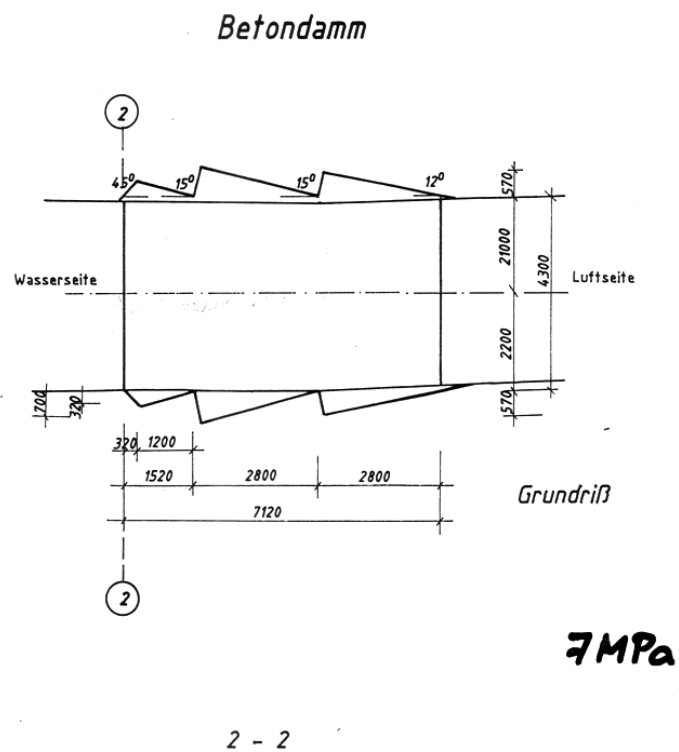


Abb. 11: Darstellung eines Betondammes

Im Zuge der Untersuchungen zu den Ursachen dieser hohen Zuflüsse wurden entlang der Verbreitungsgrenze des Staßfurt-Steinsalzes zwischen Riestedt im Osten und Hohlstedt im Westen eine Reihe von Bohrungen niedergebracht und zu Pegeln ausgebaut. Die mittels dieser Pegel ab 1989 erfolgende Beobachtung der Wasserstände im Karstwasserleiter Zechstein ergab, dass sich im Raum Sangerhausen entlang der Verbreitungsgrenze des Staßfurt-Steinsalzes ein über die Baufeldgrenzen im Osten und im Westen weit hinausreichender, lang gestreckter Absenkungstrichter ausgebildet hatte (Abb. 12).

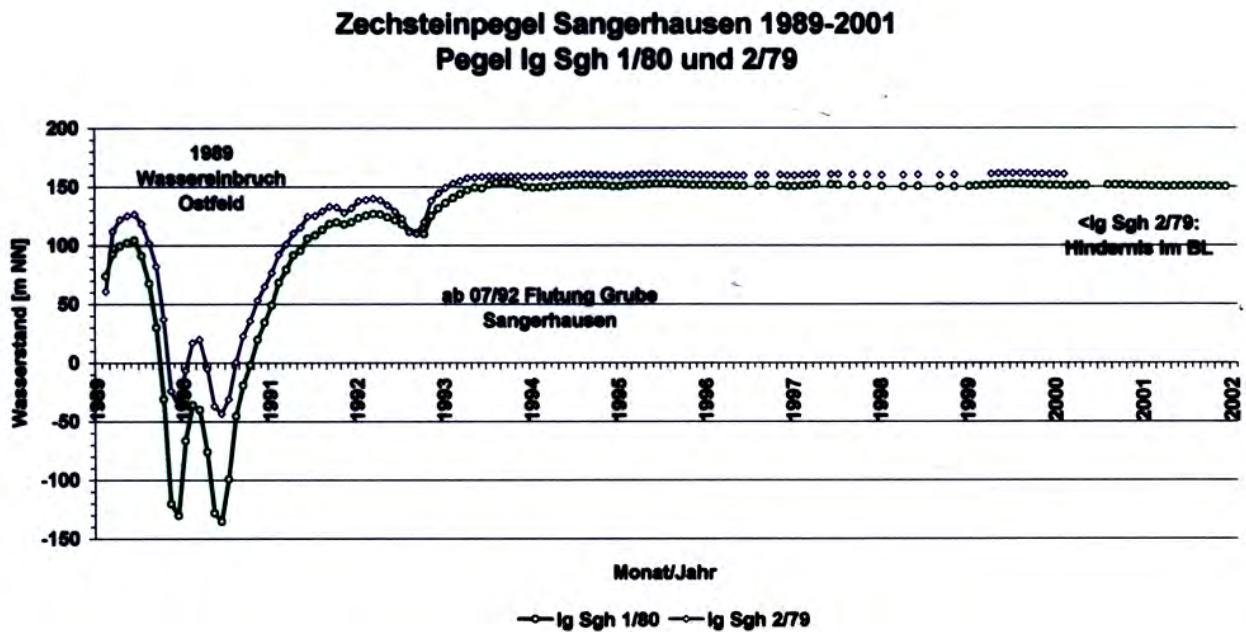


Abb. 12: Pegelganglinien im Karstwasserleiter während der Flutung der Grube Sangerhausen

Er wirkte sich noch ca 15 km westlich des Zuflussschwerpunktes Westfeld des Schachtes Sangerhausen aus, indem er die am Nordrand des Kyffhäusers bei Kelbra vorhande-nen Solquellen zum Versiegen brachte und im Gefolge dieses hydraulischen Defizits im Randbereich des Stausees Kelbra erstmals die sonst unter Wasser stehende sog. Numburger Höhle zugänglich machte (**Abb. 13**). In deren Umfeld traten im Beckenbereich des Stausees eine Reihe von großformatigen Erdfällen auf (**Abb. 14/15**). Die Herkunft der im Westfeld des Schachtes Sangerhausen zusitzenden Wässer aus dem Bereich des Stausees Kelbra wurde durch einen Tracerversuch nachgewiesen.

