

# Der Zechsteinkarst und sein Einfluß auf den Mansfelder Kupferschieferbergbau.-

Martin Spilker, Sangerhausen

(Für Veröffentlichung zum Workshop 2016 in Sangerhausen eingereicht, wegen Redezeitbeschränkung auf das Beispiel „Revier Sangerhausen“ verkürzt – s. dort)

## 1. Vorbemerkung

Über den am südlichen und südöstlichen Rand des Harzes in den Revieren Mansfelder Mulde und Sangerhausen im heutigen Landkreis Mansfelder Land zwischen etwa 1200 und 1990 an der Basis des Zechsteins betriebenen Bergbau (Abb. 1) auf Kupferschiefer hat KNITZSCHKE bereits berichtet. Hier wird über die Schwierigkeiten des Bergbaus mit dem Zechsteinkarst und seinen Einfluss auf die Abbautätigkeit bzw. die Wechselwirkungen zwischen Bergbau und Karst informiert.



Abb. 1: Übersichtskarte zum Kupferschieferbergbau (Geol.-montanhist. Karte, Halle, 2000)

## 2. Ursachen und Entwicklung der Zuflüsse

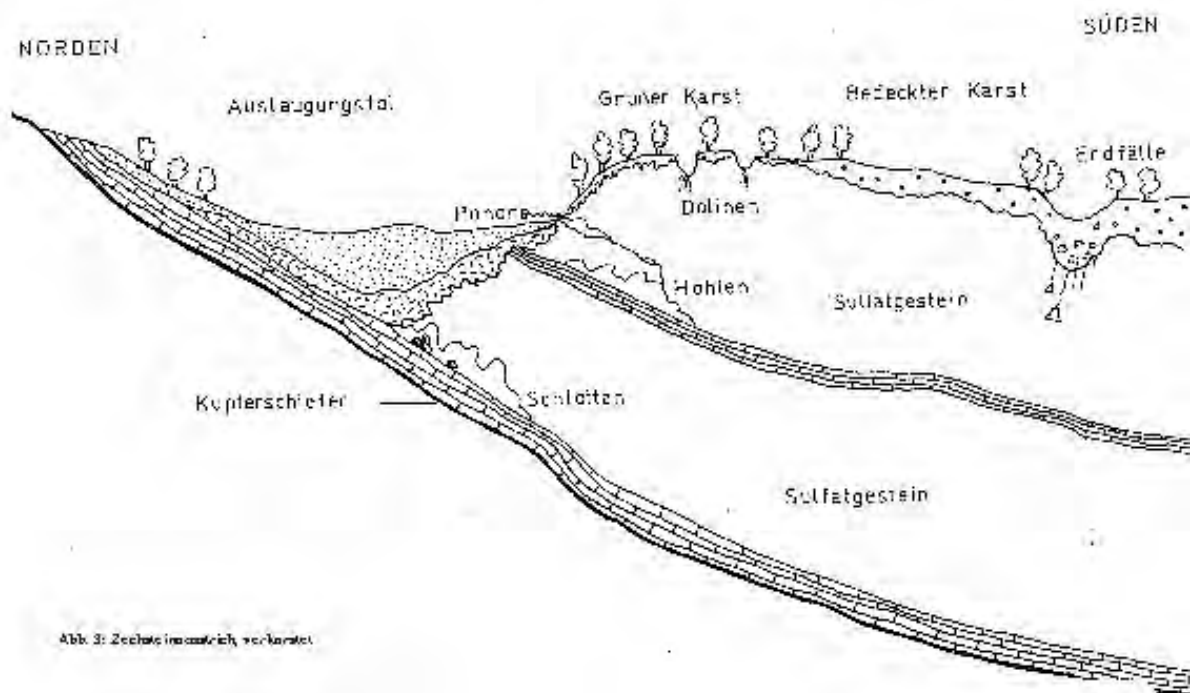
### 2.1 Allgemeines

Am Ausgehenden des Zechsteins am Harzrand, wo wegen des flachen Einfallens der Schichten (Abb. 2) das gesamte Zechsteinprofil in breitem Ausstrich mehr oder weniger schutzlos den Atmosphären ausgesetzt ist, hatte und hat das Wasser als lösendes Medium ideale Infiltrationsmöglichkeiten. Es löst dabei insbesondere die subrodierbaren Gesteinskomponenten im Zechstein (anhydritische Gesteine, Steinsalz) (Abb. 3), schafft Massedefizit in Form von Hohlräumen und führt die gelösten Stoffe in der Regel am gesamten Ausgehenden in Richtung des Schichteinfallens ab. Wird bei Anfall hoher Wassermengen die Kapazität der Zirkulationswege im Einfallen der Schichten überschritten, sind auch relativ weite Wasserbewegungen parallel zum Zechsteinaustrich beobachtet worden.

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

- Schicht- und Faziesgrenzen (z. B. Oberkante Zechsteinkalk/Unterkante Werraanhydrit)
- das Trennflächeninventar tektonisch stärker beanspruchter Bereiche,

denn im Umfeld der hydrodynamisch wirksamen tektonischen Störungen und an Verbreitungsgrenzen leicht löslicher Gesteine, wie z. B. Steinsalz, wirken diese Lösungsprozesse besonders intensiv. Am gesamten Harzrand entstand so in beiden Revieren 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, Erdfällen, Bachschwinden und der- gleichen mehr (als Beispiel: Revier Sangerhausen/**Abb. 4**).

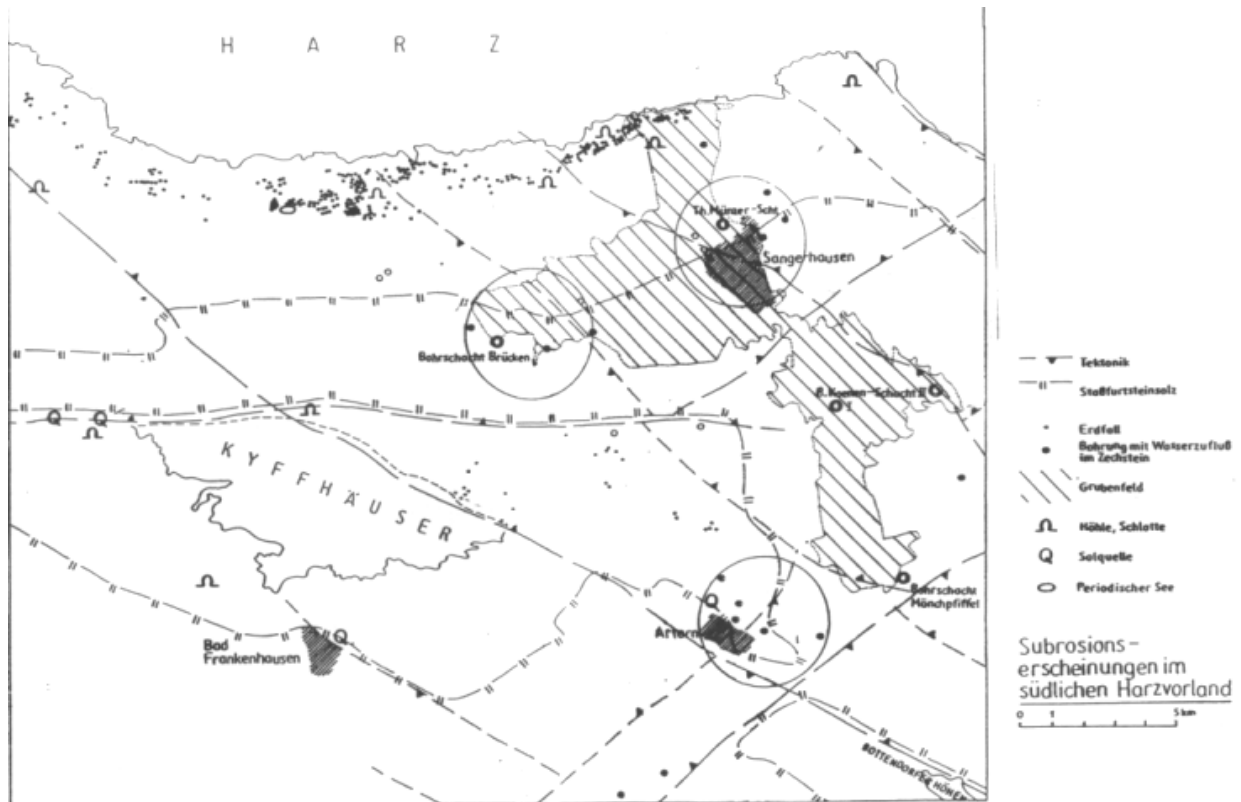


**Abb. 2: Der Zechsteinausstrich** (nach VÖLKER/Mitt. Karstmuseum, H. 22, 1992)

Stratigrafie	Mächtigkeit [m]	Lage von Höhlen oder Schloten
Buntsandstein		
Auslaugungsreste	ca. 25	
Haupt-Anhydrit	50	Höhle Heimkehle
Grauer Salzton	6	
Sangerhäuser Anhydrit	25	Schlote Seegen-Gottes-Stolln
Stäufurt-Steinsalz <small>Basal-Anhydrit</small>	0 bis 300 2	Zerstörungen an der Salzoberfläche bzw. an der Salzverbreitungsgrenze sind die Ursache für bruchlose Senkungen der Tagesoberfläche
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	
<small>Kupferschiefer</small>	0,4	
<small>Weisliegendes</small>	1	
Rotliegendes		

Abb. 3 Das Zechsteinprofil

Auf Grund dieser Vorgänge entstand entlang des gesamten Harzrandes ein von Lockersedimenten ausgefülltes Tal. Es wird auf seiner vom Harz abgewandten Seite begrenzt durch einen vom Hauptanhydrit gebildeten Talhang, auf dessen Top der auf dem Zechstein aufliegende Buntsandstein einsetzt. Dessen Basisschichten sind tonig ausgebildet und schützen so den Zechstein gegen den Angriff des Wassers von oben. In diesem Bereich liegt auch etwa die Front der aktiven Auslaugung der anhydritischen Gesteine und die Linie der am weitesten vom Ausgehenden entfernt auf der Basis der Zerstörung der Zechsteinsulfate entstandenen Erdfälle (Abb. 4).



**Abb. 4: Karte der Subrosionsschwerpunkte im Revier Sangerhausen**

Noch weiter vom Ausgehenden entfernt liegen an den Verbreitungsgrenzen der Steinsalzhorizonte (Werra- und Staßfurtsteinsalz) weitere Bereiche intensiverer natürlicher Gesteinszerstörung, über denen an der Tagesoberfläche durch unterschiedlich kräftige Senkungen die Intensivität der 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 auch die Zuflussschwerpunkte von Salzwasser unter Tage und die großen Wassereinbrüche in den Bergbau in beiden Revieren gebunden.

