

GREIFSWALDER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN

Geographisches Institut der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Band 37

**Widerspiegelung von Natur-, Technik- und
Kulturgeschichte
im Landschaftsbild des mitteldeutschen Raumes**

Wissenschaftliche
Grundlagen einer Exkursion

herausgegeben von

Klaus D. Aurada & Raimund Rödel

GREIFSWALD 2005

ERNST-MORITZ-ARNDT-UNIVERSITÄT GREIFSWALD

Impressum

ISBN: 3-86006-249-2

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Herausgeber: Klaus D. Aurada & Raimund Rödel

Redaktion: Klaus D. Aurada,
Raimund Rödel

Layout: Raimund Rödel

Grafik: B. Lintzen, H. Sattler, P. Wiese & R. Rödel

Herstellung: KIEBU-Druck Greifswald

Kontakt: Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Geographisches Institut
Friedrich-Ludwig-Jahn-Str. 16,
D-17487 Greifswald
e-mail: geogra@uni-greifswald.de

Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	1
Routenverlauf	4
EINFÜHRUNG: GEOGRAPHIE = GEOGRAPHIE KOOPERATIVER SYSTEME	7
1 Wissenschaftshistorischer Hintergrund	7
2 Kolonisiertes System	11
3 Implementiertes System	12
4 Kooperatives System	14
I NATURRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK	17
1 Geologische Übersicht	20
1.1 Hochschollen	23
1.1.1. Geologischer Bau der Mittelgebirgsschwelle Deutschlands	23
1.1.2. Thüringer Wald	24
1.1.3. Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge	26
1.1.4. Kyffhäuser	28
1.1.5. Harz	29
SPEZIAL: Rumpfflächenbildung und Eigenvergletscherung im Harz	32
1.2 Tiefschollen	38
1.2.1. Werra-Gebiet	38
1.2.2. Thüringer Becken	38
1.2.3. Harzvorländer	40
2 Übersicht über die klimatischen Verhältnisse	44
3 Übersicht über die hydrogeographischen Verhältnisse	47
3.1 Hydrographische Struktur	47
3.2 Hydrologische Charakteristik	52
3.3 Grundwasserverhältnisse	55

II NATURRAUMNUTZUNG	57
1 Historischer Hintergrund	59
SPEZIAL: Burgenentwicklung	64
2 Entwicklung von Speicherbau und Energienutzung	74
SPEZIAL: Das Saaletalsperrrensystem	79
III NATURRAUMVERÄNDERUNG	83
1 Kupferschieferbergbau (Mansfelder Revier)	83
SPEZIAL: Flutung der Grubengebäude	92
2 Kalibergbau	97
2.1 Nordharz-Kalirevier	101
2.2 Werra-Kalirevier	104
SPEZIAL: Versenkung von Salzabwässern	107
2.3 Südharz-Kalirevier	111
SPEZIAL: Ableitung von Salzabwässern	113
2.3 Unstrut-Saale und hallesches Kali-Revier	116
SPEZIAL: Steuerung von Salzabwässern	117
RESUME	123
LITERATUR	125

Vorwort

Die Exkursion, deren ausbilderisches Anliegen und wissenschaftlichen Hintergründe in diesem Band der Greifswalder Geographischen Arbeiten vorgestellt werden, war Bestandteil des Grundstudiums der Regionalen Physischen Geographie Mitteleuropas. Als Regelveranstaltung erfolgte sie in der Kombination Vorlesung „Regionale Physische Geographie Mitteleuropas“ (zunächst der DDR, ab 1990 Deutschlands und ab 1992 Mitteleuropas), kombiniert mit einem zugehörigen vorlesungs- und exkursionorientierten Seminar; die Exkursion wurde im Regelfall im 4. Semester sowohl des Diplom- als auch des Lehramt-Studiengangs absolviert. Sie wurde erstmals 1984 und - mit zweimaliger Unterbrechung - zuletzt 2005, also insgesamt zwanzigmal, durchgeführt; deshalb erscheint es begründet, sie an dieser Stelle zu dokumentieren. Abgesehen von geringfügigen Variationen (Rhön, Südharz-Kalirevier, Ohmgebirge, Oberharz-Bergbau) folgte sie dem dargestellten Verlauf. Warum ist sie so oft in etwa gleicher Form angeboten worden?