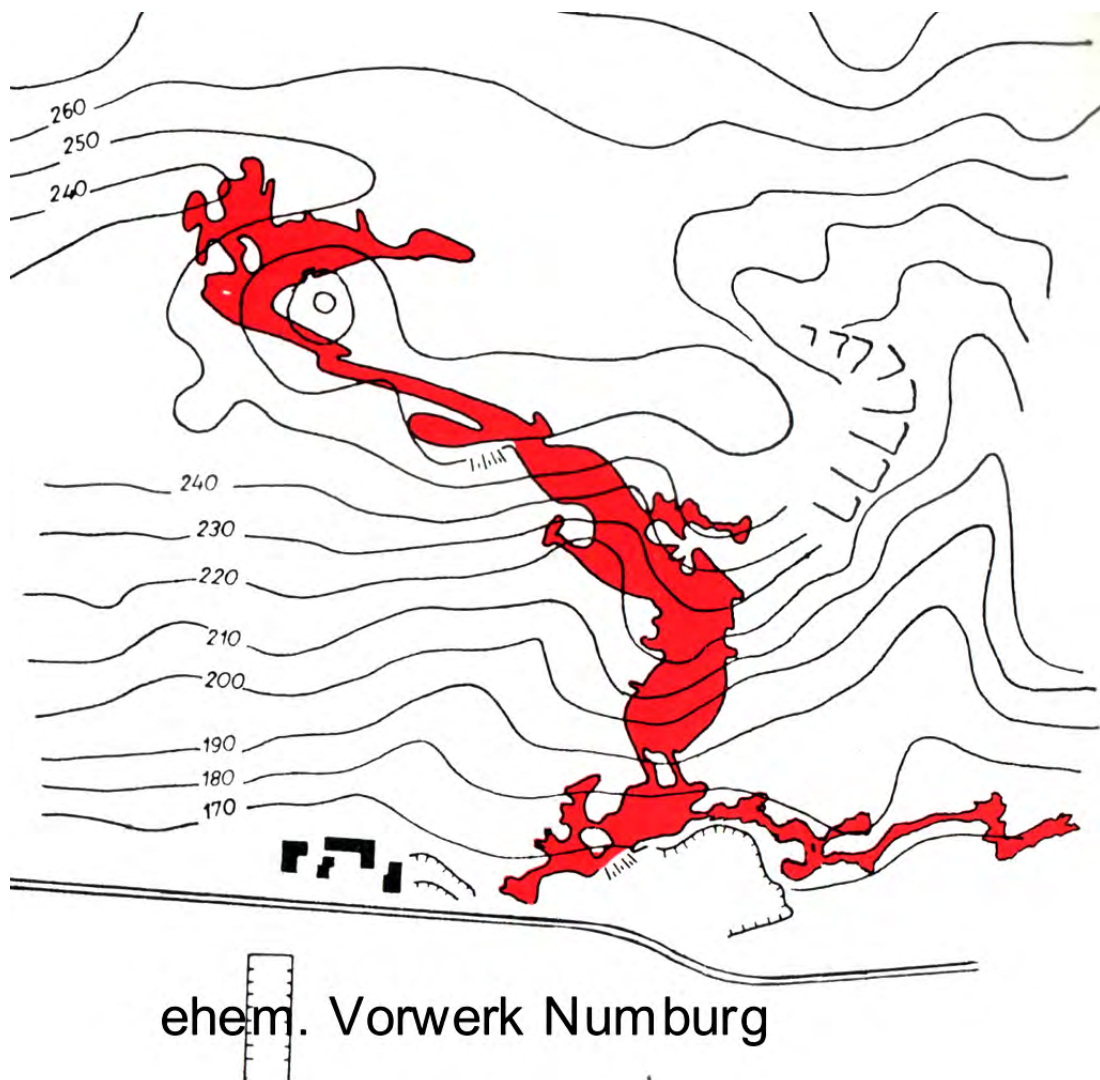


Abb. 13: Grundriss der Numburger Höhle



Abb. 14: Erdenbrüche am Südrand des Staubeckens



Abb. 15: Erdfälle im trockenen Seebecken (Blick nach S)

Im Sangerhäuser Revier wurde ab 1983 eine etwa 20 km lange Salzwasserleitung zwischen dem Schacht Sangerhausen und der Mansfelder Mulde gebaut und betrieben, über die die Salzwässer des Sangerhäuser Reviers nach Helbra (Bolze-Schacht) gepumpt und dort über Schluckbohrungen in die gefluteten Grubenräume der Mansfelder Mulde eingeleitet wurden. Zweck dieser Maßnahme war, im Rahmen der Salzlaststeuerung der Wasserwirtschaftler die Minderung des Salzeintrags aus dem Kupfeschieferbergbau in die Saale, aus der die chemische Industrie bei Leuna und Buna ihr Betriebswasser bezog, zu regulieren. Die Kapazität dieser Salzwasserleitung wurde im Gefolge der Erhöhung der Wasserzuflüsse im Schacht Sangerhausen 1987/1988 bis auf 21 m³/min gesteigert. Sie war bis zur Einstellung der Wasserhaltung 1992 in Betrieb. Die in diesem Zeitraum über der Kapazität der Wasserhaltungen liegende Zuflussmenge wurde bereits unter Tage in abgeworfenen Feldesteilen gespeichert.

Auch im Revier Sangerhausen stellten sich mit Beginn des Zuflusses von Salzwässern in den Verbreitungsgebieten von Steinsalz über Tage Senkungen ein (**Abb. 16/17**). Sie erreichten zwar nicht solche Beträge wie in der Mansfelder Mulde, waren mit Maxima über 50 mm/a über dem Zuflussschwerpunkt aber doch beträchtlich und betrugen bis zur Beendigung des Bergbaus 1990 in Summe etwa 500 mm. Dieser Betrag ist zu dieser Zeit zu korrelieren mit einem Salzaustrag aus dem T.-Münzer-Schacht von etwa 40 - 45 kg/s bzw. 2,5 t/min.

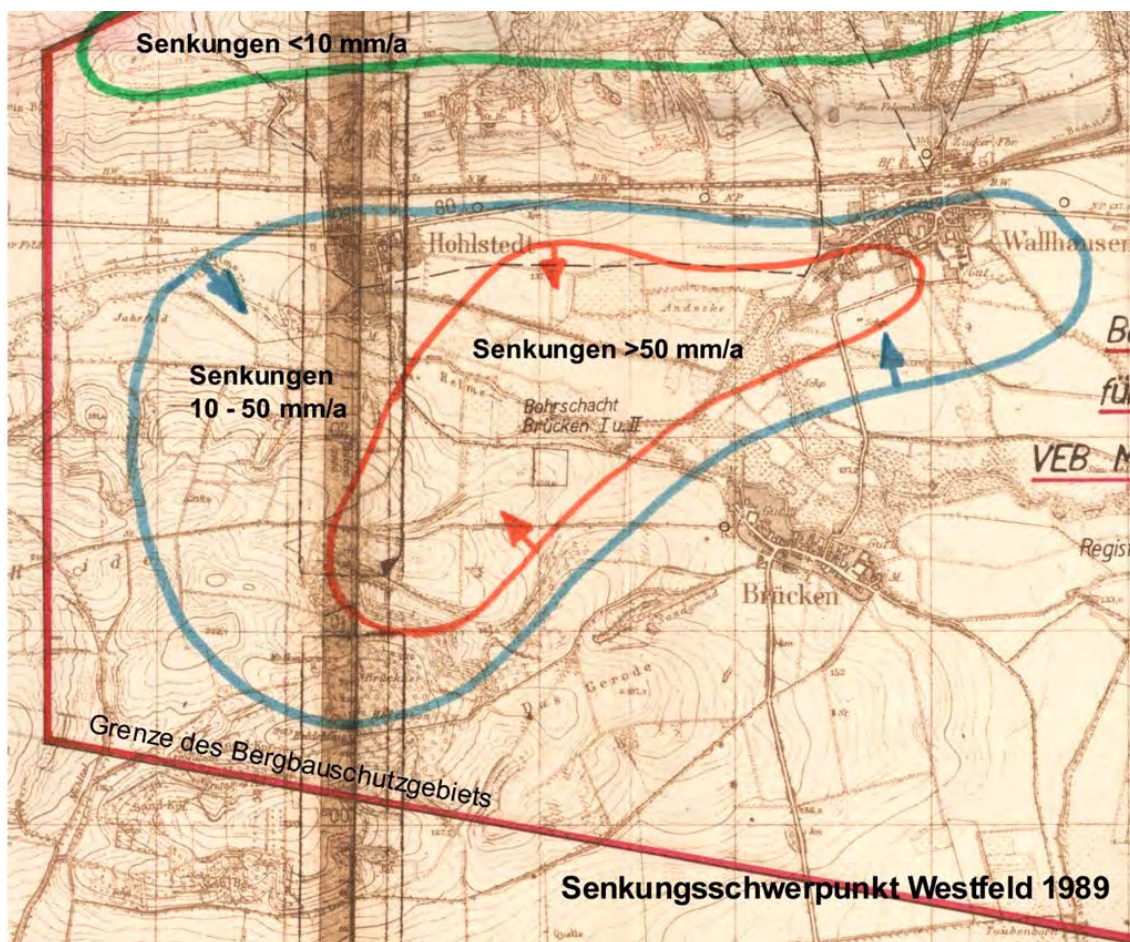


Abb. 16 und 17: Lage des Zufluss- und des Senkungsschwerpunktes im Westfelds

Der Bergbau auf Kupferschiefer hat, wie schon ausgeführt wurde, im Revier Sangerhausen eine Reihe von Schächten hinterlassen (**Abb. 18**). Hinzu kommen Lichtlöcher, Stollen, Strecken- und Sohlenauffahrungen und vor allem ausgedehnte Abbauräume. Die Verwahrung der Schächte erfolgte durch Verfüllung mit unterschiedlichen Materialien, je nach anstehendem Gebirge und Zustand der Schachtröhre (**Abb. 19**). Sie musste abgeschlossen sein, ehe der Schacht unter Wasser kam.