Wegen ihrer Herkunft sind die Zuflüsse unter Tage in der Nähe des Ausgehenden mehr oder weniger deutlich niederschlagsabhängig. Es handelt sich dann generell um Süßwasser mit 50 bis über 100 °dH, das vielfach als Trinkwasser genutzt wurde.

Man muss dazu auch erwähnen, dass diese Wirkungen insgesamt natürlich motiviert sind, aber durch den Einfluss des Bergbaus eine schwerpunktmäßig an tektonische Schwächezonen und Faziesgrenzen orientierte Verstärkung erfahren haben (Beispiel Senkungen in der Mansfelder Mulde/**Abb. 5**).

## 2.2 Die Zuflussentwicklung in der Mansfelder Mulde

Die Zuflüsse aus dem verkarsteten Hangenden des Kupferschiefers nahmen mit dem Vordringen des Abbaus in immer größere Teufen so zu, dass bereits um 1550 die Auffahrung von Stollen zur Abführung der Grubenwässer begann. Der bedeutendste dieser Stollen ist mit 32 km Länge der zwischen 1809 und 1876 aufgefahrene Schlüsselstollen, einer der längsten Wasserhaltungsstollen des Erzbergbaus überhaupt. Er ist der tiefste in der Mansfelder Mulde mögliche Stollen und hat sein Mundloch bei Friedeburg an der Saale bei +72 m NN, nur wenig über dem Hochwasserpegel der Saale. Er führt um die gesamte Mansfelder Mulde herum bis an den Westrand von Eisleben.

Der Schlüsselstollen erlebte seine erste große Bewährungsprobe im Zusammenhang mit den ersten großen Wassereinbrüchen Ende des 19. Jahrhunderts. Damals wurden anfangs bis 90 m<sup>3</sup>/min, später über Jahrzehnte zwischen 30 und 40 m<sup>3</sup>/min Salzwasser in die Saale abgeführt (**Abb. 6**). Die mit diesen Wässern transportierte Salzlast lag zunächst bei 5 Mill. t/a, dann über Jahrzehnte bei 2 – 3 Mill t/a.



Das ergibt gegen Ende der Bergbautätigkeit in der Mansfelder Mulde eine Relation in der Größenordnung von etwa  $2000 \text{ m}^3$  Salzwasser oder ca.  $300 \text{ t}$  Salz pro Tonne Kupfer, die bewältigt werden mussten, um den Bergbau überhaupt durchführen zu können.

Nicht einbezogen in diese Kalkulation wurden die oberhalb des Schlüsselstollens anfallenden Süßwässer (Abb. 6), die vor allem über Froschmühlen- und Zabenstedter Stollen gefasst und seit Anfang des 20. Jahrhunderts in zunehmendem Maße über Pumpstationen der Trink- und Brauchwasserversorgung zugeführt wurden. Die so geförderten Mengen an Süßwasser lagen bis um 1970, dem Beginn der Zuführung von Fernwasser aus dem Harz, bei etwa  $11,5 \text{ m}^3/\text{min}$  bzw.  $6 \text{ Mill. m}^3/\text{a}$ .

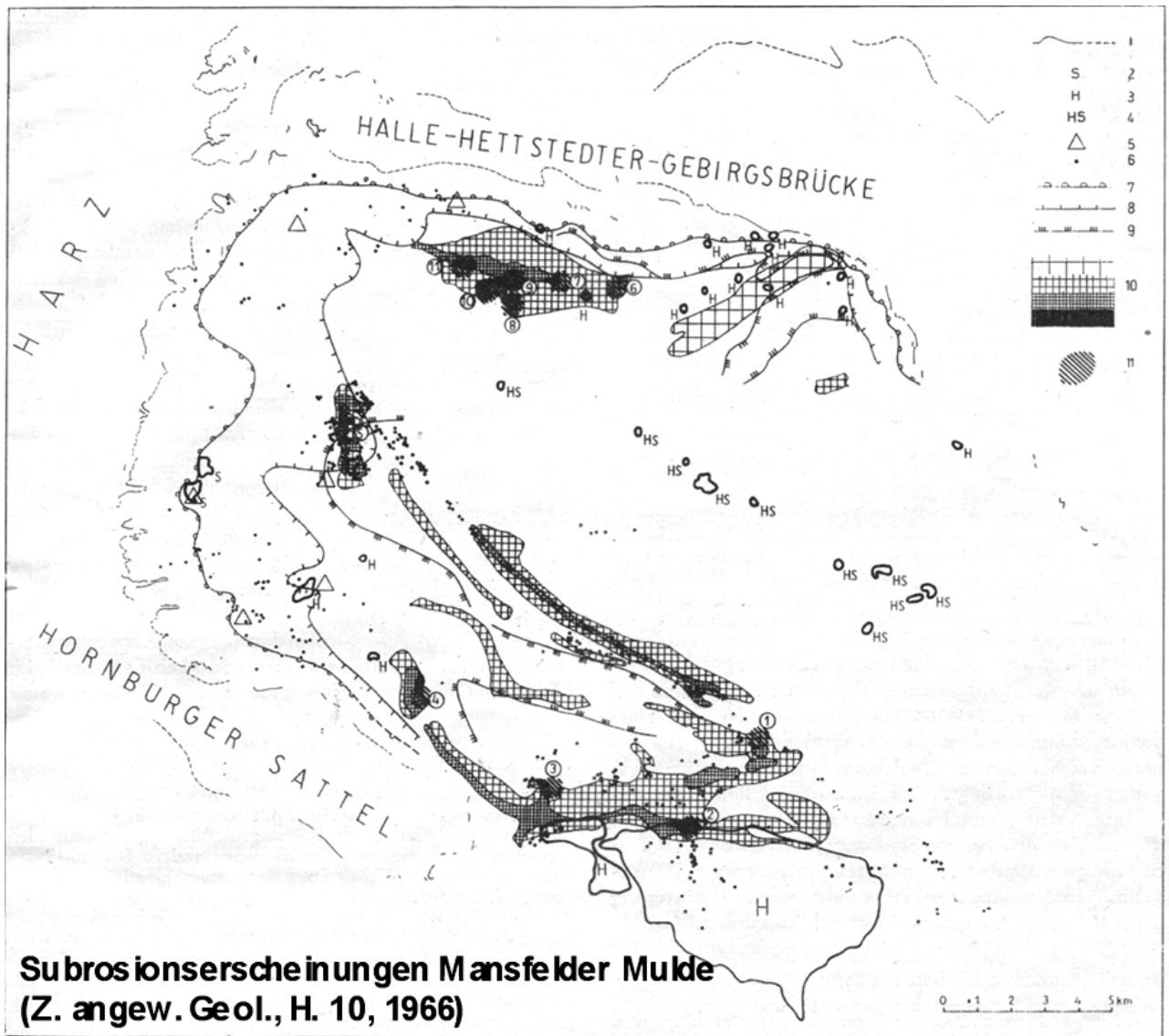


Abb. 5. Karte der Subrosionserscheinungen in der Mansfelder Mulde

1 – Ausgehendes des Kupferschiefers, 2 – Tertiärbecken des Sulfattyps,  
3 – Tertiärbecken des Halittyps, 4 – Tertiärbecken des Halit-Sulfat-Typs,  
5 – natürliche Schlottenbereiche, 6 – Erdfälle, 7 – Grenze der Veraschung,  
8 – Grenze der Vergipsung im A 1, 9 – Grenzen der Vergipsung im A 3,

10 – Senkungsgebiete (nach KAMMHOlz 1964)  
1955 – 1961 < 10 mm  
1955 20 – 100 mm  
1955 > 100 mm  
1955 > 1000 mm

1 – Bindersee  
2 – Unterröblingen  
3 – Erdeborn  
4 – Helfta  
5 – F 180 nördl. Eisleben  
6 – östl. Lochwitz

1962–1963

130 mm  
520 mm  
700 mm  
1140 mm  
380 mm  
30 mm

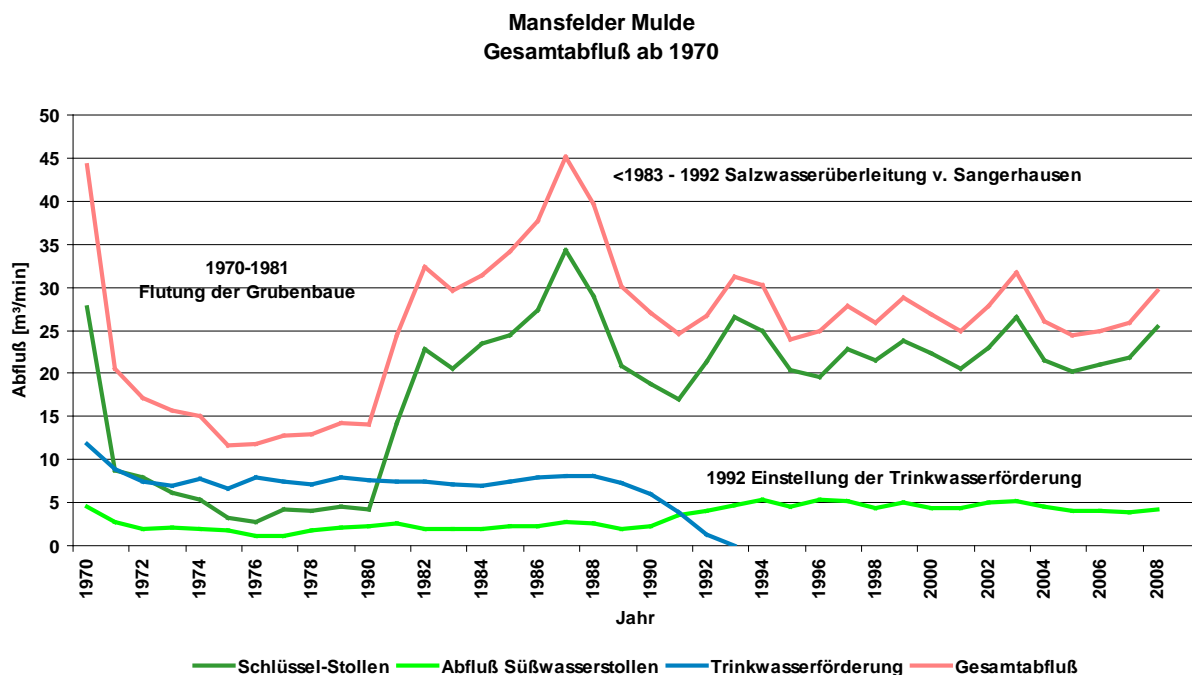
11 – Senkungsgebiete (umrandete Ziffern)

7 – Heiligenthal -  
8 – südl. Helmsdorf  
9 – nördl. Helmsdorf  
10 – östl. Otto-Brosowski-Schacht  
11 – nördl. Otto-Brosowski-Schacht