Dafür gibt es drei Gründe. Erstens bietet das Exkursionsprogramm in einem auf engem Raum konzentrierten Verlauf eine bemerkenswerte Vielfalt sowohl natur- und wirtschaftsräumlich als auch natur-, technik- und kulturgeschichtlich interessanter Details in einem über viele Jahrhunderte durch den Menschen geprägten Raum (SLOTTA 2003), deren Zeugnisse sich bis in die Gegenwart erhalten haben. OTTO SCHLÜTER (1872-1959) hat Mitteldeutschland nicht nur als „... eine der ausgeprägtesten und geschlossensten Landschaftsindividualitäten, die in dem ganzen Bereich des mittleren Europa zu finden sind, ...“ (SCHLÜTER in SCHLÜTER & AUGUST 1959, 4) charakterisiert, sondern war an der Konzeption und Herausgabe des „Mitteldeutschen Heimatatlas“ (in 2. Auflage als „Atlas des Saale- und mittleren Elbegebietes“, SCHLÜTER & AUGUST 1959) entscheidend beteiligt; einige Abbildungen des Exkursionsführers fußen auf dieser Vorlage.

Diesen Raum einerseits im Rahmen einer theoretisch fundierten Auffassung zur Geographie kooperativer Systeme interpretieren und andererseits durch eigene praxisorientierte wissenschaftliche Arbeiten (z.B. der Einordnung von Belangen des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder und Sangerhäuser Mulde und des Kalibergbaus im Südharz- und Werra-Kalirevier in die wasserwirtschaftlichen Entwicklungen des Saale- bzw. Werra-Gebiets) mitgestalten (AURADA 1964, 1970, 1972, 1976, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983) und - teilweise gutachterlich - begleiten zu können (AURADA 1984, 1992, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003, 2005), waren ein zweiter Grund. In diesem Zusammenhang habe ich gern auf

Untersuchungen früherer Mitarbeiter während meiner Tätigkeit in der Wasserwirtschafts-direktion Saale-Weiße Elster bzw. Saale-Werra (KLEWE 1968; HERMS 1969; JÜTTNER 1971; LÖSER 1972; THEILE 1973) ebenso Bezug genommen, wie auf Graduierungsarbeiten im Rahmen meiner späteren Tätigkeit an der Universität Greifswald (KRATZSCH 1988; WITKOWSKI 1994; ROEDEL 1996, 1997, 2001; SCHEIBE 1998; KUNKEL 2001; WALTER 2002; BRAUN 2003; HOFFMANN 2005).

Und schließlich ist der Exkursionsraum für jede Exkursionsgruppe einerseits ein neues Erlebnis über- und untertage, für den Exkursionsleiter bot sie aber andererseits die Möglichkeit, Entwicklungen und Veränderungen einer Region über (das eigene Studium 1959-64 in Halle mit eingeschlossen) nahezu ein halbes Jahrhundert wissenschaftlich verfolgen zu können.

Diese Kontinuität schloß in bemerkenswerter Weise nicht nur eine langjährige Zusammenarbeit mit aus der Praxistätigkeit (1964-1977) bekannten früheren Kolleginnen und Kollegen von Behörden und Betrieben ein, die auch über viele Zäsuren der persönlichen und gesellschaftlichen Entwicklung hinweg Bestand hatten, sondern auch die Mitgestaltung der Exkursion durch Kollegen des Greifswalder Geographischen Instituts.

Für die Praxisvertreter seien mit einem herzlichen Dank für die verlässliche Zusammenarbeit genannt: Frau Fiedler (Vattenfall Europe Generation), Herr Prof. Dr. Kranawetteiser (Bauhaus- Universität Weimar, Hydrolabor Schleusingen), Herr Spilker (ehemals Mansfeld-Kombinat Eisleben), Herr Schramm (ehemals Kali-Kombinat Sondershausen), Herr Wenzl und Frau Wiemann (Talsperrenverwaltung Sondershausen), Herr Schmidt (Wasser-kraftmuseum Ziegenrück), Herr Reisner (Besucherbergwerk Rabensteiner Stollen, Ilfeld-Netzkat). Als jeweils langjährige Exkursionsbegleiter und -mitgestalter bin ich den Herren Dr. Norbert Amelang (1984-1996) und Dr. Raimund Rödel (1997-2005) für ihr Engagement und ihre wissenschaftliche Begleitung ebenso zu Dank verpflichtet, wie meiner Sekretärin, Frau Manuela Peters, für so manches erfolgssichernde Detail der organisatorischen Vorbe-reitung und Durchführung.