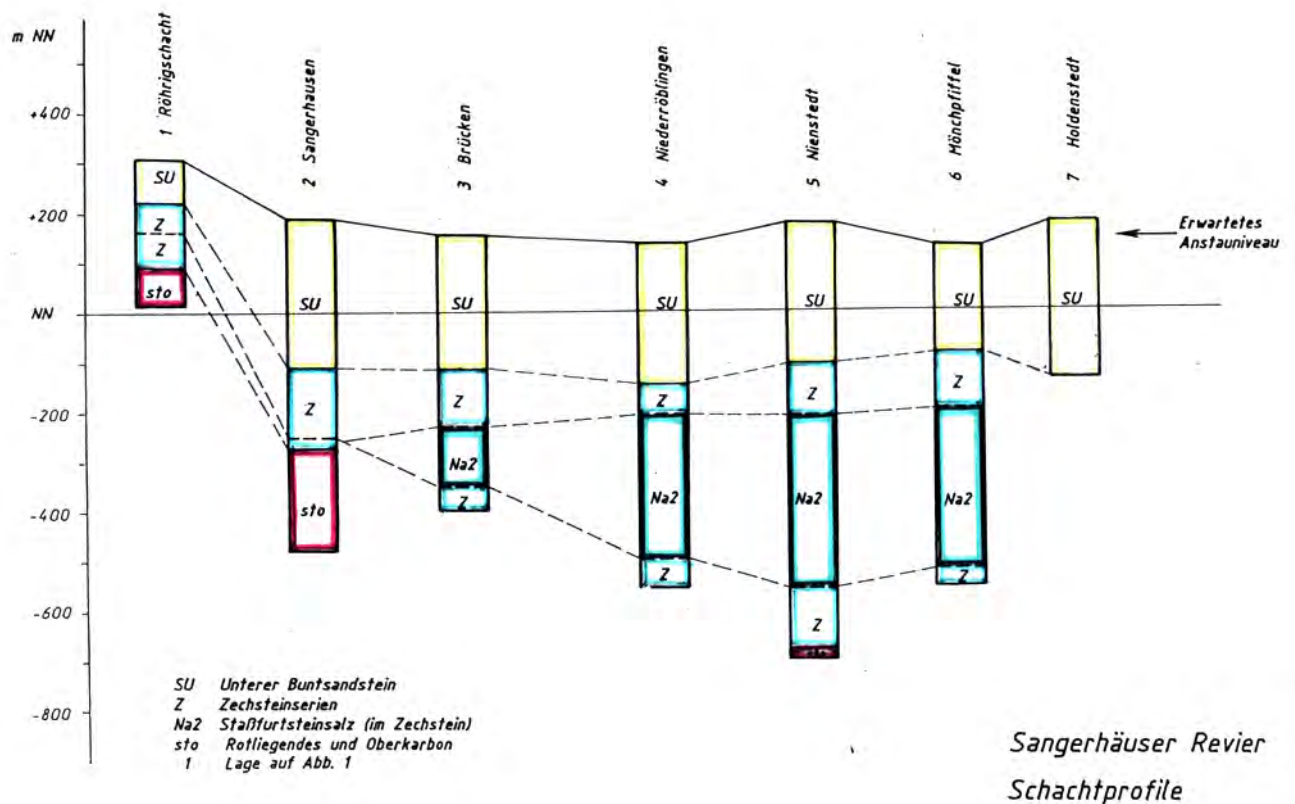


Abb. 18: Die Profile der Schächte des Reviers Sangerhausen

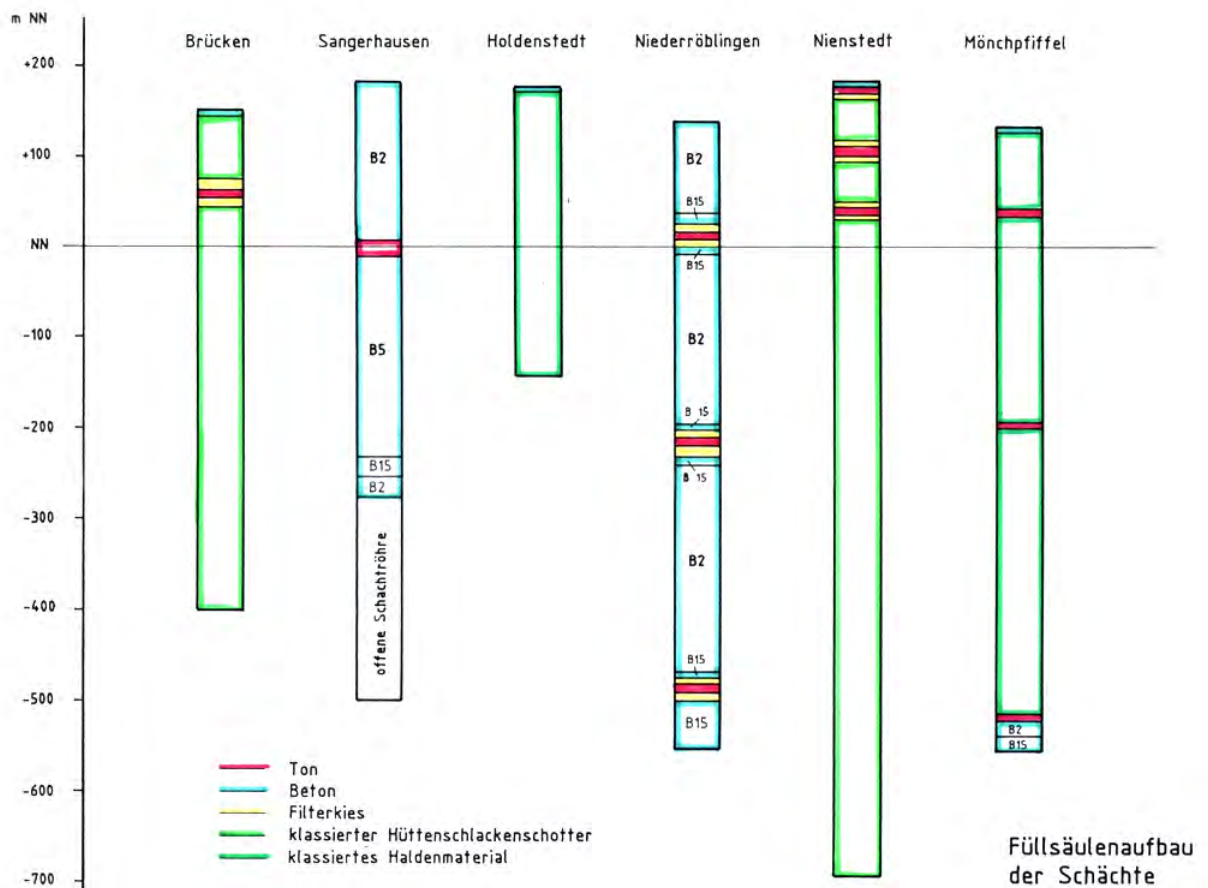


Abb. 19: Die Verfüllsäulen der Schächte im Revier Sangerhausen

Bei der Verwahrung der Gruben war außerdem zu bedenken, dass die in den Gesteinen des Zechsteins zirkulierenden Wässer in dem über der Lagerstätte liegenden Schichtenpaket durch Auflösung von Gestein für zusätzliche Hohlräume sorgten und dieser Vorgang auch bei Einstellung des Abbaus solange weitergeht, wie die Wasserhaltungen das Grubengebäude wasserfrei halten. Natürlich setzt sich damit auch die Senkungstätigkeit an der Tagesoberfläche mit all ihren negativen Auswirkungen fort.