1962–1963  
1962–1964

20 mm  
50 mm  
60 mm  
670 mm  
230 mm

Abb. 5: Subrosionssenkungen in der Mansfelder Mulde



**Abb. 6: Salz- und Süßwasserabfluss aus der Mansfelder Mulde**

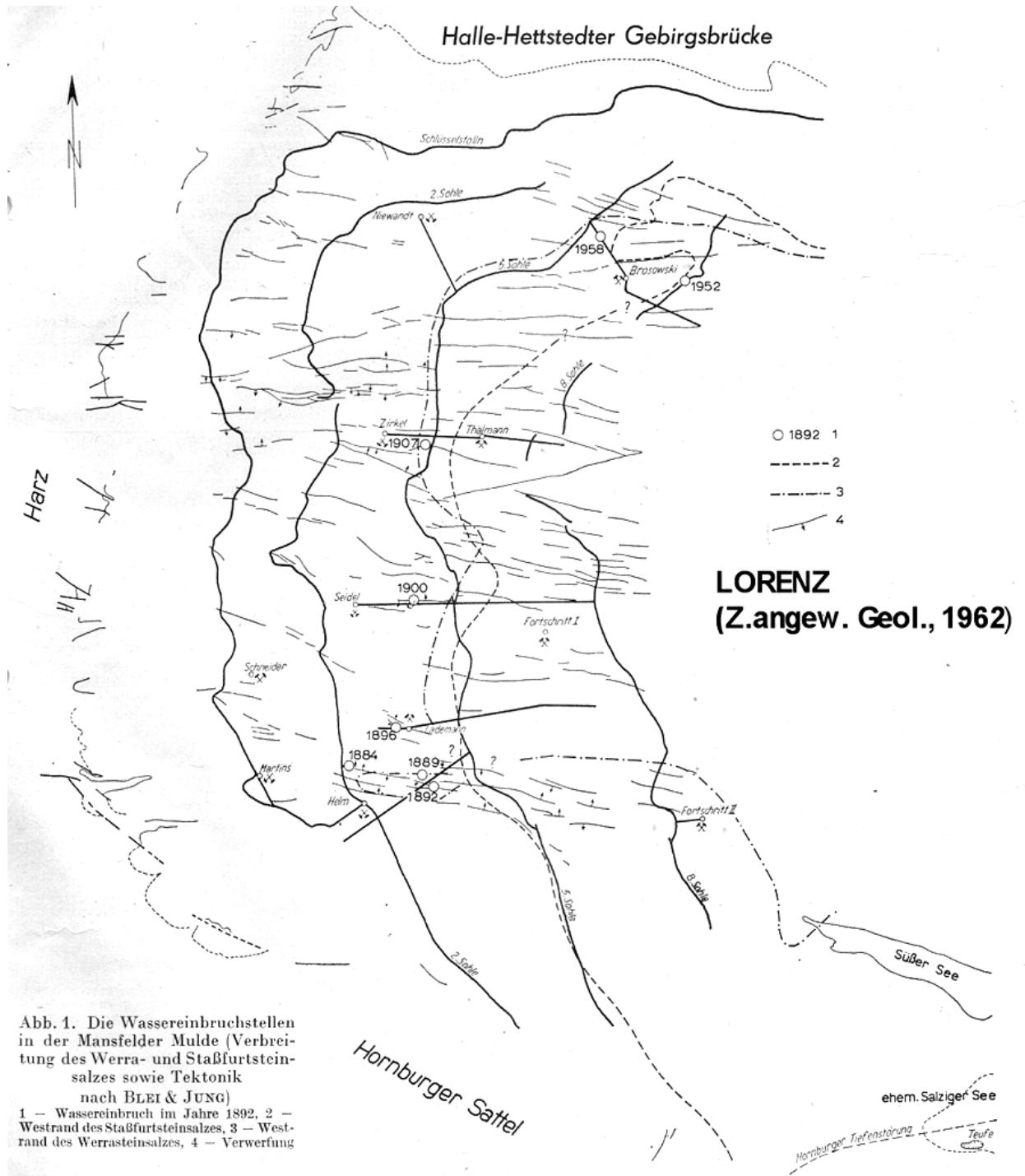
Für die Beeinflussung der Tagesoberfläche durch Bergbausenkungen war weniger die reine bergmännische Tätigkeit als vielmehr die Beeinflussung der im Gebirge vorhandenen natürlichen Zirkulationswege durch die Abbautätigkeit verantwortlich. Sie wirkte durch ihre Kluftbildung im Hangenden des Kupferschiefers und den dadurch entstehenden direkten Zusammenhang zwischen Zirkulationshorizont und Grubengebäude in unterschiedlichem Maße, teilweise extrem, zirkulationsbeschleunigend.

SUDERLAU spricht 1974 von einer etwa 18- bis 98-fachen, lokal sogar von einer 600-fachen Zunahme der Senkungsgeschwindigkeit gegenüber dem natürlichen Tempo.

Vor allem dieser Fakt hatte im Zusammenwirken mit der hohen Löslichkeit von Teilen des Gebirges und der dadurch über die Wasserhaltung abgeführte Salzlast Bedeutung für den Substanzschwund im Gebirge und die an der Tagesoberfläche zunehmend auftretenden großflächigen Senkungen.

An diese Areale waren auch unter Tage die hohen Wasserzuflüsse und die Wassereinbrüche in den Bergbau gebunden. Dies machte sich besonders gravierend schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts bemerkbar, als im Grubenfeld unter der Stadt Eisleben in den Otto-Schächten (1884) und dem Clotilde-Schacht (1889, 1892 und 1896) Wassereinbrüche erfolgten (**Abb. 7**), die von starken Erderschütterungen begleitet waren. Dieses seismischen Ereignisse leiteten außerdem erhebliche Senkungen der Erdoberfläche ein, von denen vor allem das Stadtgebiet Eisleben betroffen war (**Abb. 8**). Hier wurden 1894 Senkungsgeschwindigkeiten bis 1,5 m ermittelt. Insgesamt traten hier in den folgenden 10 Jahren Gesamtsenkungen von jeweils fast 4 m auf.

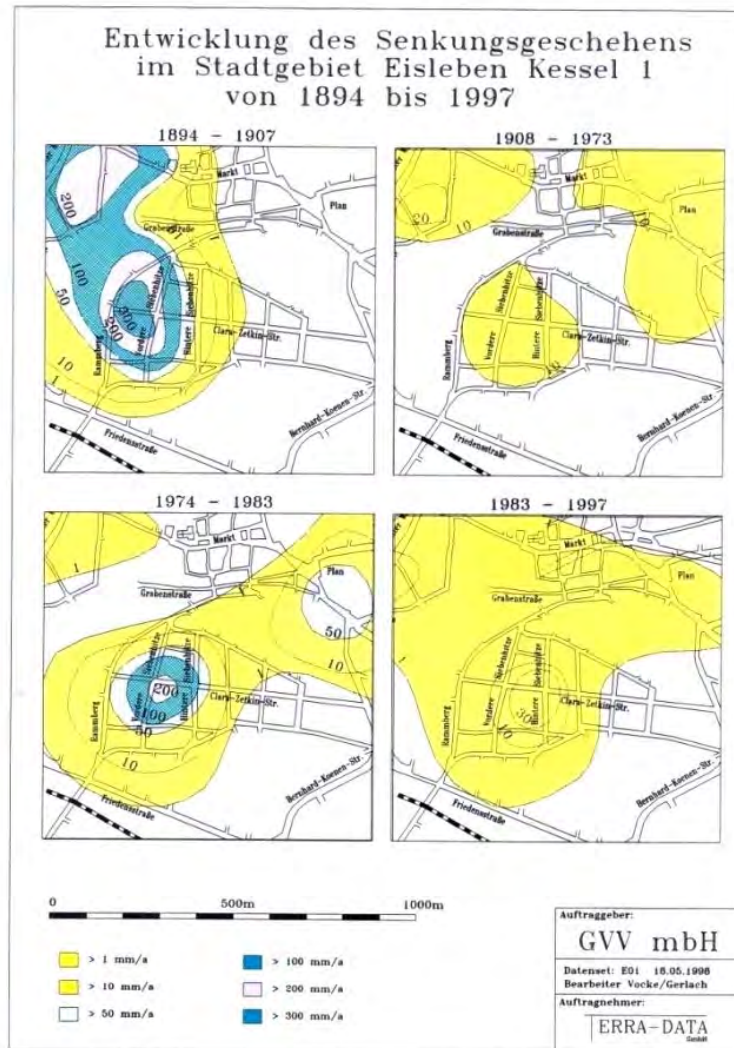
Diese Vorgänge verliefen parallel mit erheblichen Rissbildungen am Nordufer des Süßen Sees und den durch teilweise Umkehr der Fließrichtung der Karstwässer bedingten Wasserverlusten im Salzigen See (Größe: 875 ha, 69 Mill. m<sup>3</sup>), die letztlich zur Entscheidung führten, den See (**Abb. 9**) trocken zu legen.



**Abb. 7: Lage der Wassereintrüche in der Mansfelder Mulde**

Der Zusammenhang zwischen dem Salzigen See und dem Bergbau wurde durch die Wasserverluste im Binder See in den Jahren 1962 und 1968 nochmals nachdrücklich bestätigt (**Abb. 10**).

Nach den Senkungsperioden zu Anfang des 20. Jahrhunderts verringerten sich die Senkungsbeträge vor allem in der Stadt Eisleben auf wenige dm bzw. cm pro Jahr. Dies wurde neben der Verlagerung der Schwerpunkte der Wasserzuflüsse weiter nach Norden in den Bereich des Zirkelschachtes vor allem mit der Annahme begründet, das Steinsalz sei inzwischen vollständig zerstört worden.



**Abb. 8: Senkungen in Eisleben**



**Abb. 9: Karte des Salzigen Sees im 19. J**

In der Folgezeit lagen die Senkungsschwerpunkte vorwiegend außerhalb von Eisleben an der B 180, in Volkstedt, am Brosowski-Schacht, zumindest aber am Rande der Stadt, z.B. im Ortsteil Helfta, in dem sich seit Ende der 1950er Jahre zunehmend Senkungen zeigten.



## Binder See 1962 und 1968

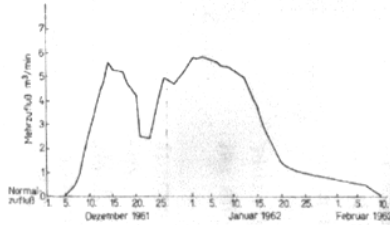


Abb. 5. Mehrzuflüsse in der 5. Sohle, Zirkelschacht, vom Dezember 1961 bis Februar 1962

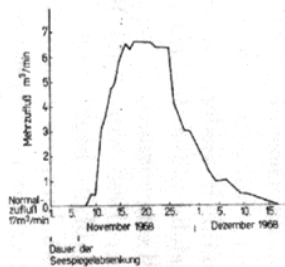


Abb. 4. Mehrzuflüsse in der 5. Sohle, Zirkelschacht, im November/Dezember 1968

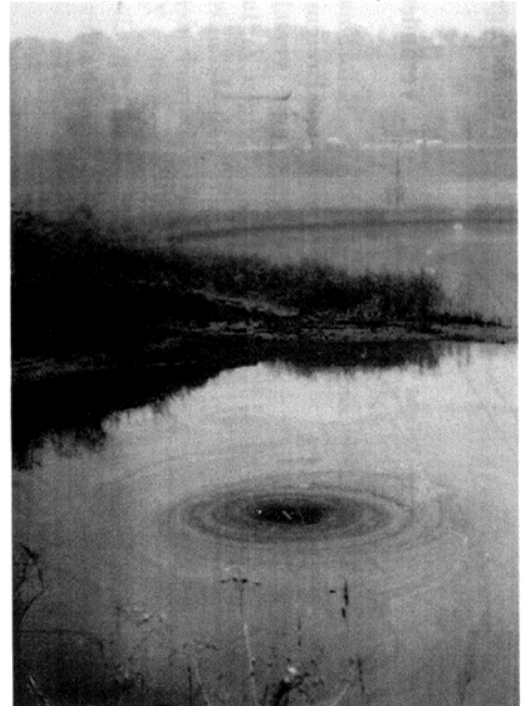


Abb. 10: Der Wasserabgang aus dem Binder See 1961 und 1968

### 2.2 Die Zuflussentwicklung im Revier Sangerhausen

Im Sangerhäuser Revier war wegen seines direkten Kontaktes zum Kupferschieferausstrich das Grubenfeld des Schachtes Sangerhausen als hydrogeologisch gefährdet eingestuft. Die von den Alten beim Abbau am Ausgehenden angetroffenen Wässer wurden weitestgehend durch Stollen (Seegen-Gottes-Stollen, Gonnaer Stollen) abgeführt. Nach 1945 begann mit dem Teufen der Schächte Thomas Münzer in Sangerhausen und Bernard Koenen 1 und 2 in Niederröblingen und Nienstedt die Entwicklung des Abbaus in größere Teufen und damit die Gefahr neuer Wasserzuflüsse. Aus der Entwicklung heraus wurde für den Thomas-Münzer-Schacht die Hauptwasserhaltung im Füllortbereich auf der 5. Sohle angelegt. Sie förderte direkt in den Vorfluter Gonna. In den Jahren nach 1980 mussten infolge der Zuflussentwicklung in der Grube Sangerhausen (**Abb. 11**) erhebliche Anstrengungen zur Verstärkung der Wasserhaltung dieses Schachtes und zum Schutz der Vorfluter der Bau einer Salzwasserfernleitung bis in die Mansfelder Mulde unternommen werden, denn die Zuflüsse erreichten nach allmählicher Steigerung ab 1985 im Westfeld 1988 mit Mengen von über 30 m<sup>3</sup>/min ihren Höhepunkt. Dies führte dann auch zur vorzeitigen Aufgabe des Abbaus im Westfeld und zur Abkapselung dieses Teilfeldes mittels Betondämmen und später auch des Ostfeldes. Aus den Standortbedingungen ergab sich die Notwendigkeit, sie für Drücke von etwa 7 MPa (Niveau Vorfluter über Tage) auszulegen (**Abb. 12**). 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 Pegelbohrungen niedergebracht. Die mittels dieser Pegel ab 1989 erfolgende Beobachtung der Wasserstände im Karstwasserleiter Zechstein ergab, dass sich im Raum Sangerhausen entlang der Verbreitungsgrenze des Staßfurtsteinsalzes ein über die Baufeldgrenzen im Osten und im Westen weit hinausreichender, langgestreckter Absenkungstrichter ausgebildet hatte. Außerdem wurde deutlich, dass sich die Zuflussschwankungen unter Tage infolge der Dammbauten postwendend im Karstwasserleiter widerspiegeln (**Abb. 13**).

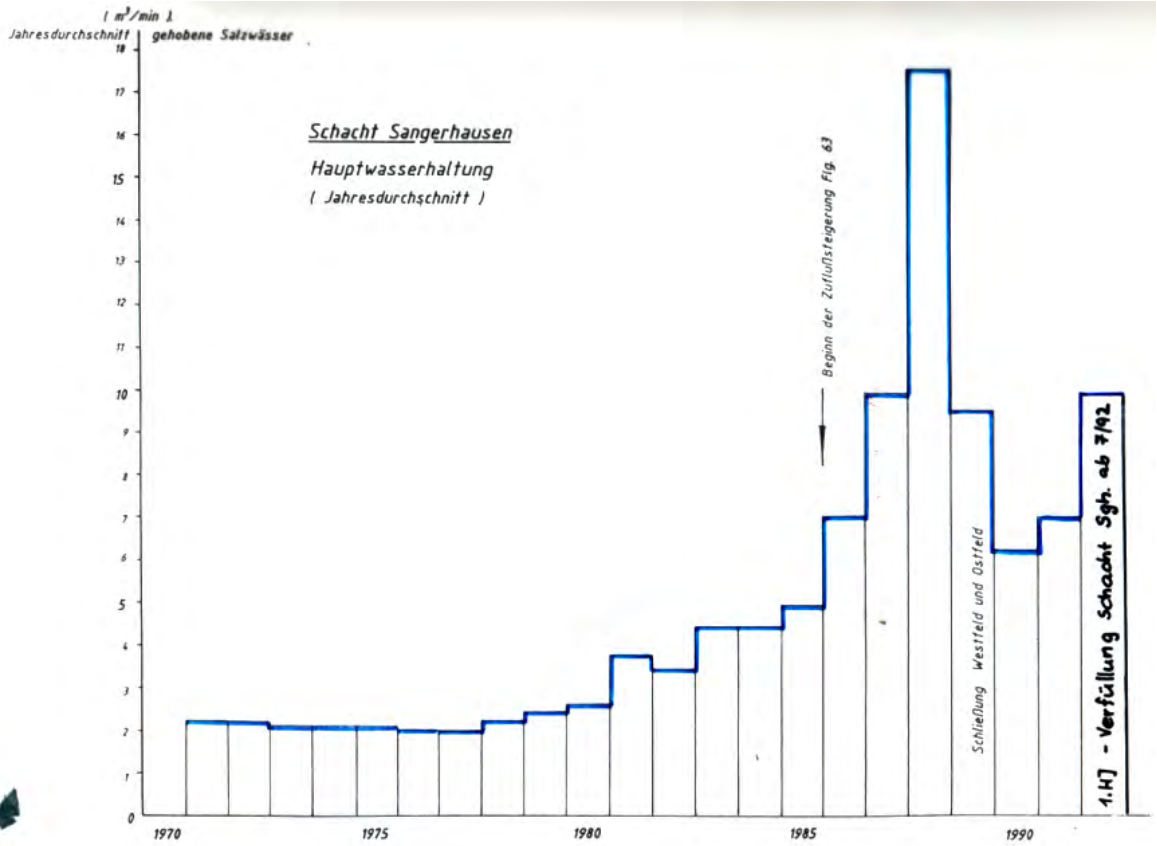


Abb. 11: Zuflussentwicklung im Schacht Sangerhausen

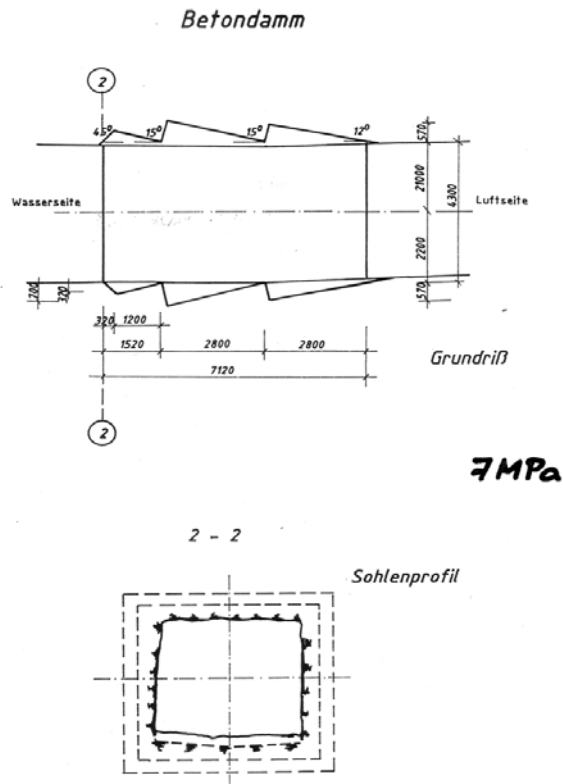


Abb. 12: Darstellung der Dammkonstruktion

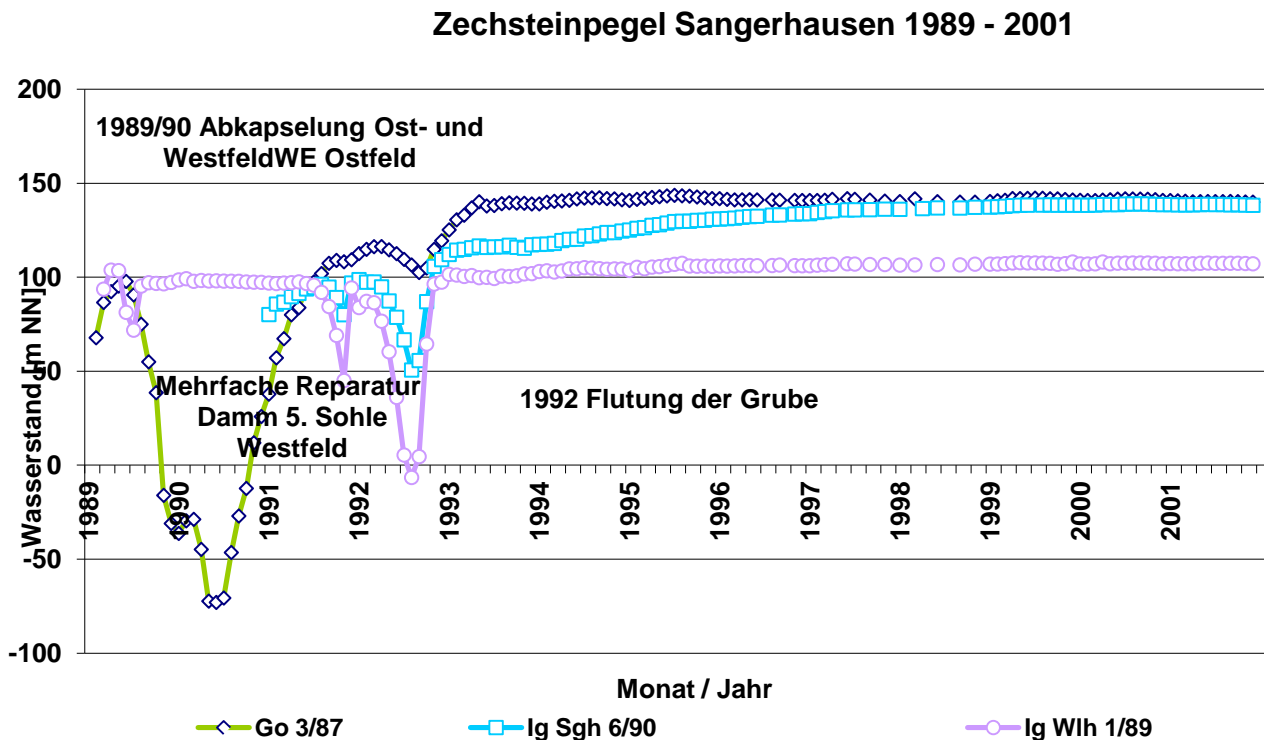


Abb. 13: Ganglinien der Zechsteinpegel bei Sangerhausen

Der Wasserentzug durch den Bergbau wirkte sich noch ca. 15 km westlich des Zuflussschwerpunktes Westfeld des Schachtes Sangerhausen aus, indem er die am Nordrand des Kyffhäusers bei Kelbra vorhandenen Solquellen zum Versiegen brachte und im Gefolge dieses hydraulischen Defizits im Randbereich des Stausees Kelbra erstmals die sonst unter Wasser stehende sog. Numburger Höhle freigab (Abb. 14). In deren Umfeld traten im Beckenbereich des Stausees infolge des abgesenkten Karstwasserspiegels eine Reihe von großformatigen Erdfällen auf (Abb. 15 u. 16).