Das Gesamtvorhaben der Verwahrung wurde während der Vorbereitung, der Realisierung und in der Nachsorge bis heute von der Bergbehörde Halle bzw. vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt in Halle beaufsichtigt. Mit der intensiven Diskussion der mit der Flutung der Gruben zusammenhängenden Fragen wurde abgereichert, dass die angestrebten positiven Auswirkungen nicht durch ungewollte negative Folgen ad absurdum geführt werden.

Im Ergebnis dieser Tätigkeit wurde als eine der wichtigsten Verwahrungsmaßnahmen deshalb von vorn herein neben der Verwahrung der Schachtröhren die Flutung der Gruben angesehen. Nur damit war es möglich, den erheblichen Zustrom von Wässern in das Grubengebäude und damit die enorme Salzauflösung im Gebirge, die Senkungen der Tagesoberfläche und die Schäden an Gebäuden und Infrastruktur einzuschränken bzw. zu minimieren.

Grundsätzliche Bedeutung in dieser Frage hatten die Erfahrungen aus der Mansfelder Mulde, wo die Verwahrung der Schächte 1968 und die Flutung des Reviers zwischen 1970 und 1981 erfolgte. Die endgültige Flutung des Reviers Sangerhausen nach der Einstellung des Abbaus 1990 erfolgte dann etappenweise.

Zunächst wurden in der Grube Sangerhausen schon in der 2. Hälfte der 1980-er Jahre die über der Kapazität der Hauptwasserhaltung liegenden Zuflüsse in bereits unter Tage in abgeworfenen Grubenräumen zurückgehalten. Ein weiterer wesentlicher Schritt war die Abkapselung des Westfeldes. Sie war gegen Jahresende 1988 so weit vorbereitet, dass die Dämme geschlossen werden konnten. Mit dem Schließen des letzten noch offenen Dammes in der 5. Sohle erfolgte ein rascher Anstieg des Wasserstandes in diesem Teilfeld. Doch schon Mitte 1989 war der Damm in der 5. Sohle, der unter ausgesprochen ungünstigen geologischen und technischen Voraussetzungen errichtet werden musste, wieder undicht (**s. Abb. 12**). Die Reparatur durch einen vorgesetzten Damm brachte vorübergehend Besserung. Trotzdem musste die Reparatur 1991 wiederholt werden. Durch die Zirkulationswege an der Verbreitungsgrenze des Staßfurt-Steinsalzes erhöhten sich gleichzeitig die Zuflüsse im Ostfeld, so dass auch hier die Abkapselung erfolgen musste.

Die Verringerungen der Wasserzugänge nach der mehrfach notwendigen Dammreparatur und der danach wiederum einsetzende Anstieg der Zuflüsse ist eindrucksvoll an der Bewegung der Wasserstände im Gebirge nachzuvollziehen (**Abb. 12**).

Diese Vorgänge führten schließlich relativ rasch zur Flutung der gesamten Grube in Sangerhausen. Dies erfolgte im Jahr 1992 und war innerhalb von etwa 4 Monaten vollzogen. Die Auffüllung des durch die Wasserhaltungen im Karstwasserleiter erzeugten Absenkungstrichters war erst ca. 2 Jahre später abgeschlossen (**Abb. 12**).

Wasserabflüsse aus dem gefluteten Grubenfeld Sangerhausen über den Altbergbau (Seegen-Gottes-Stolln) in die Vorflut wurden zum Schutze der Oberflächengewässer vor Versalzung ebenfalls durch Dämme unterbunden (**Abb. 20**).

Dies ist ein gravierender Unterschied zum Flutungskonzept für die Mansfelder Mulde, wo ein solcher Abschluss der Grubenräume gegenüber der Tagesoberfläche nicht möglich war. Ein positiver Nebeneffekt war die Erhaltung des untertägigen Teils des Bergbaumuseums Röhrig-Schacht in Wettelrode .

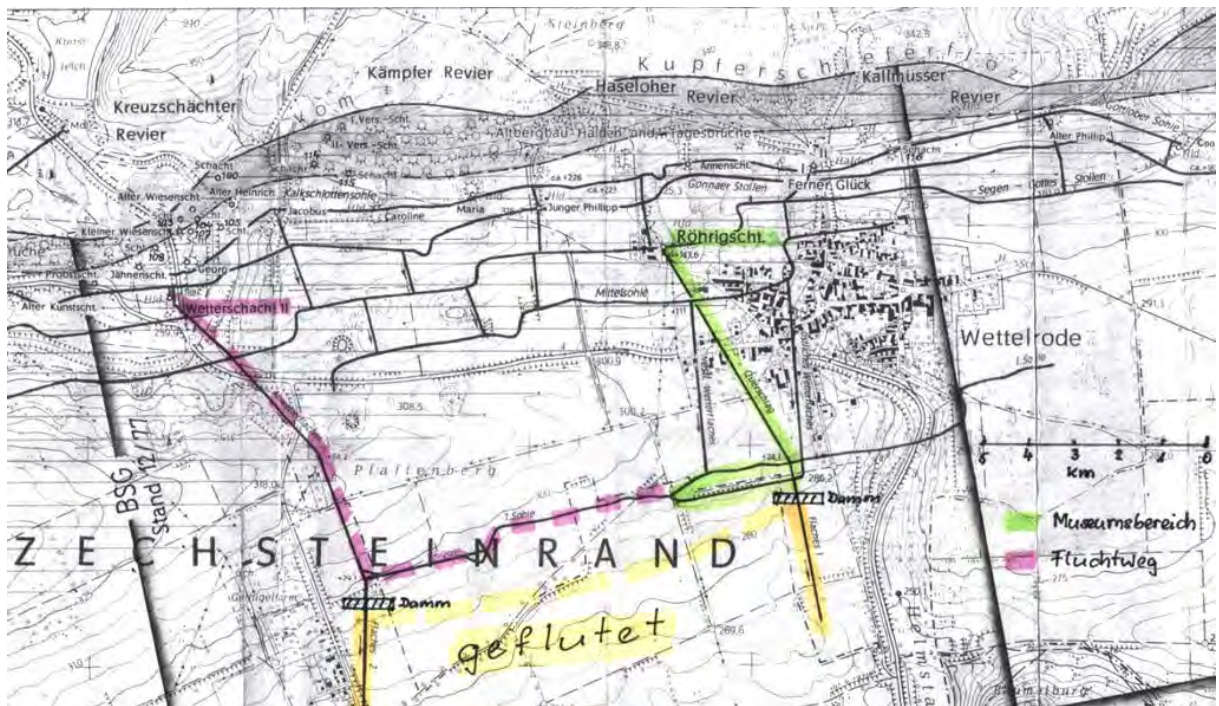


Abb. 20: Das Grubenfeld des Röhrichtschachtes am Ausgehenden

Des weiteren war die Grube Sangerhausen in der einzigen Verbindungsstrecke zwischen den Grubenfeldern der Grube in Sangerhausen und der Grube in Nieder-röblingen durch einen Damm im Markscheidepfeiler getrennt.