Die Herkunft der im Westfeld des Schachtes Sangerhausen zusitzenden Wässer aus dem Bereich des Stausees Kelbra wurde zunächst nur vermutet und dann aber auch durch einen Tracerversuch nachgewiesen. Danach betrug die Zirkulationsgeschwindigkeit zwischen Stausee und dem Westfeld des Thomas-Münzer-Schachtes etwa 70 Tage oder etwa 15 cm/min.

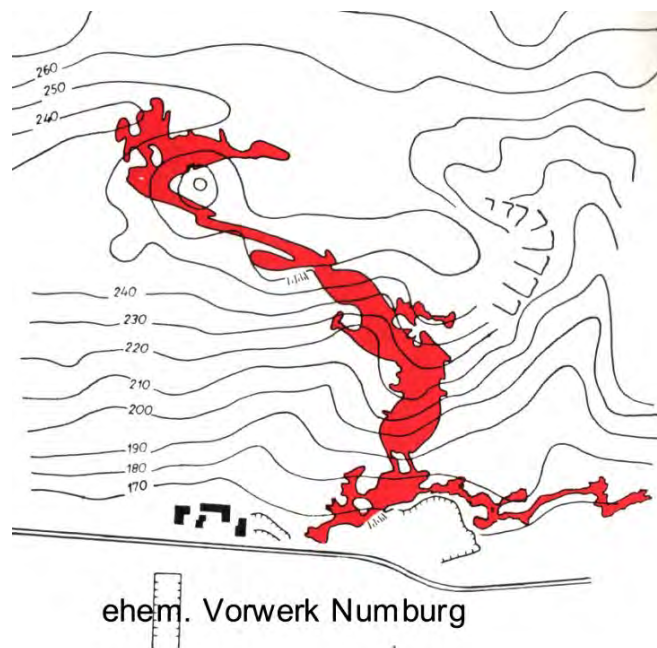


Abb. 14: Grundriss der Numburger Höhle (aus: Die Numburger Höhle, Mitt. Karstmuseum Heimkehle, 21, 1991)



**Abb. 15: Erdfall am Südrand des Stausees Kelbra**



**Abb. 16: Erdfall im wasserlosen Stausee, im Hintergrund Gebäude des ehem. Vorwerks**

Auch im Revier Sangerhausen stellten sich mit Beginn des Zuflusses von Salzwässern in den Verbreitungsgebieten von Steinsalz über Tage Senkungen ein (**Abb. 17 u. 18**). 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 betrug bis zur Beendigung des Bergbaus 1990 in Summe etwa 500 mm. Dieser Betrag ist zu korrelieren mit dem damaligen Salzaustrag aus dem T.-Münzer-Schacht von etwa 40 - 45 kg/s bzw. 2,5 t/min.

Trotz dieses enormen Wasserentzugs aus dem Karstwasserleiter gab es keinerlei Beeinträchtigungen der unmittelbar über dem Zuflussschwerpunkt aus dem Buntsandstein fördernden Brunnengalerie, die das Trinkwasser für die Region lieferte. Ein dort stehender Pegel zeigte ständig, und auch heute noch, einen über Gelände gespannten Wasserstand im Buntsandstein.



### 3. Die Stilllegung der Bergbaubetriebe

#### 3.1 Das Revier Mansfelder Mulde

Als mit der Einstellung des Abbaus in der Mansfelder Mulde die Frage der Verwahrung dieses ausgedehnten Bergbaureviers akut wurde, standen neben der Sicherung der Schachtröhren vor allem die Folgen der Einstellung der Wasserhaltung und damit das Problem des Tiefenkarstes im Mittelpunkt der Diskussion. Die Verwahrung wurde damit neben einer technischen auch zu einer hydrogeologischen Problemstellung.

Der Bergbau auf Kupferschiefer hat, wie schon ausgeführt wurde, neben vielen Schächten Stollen, Strecken- und Sohlenauffahrungen und vor allem ausgedehnte Abbauräume hinterlassen. Für das unterhalb des Schlüsselstollens bergmännisch entstandene Hohlraumvolumen wurden 44 Mill. m<sup>3</sup> errechnet. Dazu kamen die nicht exakt zu berechnenden Karsthohlräume.



Abb. 17: Lage der Hauptzuflussstelle im Westfeld des Schachtes Sangerhausen

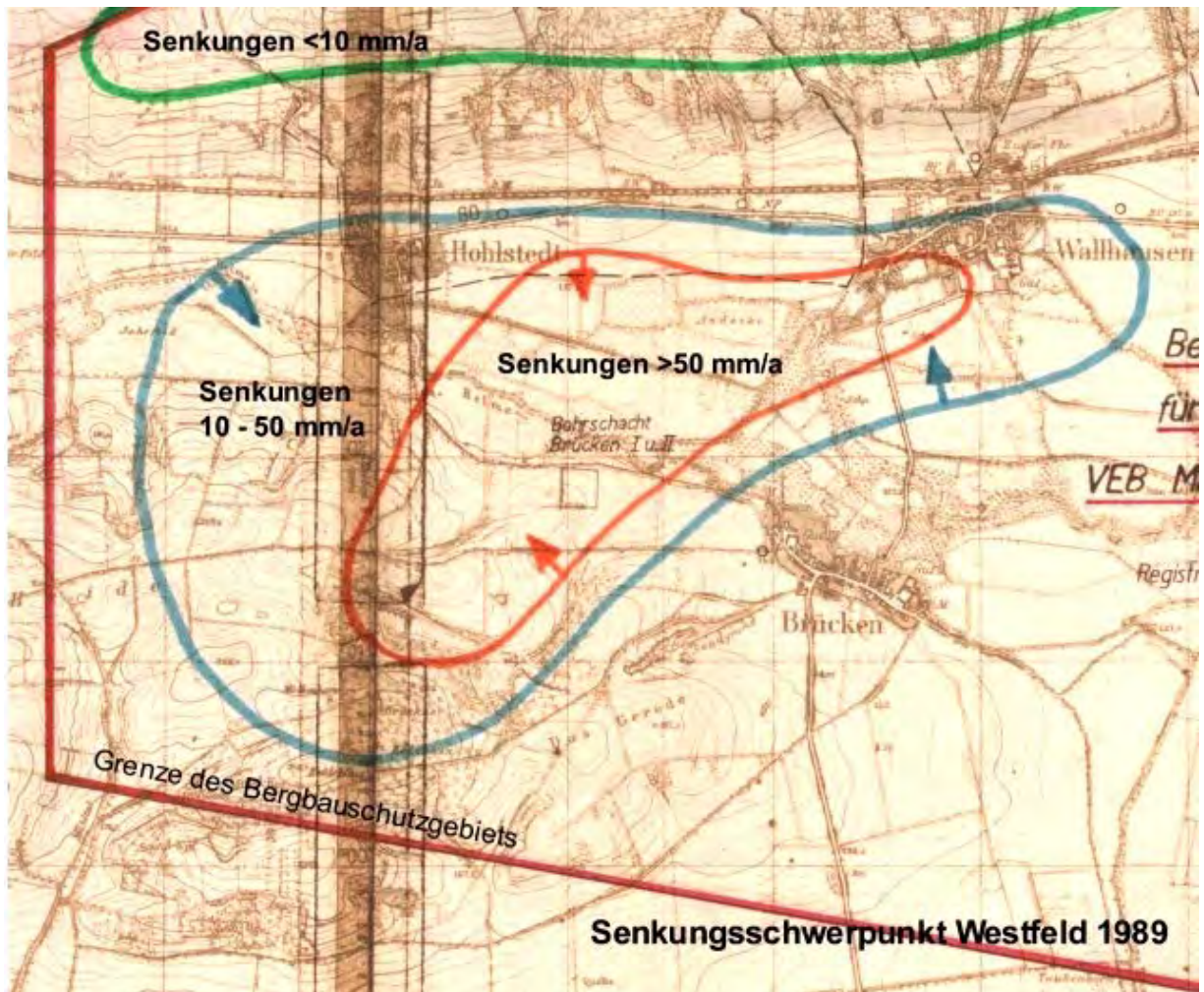


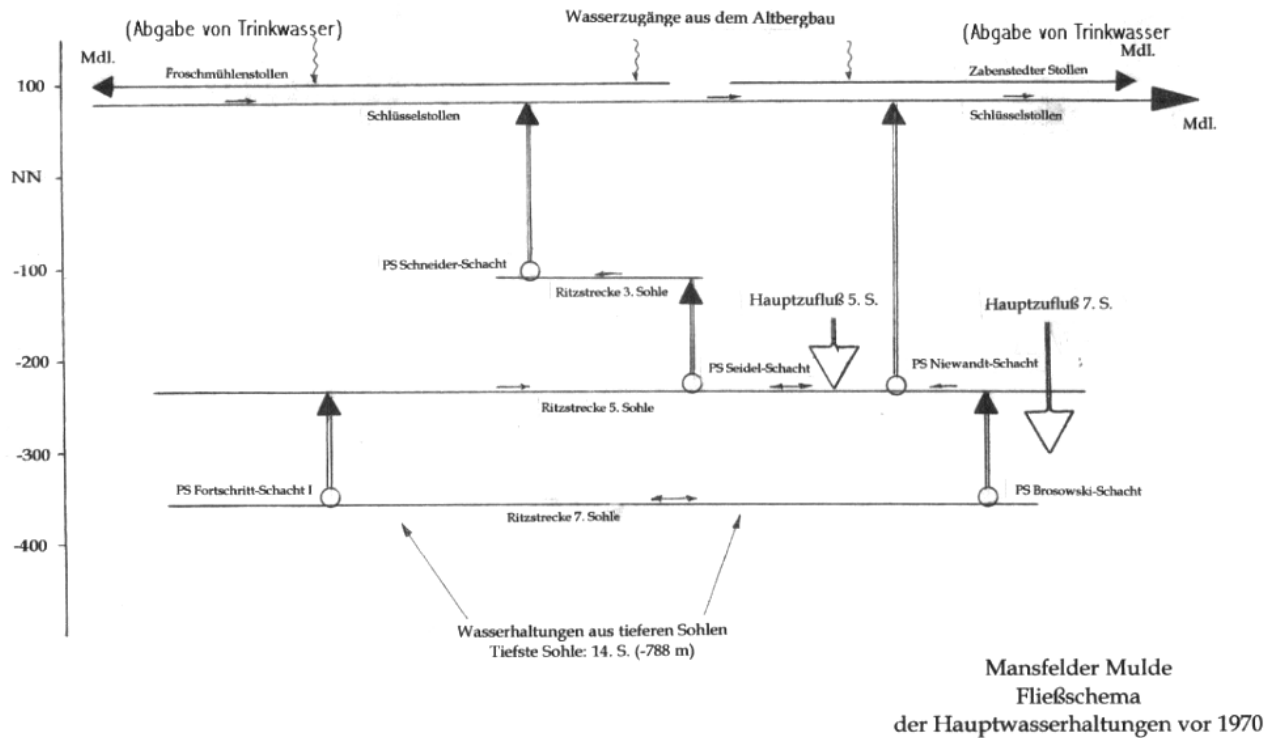
Abb. 18: Lage des Senkungsgebietes im Westfeld des Schachtes Sangerhausen an der Tagesoberfläche

Die Verwahrung der Schächte erfolgte durch Verfüllung der Schachtröhren. Dazu wurde in der Mansfelder Mulde, wo die Verwahrung bereits 1968 begann, grobes Schlackenmaterial der Hütten (sog. Deckelschutt) und hauptsächlich Haldenmaterial (Zechsteinkalk) verwendet. Die Verfüllung musste abgeschlossen sein, ehe das tiefste Füllort des Schachtes unter Wasser kam. In den Schächten mit Steinsalzaufschluss, also den tiefsten Schächten, sollten Tonsperren die vertikale Wasserzirkulation unterbinden und die Versalzung höherer Grundwasserstockwerke verhindern.

Die größten Probleme ergaben sich aber aus der Vorbereitung der Einstellung der Wasserhaltung und der ihr zwangsläufig folgenden Flutung der Mansfelder Mulde.

Es war von vornherein klar, dass nur durch eine Flutung der Grubenräume eine Verminderung der Zirkulationsgeschwindigkeit der Wässer und damit eine Verminderung der ausgedehnten Senkungen der Tagesoberfläche und der in ihrem Gefolge in zahlreichen Ortschaften und an der Infrastruktur eingetretenen Schäden bewirken konnte.

Die Untersuchungen dazu zogen sich zunächst bis 1969 hin, denn erst dann beschloss der Rat des Bezirkes Halle, einer 1. Etappe der Flutung bis zur 3. Sohle (-110 m NN) zuzustimmen, weil bis in dieses Niveau keinerlei Auswirkung auf Dritte zu befürchten und in der 3. Sohle (Walter-Schneider-Schächte) eine Wasserhaltung mit für eine Unterbrechung der Flutung ausreichenden Kapazität vorhanden war (Abb.19).



**Abb. 19: Schema der Wasserhaltung in der Mansfelder Mulde**

Mit Abschluss dieser Etappe und unter Berücksichtigung der inzwischen erzielten Untersuchungsergebnisse legte der Rat des Bezirkes auf Vorschlag der o.g. Expertengruppe dann Ende 1973 fest, die Flutung mit Erreichen der 3. Sohle ohne Unterbrechung bis zum Endniveau Schlüsselstollen fortzusetzen. Dieses Ziel sollte nach unterschiedlichen Prognosen zwischen 1976 und 1988 abgeschlossen sein. (**Abb. 20**) Beginnend mit dem 1. Juli 1970 wurden durch Öffnen der Ritzstrecke 7. Sohle am Fortschritt-Schacht I etwa  $38 \text{ m}^3/\text{min}$  (ca.  $55 \text{ Tm}^3/\text{d}$ ) Salzwasser ins Muldentiefste geleitet. Mit diesen Mengen wurde

1971	die	5.	Sohle	(-235	m	NN),
1974	die	3.	Sohle	(-110	m	NN) überstaut und
1981			der Schlüsselstollen (+72 m NN), das Endniveau, erreicht.			

Damit hatte sich der Anstau der Wässer im Grubengebäude grob innerhalb der errechneten Toleranzen vollzogen. Im Bereich des Salzigen Sees war das hydraulische Niveau im Zechstein bereits wieder über Flur gespannt (**Abb. 21**).



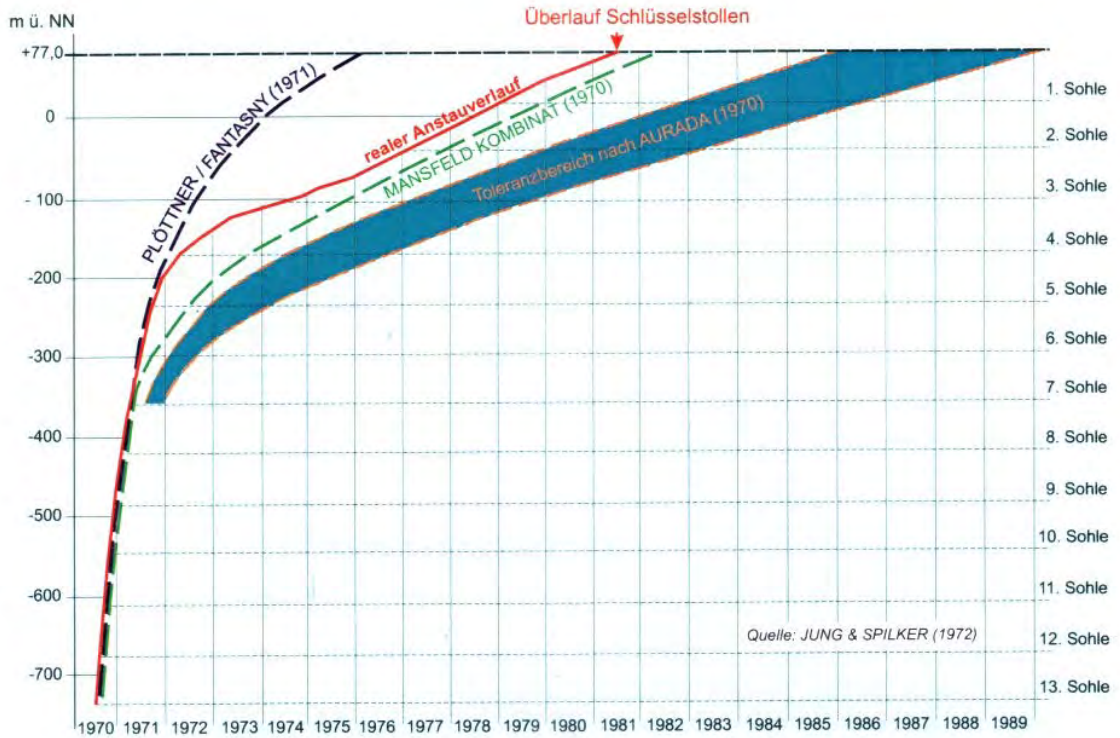


Abb. 20: Prognosen und Verlauf der Flutung in der Mansfelder Mulde

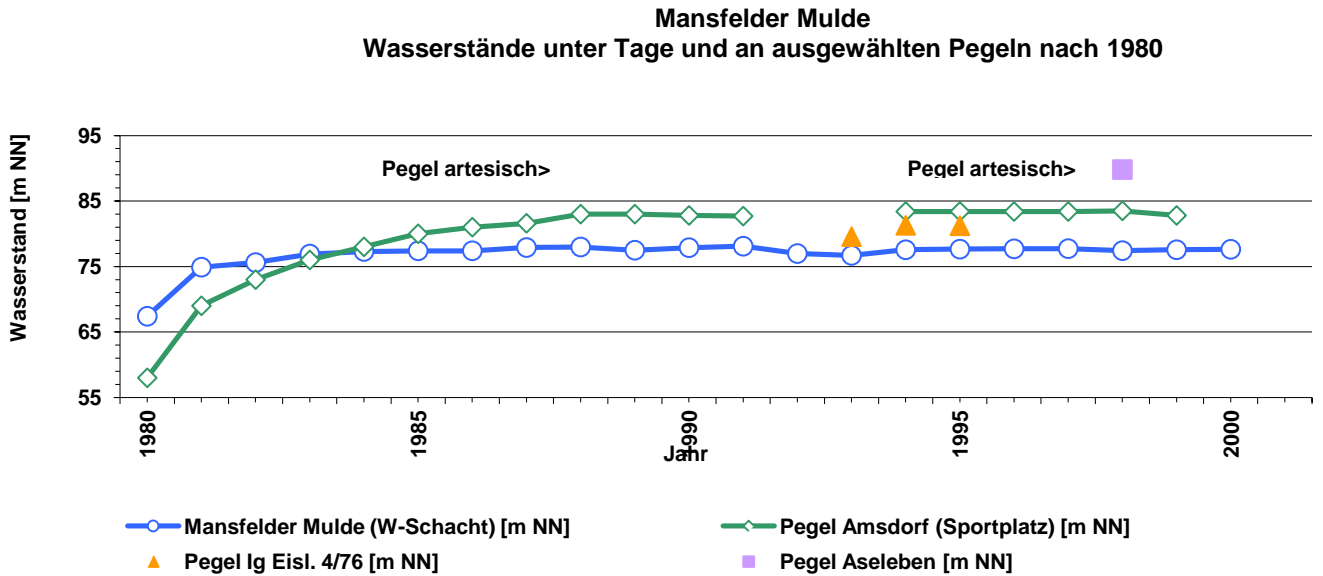


Abb. 21: Wasserstände in der Mansfelder Mulde

Der Anstau hatte in seinen Auswirkungen auf das Territorium zunächst keine Schäden angerichtet. Auch bezüglich der Senkungstätigkeit waren zunächst die Erwartungen eingetreten, d. h. es war beim Wasseranstieg im Grubengebäude beim Überstau der Steinsalzhorizonte wie erwartet zu kurzzeitigen Senkungsbeschleunigungen mit sich anschließender rascher Abnahme der Senkungsbeträge bzw. sogar zu Hebungen gekommen.