Die Flutung der fast zuflussfreien Grube Niederröblingen (Bernard Koenen) war ebenfalls vorgesehen worden, um Pfeiler und Damm, die das geflutete Grubenfeld Sangerhausen vom noch luftgefüllten Grubenfeld Niederröblingen trennten, durch Aufbau eines Gegendrucks zu entlasten. Wegen der geringen Zuflüsse im Grubenfeld Niederröblingen selbst hätte eine Flutung durch Einstellung der Wasserhaltung Jahrzehnte gedauert. Darum wurde entschieden, die Grube mit Wasser aus dem Vorfluter Helme, einem Nebenfluss der Unstrut, zu fluten und dadurch die Flutungszeit erheblich zu verkürzen.

Die praktische Vorbereitung der Flutung begann bereits 1990 mit der Räumung der Grube von Schadstoffen, wie Ölen, Fetten und Sprengstoff usw. Sie setzte sich fort im Bau eines Systems von Dämmen, die wegen der umfangreichen Steinsalzaufschlüsse unter Tage die unkontrollierte Zirkulation von Wasser in der Grube während und nach der Flutung unterbinden sollten. Danach wurden die Schachtröhren verfüllt. Diese Phase der Verwahrung war Mitte 1993 abgeschlossen.

Parallel zur Verfüllung der Schächte wurde die Flutung des Grubenfeldes vorbereitet. Dazu wurde an der Helme ein Bohrloch bis ins Niveau der 10. Sohle geteuft und ein Einlaufbauwerk zur Einleitung von Helmewasser in dieses Bohrloch errichtet. Des weiteren wurde am Schacht Nienstedt in das Niveau der 12. Sohle ein Kontrollpegel zur Überwachung des Wasseranstiegs und bei Oberröblingen in die 7. Sohle ein Bohrloch zur Abführung der vom Wasser unter Tage verdrängten Luft niedergebracht (**Abb. 22**). Nach Abschluss dieser Arbeiten begann im Frühjahr 1994 die Flutung des über 6 Mill. m³ umfassenden bergmännischen Hohlraums. Es wurden zunächst Mengen um die 11

m^3/min oder etwa $16\,000\text{ m}^3/\text{Tag}$ eingeleitet. Sie reduzierten sich mit zunehmender Füllung der Grube auf Werte um $7\text{ m}^3/\text{min}$ bzw. $10.000\text{ m}^3/\text{Tag}$ (**Abb. 23**).

Diese Mengenangaben lassen den Zeitraum von etwa 2,5 Jahren zwischen Beginn und Ende der Flutung etwas lang erscheinen. Man muss aber in Rechnung stellen, dass die Flutung aus natürlichen oder technischen Gründen (z. B. im Winter) oft unterbrochen werden musste, so dass die effektive Flutungszeit erheblich geringer war. Andererseits ließen solche Faktoren wie die Ungenauigkeiten in der Hohlraumberechnung, in der Grube verbleibende Restluft, das Verdrücken von Teilmengen des Wassers in das Kluftvolumen des Gebirges und die Hohlraumerweiterung durch begrenzte Auflösung von Salz in der Grube die Einleitmenge über das oben genannte Maß anwachsen. Sie erreichte schließlich fast 8 Mill. m^3 und damit etwa 25 % mehr als vorausbestimmt.

Der Flutungsvorgang war begleitet von Gebirgsschlägen, die im Maximum eine Lokalmagnitude von etwa 2,7 erreichten und durch den flutungsbedingten Abbau von Restspannungen vor allem entlang der Nienstedter Störungszone (etwa 300 m Sprunghöhe) entstanden. Sie wurden mittels der zur Lokalisierung von schlagartigen Gebirgsbewegungen infolge von Salzauflösung im Gebirge im Revier Sangerhausen bei der TERRA- DATA GmbH in Sangerhausen installierten Anlage zur seismischen Überwachung registriert.

1996 wurden die Flutungsbohrungen verfüllt und damit die Verwahrung abgeschlossen.

Wie die danach noch weitergeführte Beobachtung der Standsicherheit der Schachtröhren und der Entwicklung der Senkungen ergab, wurde das Verwahrungsziel erreicht. Die Entwicklung der Abflüsse aus dem Grubenfeld am Ausgehenden (Röhrigschacht bzw. Seegen-Gottes-Stolln) zeigte (**Abb. 24**), dass der Karstwasserleiter bis zum erwarteten Anstauniveau aufgefüllt war.

Man darf aber nicht vergessen, dass die Zirkulation von Wässern im verkarsteten Deckgebirge auf den von der Natur vorgezeichneten Zirkulationswegen auch künftig erfolgt. Ein Beispiel dafür ist der oben genannte Restabfluss von Wässern aus dem Grubengebäude des Altbergbaus des Sangerhäuser Reviers. Er erfolgt lediglich aus den von den Alten aufgefahrenen Stollen. Als Beispiel wurde der Seegen-Gottes-Stolln bereits genannt. Er führt wegen der im Bergbaumuseum Röhrigschacht betriebenen Wasserhaltung schwach salziges Wasser ab, liegt mit seiner Salzlast aber deutlich unter den früheren Abgabemenge des Reviers Sangerhausen oder des Schlüsselstollens (**Abb. 25**).

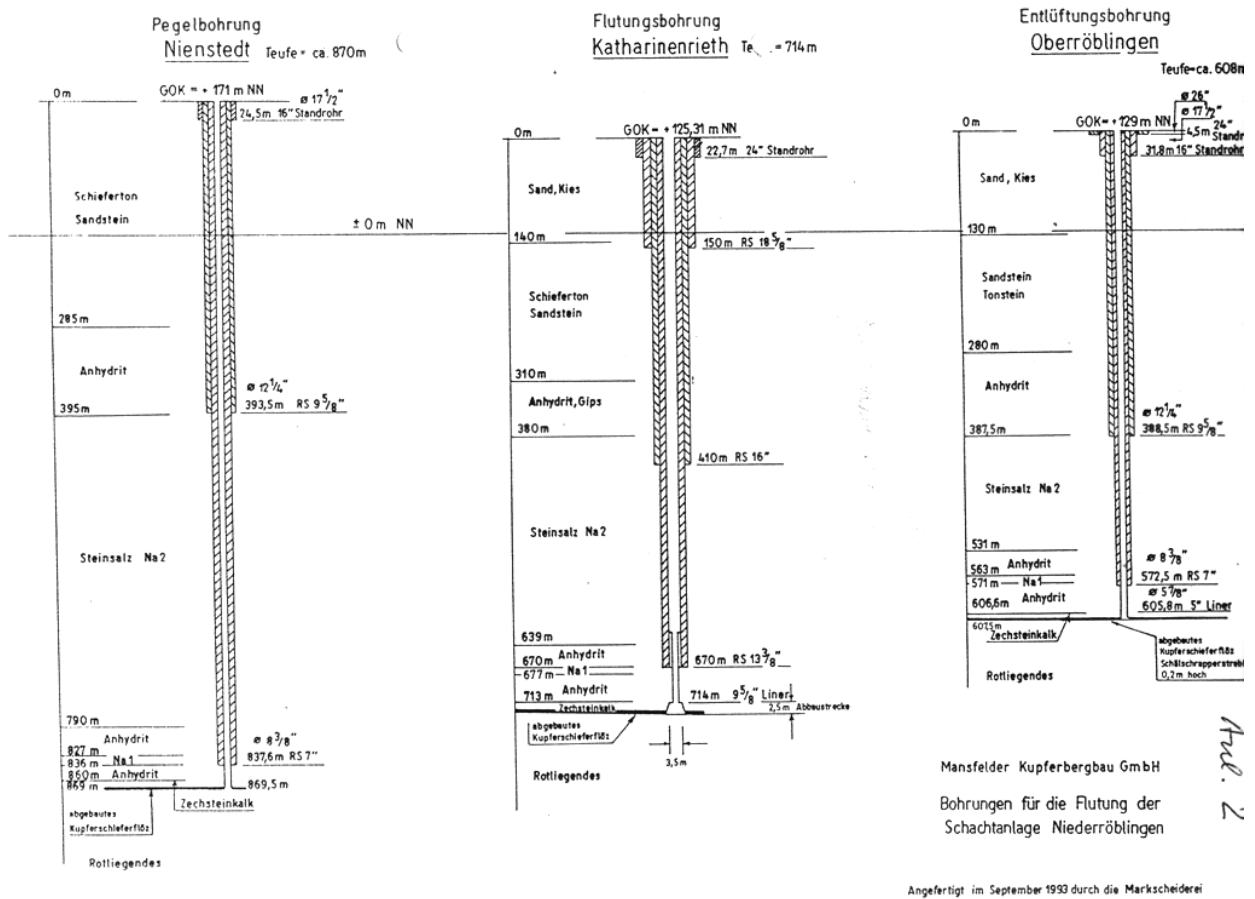


Abb. 21: Darstellung der Flutungsbohrungen

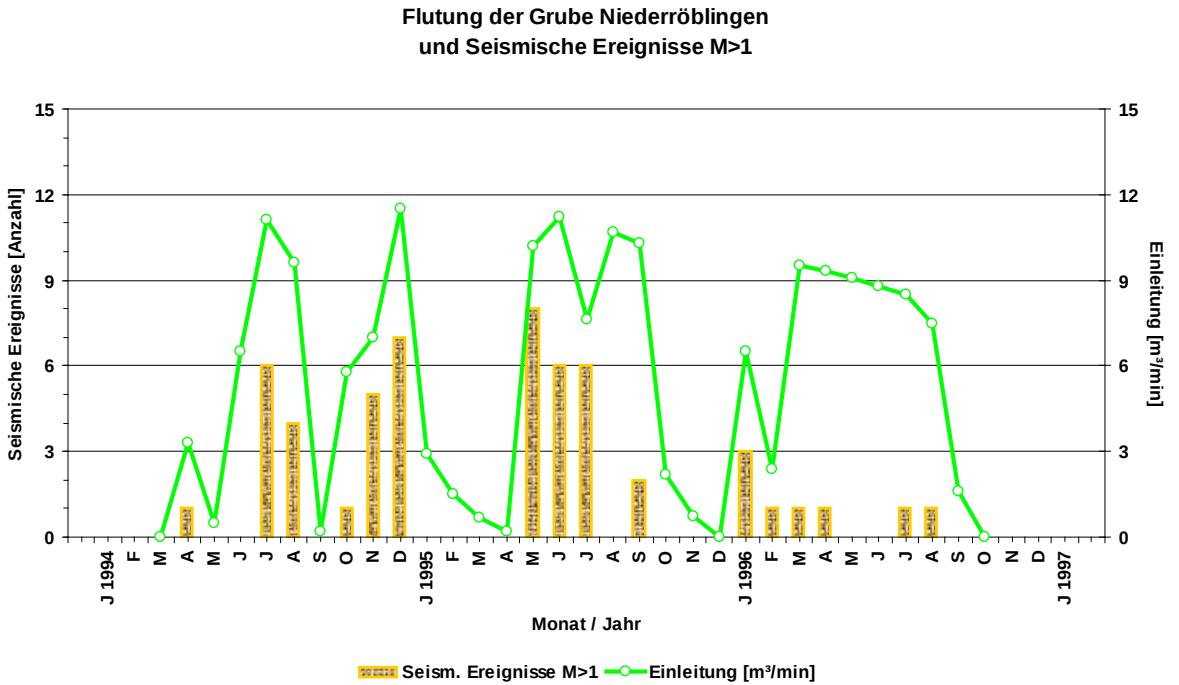


Abb.22: Verlauf der Flutung und Seismik in der Grube Niederröbblingen

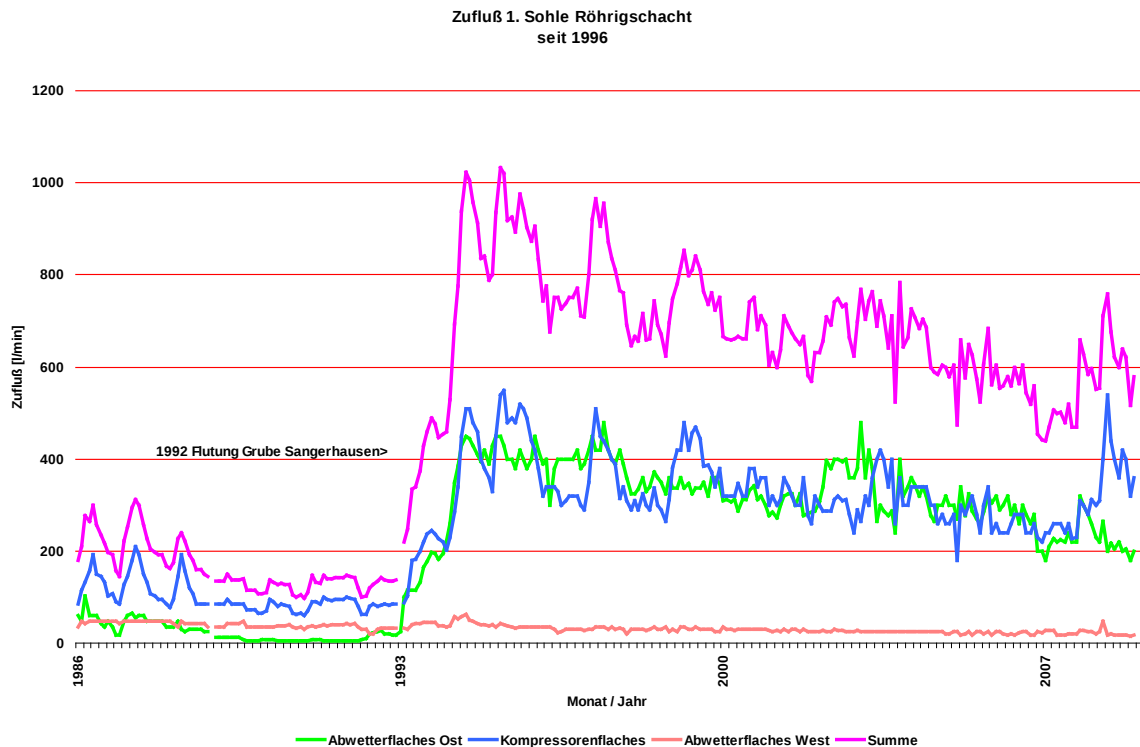


Abb. 23: Zuflußentwicklung im Karstwasserleiter im Röhrigschacht

Wie über die Stollen in der Mansfelder Mulde werden auch über den Seegen-Gottes - Stollen im Revier Sangerhausen neben Salzen auch andere Inhaltsstoffe in die Vorflut abgegeben. Als naheliegendes Beispiel soll hier auf den Metallinhalt informiert werden. Neben dem Salz werden unter anderem die Metalle Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, As, Cd und vor allem Zn abgegeben.