Es gab aber einen Bereich mit deutlich anderer Entwicklung, die Stadt Eisleben (**Abb. 22**). Hier traten ab 1975 im Stadtgebiet Senkungen auf, die im Maximum Senkungsgeschwindigkeiten bis zu 1 m/Jahr erreichten. Insgesamt sind hier in den folgenden 10 Jahren Gesamtsenkungen von fast 3 m gemessen worden. Das Senkungsgebiet ist mit Werten deutlich unter 5 cm/Jahr, auch jetzt noch aktiv. Diese Beanspruchung der Tagesoberfläche hatte einen erheblichen Verlust an Bausubstanz (ca. 700 Wohnungseinheiten) zur Folge.

Noch im Jahr 1976 trat, mit einem kräftigen Gebirgsschlag gekoppelt, ein weiteres spektakuläres Senkungsvorkommnis auf. Es ereignete sich am westlichen Stadtrand im Industriegelände der damaligen K.-Liebknecht-Hütte und erreichte bei einem Durchmesser von etwa 150 m schlagartig eine Tiefe von etwa 8 m. (**Abb. 23/24**) Das Neue war hier das großflächige und schlagartige Auftreten der Senkungen.



**Abb. 22: Senkungsschäden in Eisleben (Siebenhitze)**





**Abb. 23: Senkungszentrum beim Schadensfall K.-Liebknecht-Hütte 1976 (Blick v. Osten)**

Diese Ereignisse im Stadtgebiet von Eisleben und an seinem westlichen Rand sind, wie dann relativ rasch erkannt wurde, auf wider Erwarten im Untergrund (Bereich 3. Sohle) noch vorhandene Steinsalzreste und deren Zerstörung bei Überflutung durch den Anstau im Grubengebäude zurückzuführen. Der Erhalt dieser Steinsalzrelikte wurde offensichtlich durch die tektonische Situation im Einflussbereich des Martinschächter Flözgrabens begünstigt. Nördlich davon traten bis in die Jahre nach 1990 am sog. Stiftsteich (**Abb. 25**), einem im Zusammenhang mit den Wassereinbrüchen Ende des 19. Jahrhunderts.







**Abb. 24: Details zu den Schäden im Bereich Karl-Liebknecht-Hütte 1976**

Jahrhunderts entstandenen Erdfall, Perioden mit relativ heftigen Senkungen auf, die auch heute noch nicht völlig abgeklungen sind. Und es gibt weitere Beispiele.

Nach der Verwahrung ist heute in allen Bereichen des ehemaligen Bergbaureviers Mansfelder Mulde geotechnisch und hydrogeologisch ein nahezu stabiler Zustand eingetreten, so dass man vom Erreichen eines etwa natürlichen Ausmaßes der Senkungs- und Abflussvorgänge sprechen kann. Damit ist das Hauptziel, nämlich die Senkungen der Tagesoberfläche infolge Salzauflösung im Untergrund zu minimieren, erreicht. Wesentlich dafür ist, dass die unterhalb der ehem. Zuflussschwerpunkte in der 5. und 7. Sohle liegenden gefluteten Grubenteile nicht mehr oder kaum noch an der Zirkulation teilnehmen. Eine Beeinflussung der Erdfallhäufigkeit am Muldenrand tritt nicht ein. Hier wirken die natürlichen Vorgänge nach wie vor. Sie sind aber gegenüber der ursprünglichen Geschwindigkeit infolge der laufenden Entwässerung (Trockenhaltung) mittels der vom Bergbau hergestellten Grubenbaue (Abbau, Stollen) gegenüber der Zeit des aktiven Bergbaus doch erheblich gebremst.



Abb. 25: Der Stiftsteich 1997 mit deutlich sichtbaren Geländeabrissen in der Uferzone

### 3.2 Das Revier Sangerhausen

Im Revier Sangerhausen galten für die Verwahrung des Reviers die gleichen Prämissen wie in der Mansfelder Mulde. Hier lief die Verwahrung unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Mansfelder Mulde aber nach der politischen Wende in Deutschland und damit unter vollkommen anderen ökonomischen und technischen Rahmenbedingungen ab. Wie schon gesagt, wurde zunächst versucht, das Hauptzuflussgebiet im Westfeld des Schachtes Sangerhausen durch Abkapselung mittels Dämmen vom übrigen Grubenfeld zu trennen. Über die Zirkulationswege entlang der Verbreitungsgrenze des Staßfurtsteinsalzes traten diese Wässer aber postwendend über das Ostfeld in die Grube, so dass trotz Abkapselung auch dieses Baufeldes bald klar wurde, dass die Schachtanlage „Thomas Münzer“ voll-ständig aufgegeben werden muss.

Die Auffassung des Kupferschieferbergbaus war damit auch im Revier Sangerhausen vordringlich ein hydrogeologisches Problem. Als eine der wichtigsten Verwahrungsmaßnahmen wurde 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 Salzauf-lösung im Gebirge, die Senkungen der Tagesoberfläche und die Schäden an Gebäuden und Infrastruktur einzuschränken bzw. zu vermindern.

Das hydraulische Niveau des in die Gruben einströmenden Karstwassers war bei etwa +150 m NN (Niveau Seegen-Gottes-Stollen) anzunehmen.



Trotz der Trennung der Grubenfelder Sangerhausen und Niederröblingen durch einen Damm war dieses Niveau des Wasserstandes langfristig in beiden Grubenfeldern anzunehmen. Das bedeutete aber, dass sowohl die Rasensohle des Schachtes Niederröblingen als auch die des Bohrschachtes Mönchpiffel tiefer lagen und die Gefahr des Austritts von Grubenwasser nach über Tage über die Schachtröhren bestand (Abb. 26).

Die Flutung des Reviers Sangerhausen begann mit der Grube Sangerhausen. Sie erfolgte bereits 1992 und war wegen der Zuflussmengen und trotz des zur Verfügung stehenden bergmännischen Hohlraums von ca. 6 Mill. m<sup>3</sup> innerhalb von etwa 4 Monaten beendet. Die restlose Auffüllung des durch die Wasserhaltungen im Karstwasserleiter erzeugten Absenkungstrichters gestaltete sich wesentlich langwieriger und war erst einige Jahre später abgeschlossen (s. Abb. 12).

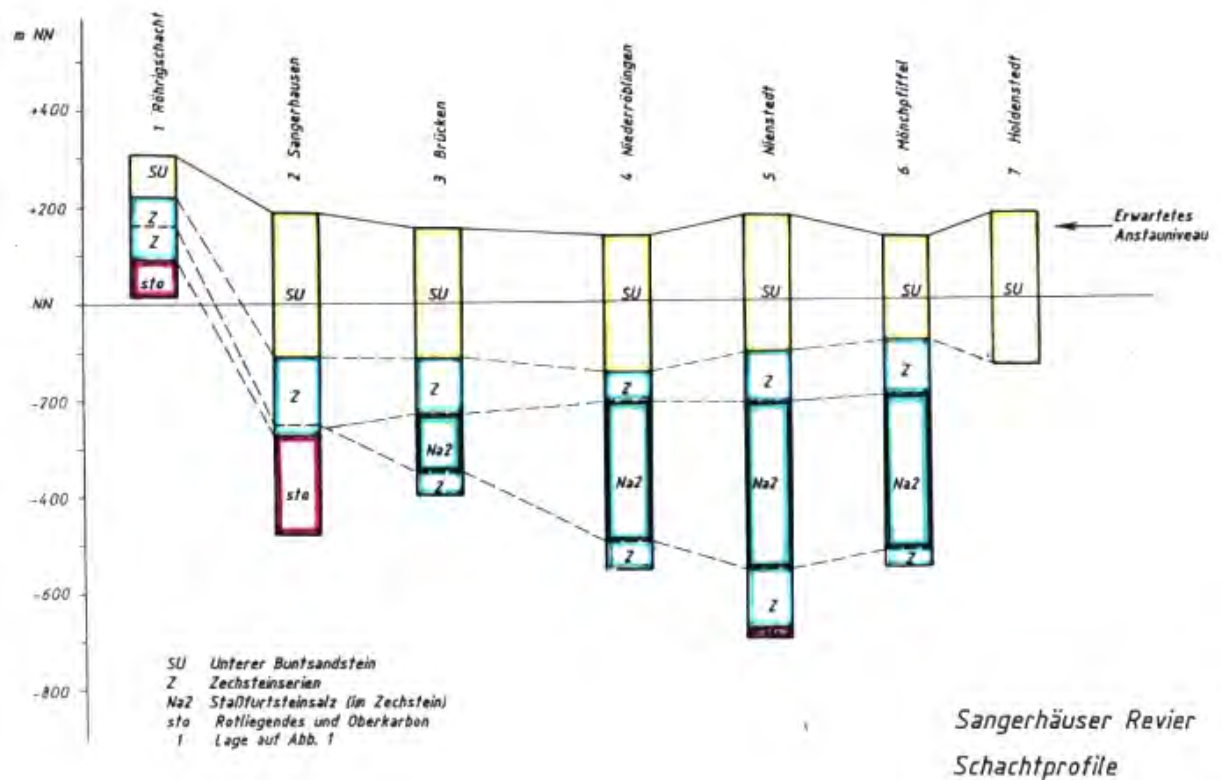
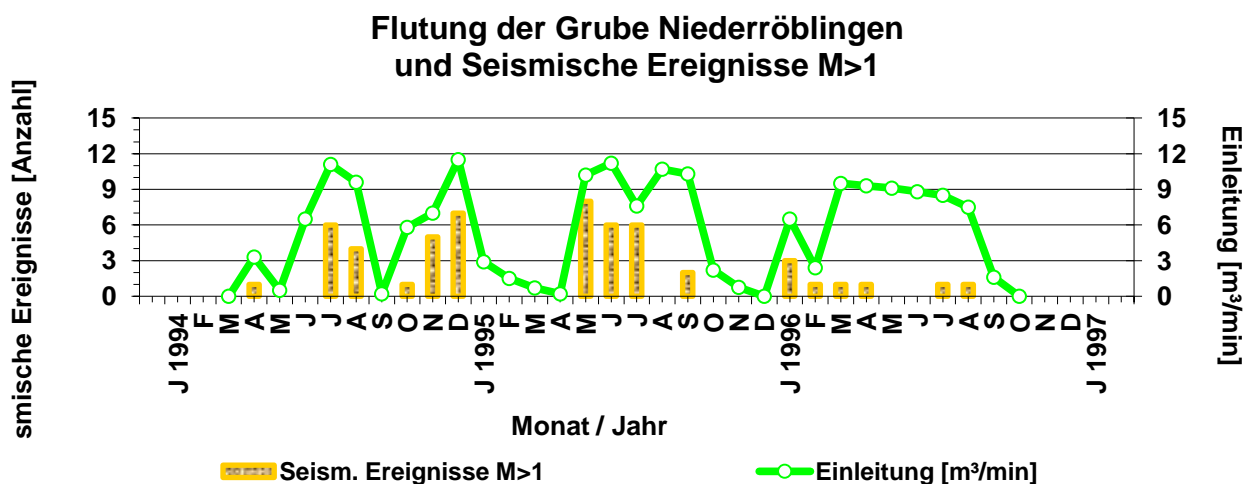


Abb. 26: Die Schachtprofile des Reviers Sangerhausen

Die Grube Sangerhausen war vom Schacht Niederröblingen durch einen Damm im Markscheidpfeiler getrennt worden. Die Flutung der fast zuflussfreien Grube Niederröblingen wurde trotzdem festgelegt, 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 dieser Grube 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. Parallel zur Verfüllung der Schächte wurde dazu 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 in das Niveau der 12. Sohle ein Kontrollpegel zur Überwachung des Wasseranstiegs und in die 7. Sohle ein Bohrloch zur Abführung der vom Wasser unter Tage verdrängten Luft niedergebracht.