So liefert z. B. der Schlüsselstollen als Hauptlieferant an seinem Mundloch etwa 8 - 9 kg Salz/s (das sind 700-800 t/d) und, zusammen mit den Süßwasserstollen, rund 50 kg Metalle/d. Im Revier Sangerhausen liegen diese Werte, vor allem wegen der geringeren Abflüsse, für den Salzaustrag unter 0,5 kg/s und bei den Metallen bei etwa 9 kg/d.

Ausblick

Die Ergebnisse der bisherigen Beobachtungen der Flutung in beiden Revieren und ihrer Auswirkungen zeigen eine deutliche Annäherung an den Endzustand. Es ist erkennbar, dass die Flutung vollständig erfolgt ist. Dies zeigt sich insbesondere an den Ganglinien der Pegel, an der Entwicklung der in den Wässern aus den Grubenfeldern transportierten Inhaltsstoffe und auch an der Senkungsentwicklung. Trotzdem ergibt sich die Notwendigkeit zur weiteren Überwachung dieser Vorgänge in angemessenem Umfang.

Verzeichnis der Abbildungen

- 1.** Karte Kupferschieferbergbau
- 2.** Tabelle Erz/Cu/Ag
- 3.** Grafik Vorräte
- 4.** Profil Ausgehendes
- 5.** Profil Gesteine des Zechsteins
- 6.** Subrosionskarte Revier Sangerhausen
- 7.** Abfluss Seegen-Gottes-Stolln
- 8.** Karte Stollen Sangerhäuser Revier
- 9.** Mundloch Seegen-Gottes-Stolln
- 10.** Gehobene Wassermengen TMS
- 11.** Damm 7,5 MPa
- 12.** Pegelganglinien Zechsteinpegel
- 13.** Höhle Numburg
- 14.** Erdfälle Numburg
- 15.** Erdfälle Numburg
- 16.** Zuflussschwerpunkt Grube Sangerhausen (uta)
- 17.** Senkungsschwerpunkt Grube Sangerhausen (üta)
- 18.** Schachtprofile
- 19.** Verfüllungsaufbau
- 20.** Grubenfeld des Röhrigschachtes
- 21.** Flutungsbohrungen BKS
- 22.** Flutungsverlauf und Seismik BKS
- 23.** Zufluss Röhrigschacht

Literatur:

1. **REMUS, W. & M. SPILKER:** Die hydrogeologischen Verhältnisse im Nordteil der Sangerhäuser Mulde.-
WIE - Broschürenreihe des Mansfeld-Kombinates, Nr. 38,
Eisleben, 1961
2. **REMUS, W. & M. SPILKER:** Die hydrogeologischen Verhältnisse im Nordteil der Sangerhäuser Mulde.-Bergbautechnik, 11, H. 6, S. 317-321, Leipzig, 1961
3. **REMUS, W., M. SPILKER & R. ZEISING:** Die Heimkehle bei Uftrungen am Südharz.-
16 S., Ges. z. Verbreitung wiss. Kenntnisse, Halle,
1962
4. **JANKOWSKI, G. & W. REMUS:** Die Kupferschieferlagerstätte in der Sangerhäuser Mulde.-
47 S., Ges. z. Vorbereitung wiss. Kenntnisse, Halle, 1963
5. **SPILKER, M.:** Zusammenhänge zwischen untertägigen Wasserzuflüssen und dem Abbau im Thomas-Münzer-Schacht.-
KdT-Mitt. Mansfeld-Kombinat, H. 1/1965, S. 23-30, Eisleben, 1965
6. **JUNG, W. & M. SPILKER:** Über ein bemerkenswertes Tiefenkarstvorkommen.-
Z. f. angew. Geologie, 15, H. 12, S. 646-649, Berlin, 1969
7. **SCHWARZKOPF, H. & M. SPILKER:** Beispiele für Subrosionserscheinungen im Zechstein-
ausstrich südöstlichen Harzrand.-
DGGW, Exk.-Führer, S. 11-25, Berlin, 1971
8. **JUNG, W., R. MEERSTEIN, H. SCHMIDT, H. SCHOOF & M. SPILKER:** Grundsätze und
erste Ergeb-
nisse der Verwahrung von Schächten in der Mansfelder Mulde.-
Neue Bergbautechnik, 2, H. 8, S. 626-629, Leipzig, 1972
9. **JUNG, W. & M. SPILKER:** Hydrologische Probleme beim Wasseranstau in der Mansfelder
Mulde.-
Z. f. angew. Geologie, 18, H. 1, S. 17-21, Berlin, 1972
10. **SPILKER, M. :** Hydrologische Beobachtungen am Periodischen See.-
Fundgrube, 10, H. 1/2, S. 1-6, Berlin, 1973
11. **MÜLLER, K.-H. & M. SPILKER:** Erfahrungen beim Abdichten einer untertägig angefahrenen
Erkundungsbohrung.-
Neue Bergbautechnik, 5, H. 7, S. 533-536, Leipzig, 1975
12. **KNITZSCHKE, G. & M. SPILKER:** Montanhydrologische Aspekte zur Gewährleistung der
Bergbausicherheit im Kupferschieferbergbau.-
KdT-Mitt. Mansfeld-Kombinat, H. 2/1981, S. 6-11,
Eisleben, 1981
13. **BRENDEL, K., G. BRÜCKNER, G. KNITZSCHKE, A. SCHWANDT & M. SPILKER:**
Montanhydrologische Aspekte zur Gewährleistung der Bergbausicherheit beim
Abbau zechsteinzeitlicher Lagerstätten.-
Z. geol. Wiss., 10, H. 1, S. 7-31, Berlin, 1982
14. **BRÜCKNER, G., G. KNITZSCHKE, J. PELZEL, A. SCHWANDT & M. SPILKER:**
Probleme und Erfahrungen bei der Beherrschung von Karsterscheinungen in der
Umgebung stillgelegter Bergwerke des Zechsteins der DDR.-
Neue Bergbautechnik, 13, H. 8, S. 417-422, Leipzig, 1983
15. **SCHWANDT, A., H.-D. SCHMIEDL, D. HEBERT, K. FRÖHLICH, H.-P. JORDAN & M. SPILKER:**
Neue Aspekte zur Auslaugung in Kali- und Kupferschieferabbaugebieten der
DDR.-
Z. geol. Wiss., 14, H. 2, S. 183-192, Berlin, 1986
16. **KAHMANN, H.-J., G. KNITZSCHKE & M. SPILKER:** Gase in den Gruben des Kupferschieferbergbaus im Sangerhäuser Revier.
KdT-Mitt. Mansfeld-Kombinat, H. 3/1987, S. 15-19, Eisleben, 1987
und: Z. geol. Wiss., 17, H. 4, S. 381-388, Berlin, 1989
17. **FANTASNY, D. & M. SPILKER:** Ein neuer Großerdfall im Kreis Eisleben.-

Mitt. über Höhlen- u. Karstforschung, H. 1, S. 10-12, Halle,
1988

18. **M. SPILKER & H. WORDELMANN:** Erste Ergebnisse der Verwahrung im Sangerhäuser Kupferschieferrevier.-
GDMB, EMC '94, S. 351-371, Freiberg, 1994
19. **M. SPILKER:** Zur Stilllegung des Bergbaus auf Kupferschiefer in der Mansfelder Mulde.-
Protokollband 100 Jahre Eisleben, S. 273-278, Eisleben, 1995
20. **AUTORENKOLLEKTIV:** Mansfeld - Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens.-
Verein Mansf. Berg- u. Hüttenleute & Dtsch. Bergb.-Museum
Bochum, 614 S. Eisleben & Bochum, 1999
21. **SPILKER, M, G. STROBEL & H. WÜRZBURG:** Erfahrungen und Probleme bei der Flutung von Grubenhohlräumen des Kupferschieferbergbaus.-
GGW, Exk.-Führer, 205, S. 155-168, Berlin, 1999
22. **SPILKER, M.:** Erfahrungen und Probleme bei der Verwahrung der Grubenhohlräume des Kupferschieferbergbaus.-
Protokollband 800 Jahre Mansf. Berg- u. Hüttentradition, S. 21-29,
Eisleben, 2000
23. **SPILKER, M.:** Die Stollen im Mansfelder Kupferbergbaurevier.-
Intern. Symp. "Fuchsstollen" in Walbrzych, S. 60-64, Walbrzych, 2001
und: Der Anschnitt, 54, H. 2-4, S. 121-126, Bochum, 2002
24. **KNITZSCHKE, G. & M. SPILKER:** Die Kupferschieferlagerstätte Mansfeld/Sangerhausen.-
Der Anschnitt, 55, S. 134-147, Bochum, 2003
25. **HARTMANN, O., U. MALLIS, M. SPILKER & H.-D. THORMEIER:**
Schachtstandorterkundung und Schachtabteufen für den Salz- und
Kupferschieferbergbau in Ostdeutschland (1945-1990).-
GGW, Exk.-Führer, 222, S. 111-124, Berlin, 2003
26. **AUTORENKOLLEKTIV:** Mansfeld - Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens, Band 2
(Bildband).-
Verein Mansf. Berg- u. Hüttenleute & Dtsch. Bergb.-Museum
Bochum, 428 S., Eisleben & Bochum, 2004
27. **AUTORENKOLLEKTIV:** Mansfeld - Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens, Band 3, Die
Sachzeugen.-
Verein Mansf. Berg- u. Hüttenleute & Dtsch. Bergb.-Museum
Bochum, 540 S., Eisleben & Bochum, 2008
28. **G. STROBEL, U. HEROLD & M. SPILKER:** Zur Flutung der Mansfelder Mulde - Eine
Nachbetrachtung.-
Mitt. zu Geol. u. Bergwesen in Sachs.-Anhalt,
Bd. 15, 112 S., Halle, 2008
29. **KNITZSCHKE, G. & M. SPILKER:** Kreisfeld - Die Entwicklung von einem Bauerndorf zum
Mittelpunkt eines Bergbaureviers.-
66 S., Herausgeber: Kreisfelder Freundeskreis Wandern u.
Ortsgeschichte im SV Eintracht Kreisfeld e.V., 2009
30. **EISENHUTH, K.-H. & E. KAUTZSCH:** Handbuch für den Kupferschieferbergbau.-
335 S.; Fachbuchverlag Leipzig, 1954
31. **VIETE, G.:** Geologische und hydrologische Untersuchungen im Gipskarst des östlichen
Südharzvorlandes.-
Freiberger Forsch.-H. C 9, S. 46-79: 1954
32. **KAUTZSCH, E.:** Hydrologische Probleme im Mansfelder und Sangerhäuser Kupferschiefer-
bergbau.-
Bergbauttechnik 6, S. 134-143, 1954
33. **JUNG, W.:** Zur Feinstratigraphie der Werraanhydrite (Z 1) im Bereich der Sangerhäuser

- und Mansfelder Mulde.-
Geologie, Beih. 24, S. 1 - 88, 1958
34. **JUNG, W.:** Das Steinsalzäquivalent des Z 1 in der Sangerhäuser und Mansfelder Mulde und daraus resultierende Bemerkungen zum Problem der Jahresringe.-
Ber. geol. Ges. DDR 4, S. 313-339, 1959
35. **JANKOWSKI, G.:** Quartäre Ablagerungen im Ried des mittleren Helme- und Unstrutlaufs.-
Geologie 10, S. 50-65; 1961
36. **LORENZ, S.:** Wassereinbrüche im Mansfelder Kupferschieferbergbau.
Z. angew. Geol. 8, S. 310-316, 1962
37. **JANKOWSKI, G.:** Die Tertiärbecken des südöstlichen Harzvorlandes und ihre Beziehungen zur Subrosion.
Geologie, Beih. 43, S. 1 - 60; 1964
38. **JUNG, W.:** Zum subsalinaren Schollenbau im südöstlichen Harzvorland. Mit einigen Gedanken zur Äquidistanz von Schwächezonen.-
Geologie 14, S. 254-271, 1965
39. **JUNG, W. & K. LIEBISCH:** Die Grubenhydrologie in der Mansfelder Mulde.-
Z. angew. Geol. 12, S. 11 - 21, 1966
40. **Jung, W., Knitzschke, G. & Gerlach, R.:** Entwicklungsgeschichte der geologischen
Geologie 20, S. 462 - 484, 1971
41. **GRUBE, H. & M. VOLLRATH:** Beiträge zur Entwicklung des Kupferschieferbergbaus im Sangerhäuser Revier (Teil I).-
TM KDT 18, 1, S. 3 - 8, 1977
42. **GRUBE, H. & M. VOLLRATH:** Die Geschichte des Kupferschieferbergbaus im Sangerhäuser Revier (Teil II).-
TM KDT 18, 2, S. 3 - 9, 1977
43. **GRUBE, H. & M. VOLLRATH:** Die Geschichte des Kupferschieferbergbaus im Sangerhäuser Revier (Teil III).-
TM KDT 18, 3, S. 3 - 7, 1977
44. **HAASE, H.:**Hydrologische Verhältnisse im Versickerungsgebiet des Südharz-Vorlandes.-
Diss. Uni Göttingen, 213 S., 1936
45. **KNITZSCHKE, G. & H.-J. KAHMANN:** Der Bergbau auf Kupferschiefer im Sangerhäuser Revier.-
Glückauf 126 (1990), S. 528 - 548.
46. **SUDERLAU, G.:** Die spät- und postglazialen Ablagerungen in den Senken des Raumes Eisleben - Artern - Bad Frankenhausen und ihre ingenieurgeologische Bedeutung.-
Diss. MLU Halle/Wittenberg, 1974
47. **Verein Mansfelder Bergarbeiter Sangerhausen:** Erinnerungswürdiges zum Sangerhäuser
47 S., Sangerhausen, 2000
48. **Ziegler, T.:** Unser Thomas.- Band 1, 224 S., Sangerhausen, 2000
49. **Ziegler, T.:** Unser Thomas.- Band 2, 157 S., Sangerhausen, 2001
50. **Ziegler, T.:** Der Röhrigschacht.- 60 S., Sangerhausen, 2001
51. **Ziegler, T.:** Alabasterknollen und Marienglas.- 66 S., Sangerhausen, 2002
52. **Ziegler, T.:** Der Kunstteich.- 23 S., Sangerhausen, 2009
53. Schriftenreihe Mitteilungen des Karstmuseums Heimkehle, Hefte 1 (1981) bis 22 (1992),
54. Beiträge zur Heimatforschung des Spengler-Museums Sangerhausen, Hefte 1 (1969) bis 11 (1998)
55. Schriftenreihe des Mansfeld-Museums Hettstedt, Hefte 1 (1996) - 8 (2005).
56. Mitteilungen des Vereins Mansfelder Berg- und Hüttenleute e. V., Eisleben, Nr. 1 (1996) bis 133, (2014) , siehe Homepage
57. Informationsblatt des Vereins Mansfelder Bergarbeiter Sangerhausen e. V., seit 1997
- siehe auch: . Internet:** Homepage des Vereins Mansfelder Berg- und Hüttenleute e. V. in Eisleben:
www.vmbh-mansfelder-land.de