Nach Abschluss dieser Arbeiten begann im Frühjahr 1994 die Flutung des über 6 Mill. m<sup>3</sup> umfassenden bergmännischen Hohlraums. Es wurden zunächst Mengen um 11 m<sup>3</sup>/min oder etwa 16 000 m<sup>3</sup>/Tag eingeleitet. Sie reduzierten sich mit zunehmender Füllung der Grube auf Werte um 7 m<sup>3</sup>/min bzw. 10.000 m<sup>3</sup>/Tag (**Abb. 23**). 1996 war die Flutung beendet und die Bohrungen verwahrt. Der Flutungsvorgang selbst 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 sog. 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 (**Abb. 27**).

Wie die danach noch weitergeführte Beobachtung der Standsicherheit der Schachtröhren, der Entwicklung der Senkungen und der Abflüsse aus dem Grubenfeld des Altbergbaus am Ausgehenden ergab (**Abb. 28**), wurde das Verwahrungsziel erreicht. Trotzdem darf nicht vergessen werden, dass die Zirkulation von Wässern im verkarsteten Gebirge, und das betrifft das Grubenfeld Sangerhausen, auf den von der Natur vorgezeichneten Zirkulationswegen auch künftig erfolgt. Beispielsweise resultiert daraus der Restabfluss von Wässern aus dem Grubengebäude des Altbergbaus des Sangerhäuser



**Abb. 27 : Seismische Ereignisse und Flutung in Niederröblingen**

Reviers. Er erfolgt lediglich aus den von den Alten aufgefahrenen Stollen. So führt der Seegen-Gottes-Stolln wegen der im Bergbaumuseum Röhrigschacht betriebenen Wasserhaltung schwach salziges Wasser ab, liegt mit seiner Salzlast aber deutlich unter den früheren Abgabemengen des Reviers Sangerhausen. Ihre Menge stieg bei niedrigerem Salzgehalt aber nach Auffüllung des Absenkungstrichters im Karst wieder auf Werte vor dem Betrieb der Wasserhaltung an.

Die Wässer des gefluteten Grubenfeldes Niederröblingen nehmen heute an keiner Zirkulation mehr teil.

### Ausblick

Einen Aspekt der Einflussnahme des Bergbaus auf die Tagesoberfläche bzw. die Umwelt sollte man nicht vergessen zu erwähnen: das ist der Austrag von Salzen oder Metallen über den Wasserpfad aus den Entwässerungsstollen des Kupferschieferbergbaus. Hier sind weniger die Süßwasser führenden Stollen als vielmehr die salzwasserbelasteten Stollen, wie der Schlüsselstollen in der Mansfelder Mulde und auch der Seegen-Gottes-Stolln im Revier Sangerhausen zu nennen. Sie führen neben dem Salz unter anderem die Metalle Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, As, Cd und vor allem Zn ab. So liefert z. B. der Schlüsselstollen als Hauptlieferant an seinem Mundloch etwa 9 kg Salz/s und rund 400 kg Metalle/d. Diese Stoffe stammen weitestgehend aus den Zuflüssen, die den Gruben zwischen dem Ausgehenden des Kupferschiefers und der zusammenhängenden Steinsalzverbreitung zugehen.

Insgesamt hat also die Ausbildung des Gebirges über der Kupferlagerstätte und die daran gebundene intensive Verkarstung den Kupferschieferbergbau über alle Zeiten seiner 800-jährigen Geschichte massiv beeinflusst und letztlich auch erheblich zu seiner endgültigen Einstellung beigetragen. Wie wir heute wissen, lassen sich die Eingriffe des Bergbaus in die Natur nur unvollkommen wieder rückgängig machen. Es erscheint notwendig darauf hinzuweisen, dass der gegenwärtige hydrologische Zustand, dass das durch Schlüssel-Stollen und Seegen-Gottes-Stolln garantierte stabile Abflussniveau unbedingt zu erhalten ist. Deshalb muss der Gesamtbereich nach wie vor unter fachlicher Kontrolle bleiben. Die Kontrolltätigkeit nach den Festlegungen der Aufsichtsorgane wird sich sicherlich allmählich verringern können, es ist aber auch unbestritten, daß Teilobjekte ständig weiter unter intensiverer Kontrolle verbleiben müssen. Es bleibt also die Notwendigkeit zur weiteren Überwachung dieser Vorgänge in angemessenem Umfang, denn Unsicherheiten bleiben oder, wie der Bergmann sagt: „Hinter der Hacke ist es duster“!

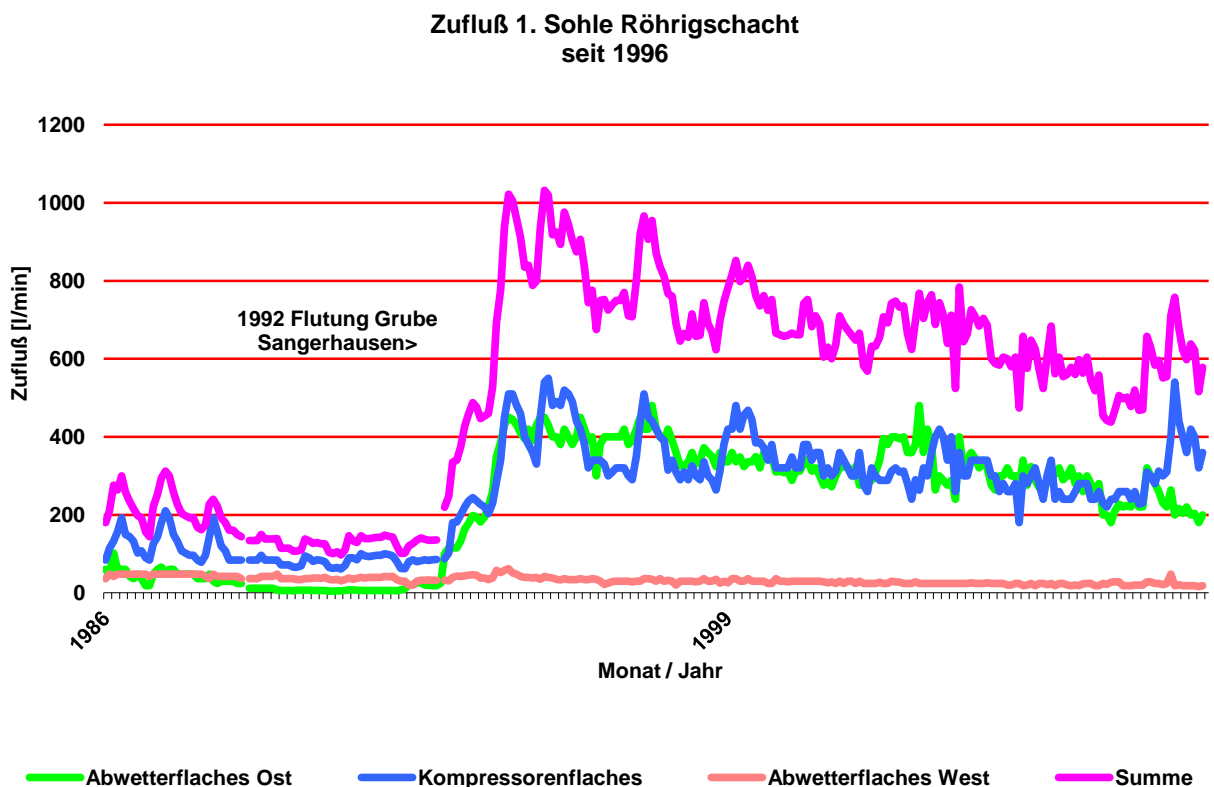


Abb. 28: Die Zuflussentwicklung im Röhrigschacht nach der Flutung der Grube Sangerhausen

## Verzeichnis der Abbildungen

1. Karte Kupferschieferbergbau
2. Schematisches Profil vom Zechsteinausstrich
3. Profil: Gesteine des Zechsteins
4. Subrosionskarte Revier Sangerhausen
5. Subrosionssenkungen Mansfelder Mulde
6. Salz- u. Süßwasserabfluss Mansfelder Mulde seit 1970
7. Lage der Wassereinbrüche in der Mansfelder Mulde
8. Senkungsentwicklung in Eisleben
9. Karte des Salzigen Sees im 19. Jahrhundert
10. Der Wasserabgang aus dem Binder See 1962
11. Zuflussentwicklung im Thomas-Münzer-Schacht
12. Konstruktion eines Absperrdammes
13. Ganglinien der Zechsteinpegel im Revier Sangerhausen
14. Grundriss der Numburger Höhle
15. Erdfälle im Bereich des Stausees Kelbra
16. Erdfälle im Bereich des Stausees Kelbra
17. Lage des Zuflussschwerpunktes im Westfeld des Schachtes Sangerhausen
18. Karte des Senkungsschwerpunkts über dem Westfeld des Schachtes Sangerhausen
19. Schema der Wasserhaltung der Mansfelder Mulde
20. Prognosen und Verlauf der Flutung der Mansfelder Mulde
21. Wasserstände in der Mansfelder Mulde unter Tage nach der Flutung
22. Gebäudeschäden in Eisleben
23. Der Senkungsschwerpunkt im Bereich K.-Liebknecht-Hütte
24. Details zu den Schäden im Bereich der K.-Liebknecht-Hütte
25. Der Stiftsteich bei Eisleben 1997
26. Die Schachtprofile des Reviers Sangerhausen
27. Flutungsverlauf im Grubenfeld Niederröblingen und seismische Ereignisse
28. Zuflüsse Röhrigschacht nach Flutung



**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 Zechsteinausstrich am südöstlichen Harzrand.-  
DGGW, Exk.-Führer, S. 11-25, Berlin, 1971
8. **JUNG, W., R. MEERSTEIN, H. SCHMIDT, H. SCHOOF & M. SPILKER:** Grundsätze und erste Ergebnisse 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 Kupferschieferbergbau.-  
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 Anschauungen über den Mansfelder Kupferschieferbergbau.-  
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 Kupferschieferbergbau.- 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](http://www.vmbh-mansfelder-land.de)