Eine Exkursion dieses auch physisch anspruchsvollen Anforderungsgrades ging nicht ohne (nur einmal lebensbedrohliche, blaulichtbegleitete) körperliche Blessuren ab, deshalb sei auch der Schwestern und Ärzte der Krankenhäuser in Bad Salzungen, Naumburg, Hettstedt, Sangerhausen und Nordhausen für ihre schnelle Hilfe in Dankbarkeit gedacht, und schließlich auch der Busfahrer (zuletzt Herr Schönrock, Nordhausen), die uns unfallfrei, oft in fahrtechnisch schwierigem Terrain (3,50 m Durchfahrhöhe unter Brücken !), zu den Zielorten transportiert haben.

Die Exkursion ist von den Studenten begeistert angenommen worden; bei ca. 560 Studenten will ich mich daher, auch namens von Dr. Amelang und Dr. Rödel, für ihre Aufgeschlos-senheit, Begeisterungsfähigkeit (nicht nur bei der Weinverkostung in Bad Kösen) und Wiß-begierigkeit bedanken. Äußeres Zeichen dafür war die Mitteilung von Fahrsteigern in den

Besucherbergwerken von Merkers und Wettelrode, dass Jahre nach ihrem eigenen Exkursionserlebnis ehemalige Studentinnen und Studenten mit ihren Eltern oder Partnern diese Exkursionspunkte mit ausdrücklichem Bezug auf die frühere Exkursion aufgesucht haben.

Mit diesem Band der Greifswalder Geographischen Arbeiten ist bewusst kein Exkursionsführer im üblichen Sinn (Einführung mit punktuellen Erläuterungen des Routenverlaufs) angestrebt worden, sondern der Versuch unternommen worden, „Wissenschaftliche Grundlagen einer Exkursion“, konfiguriert nach thematisch geschlossenen Sachgebieten, zu formulieren. Sie dokumentieren zugleich die Basis, die nicht nur den theoretischen Hintergrund dieser Exkursion aufzuhellen, sondern ebenso historischen Veränderungen im Exkursionsgebiet für die Nachwelt nachvollziehbar zu rekonstruieren gestatten.

Vor diesem Hintergrund ist das Literaturverzeichnis so ausgestaltet worden, dass neben den aus wissenschaftlichen Gründen erforderlichen Zitaten auch weiterführende Literatur aufgenommen worden ist. Das betrifft sowohl berg-, wasser- und energiewirtschaftliche als auch territorial-, siedlungs-, technik- und kunstgeschichtliche Literaturangaben, die nicht nur eine detailliertere Aufarbeitung von Exkursionspunkten ermöglichen sollen, sondern auch zeitlich und räumlich größere Zusammenhänge zu erschließen gestatten.

Greifswald (nach Abschluß der letzten Exkursion) 2005

Prof. Dr. Klaus D. Aurada

Routenverlauf

Die Exkursion nimmt ihren Anfang in Eisenach, Jugendherberge Marienthal, die sowohl bequem mit der Bahn als auch dem städtischen Busverkehr zu erreichen sind.

Der erste Tag beginnt zu Fuß mit dem Aufstieg zur Wartburg. Dabei wird ein Rotliegendenaufschluß (Eisenacher Mulde) berührt. Vom Viereck-Turm der Wartburg gibt es einen instruktiven Überblick über den Verlauf des herzynisch streichenden Thüringer Waldes sowie einen Teil der Stadt Eisenach (Burschenschaftsdenkmal). Der Abstieg erfolgt in Richtung der Drachen-Schlucht, die als Klamm den Beginn des Weges zur Hohen Sonne markiert. Von dort wird mit dem Bus in unmittelbarer Nähe der Ortslage Wutha der (Kleine) Hörselberg erreicht, dessen Schichtstufe unter Querung der A 4 erklommen wird. Nach dem Abstieg wird der Große Inselsberg als Teil des Ruhlaer Sattels angefahren, Parkplatz im Bereich des Kleinen Inselsbergs, danach Rückkehr nach Eisenach.

Der nächste Tag führt mit dem Bus in das Werra-Gebiet, wobei auf der Fahrt der Hautsee bei Dönges (Erdfall -See mit „schwimmender Insel“) einen kurzen Zwischenstopp nahelegt. Ziel ist zunächst das Kaliwerk Merkers, das als Besucherbergwerk (Vor Anmeldung erforderlich) eine Befahrung des aufgelassenen Grubengebäudes anbietet, wobei neben historischen Reminiszenzen Abbautechnologie und Abwasserversenkung in den Plattendolomit erörtert werden können; der untertägige Transport (Grubentauglichkeit erforderlich !) erfolgt mit LKW. Die Weiterfahrt erfolgt werraaufwärts bis zum Wasserbaulabor Schleusingen der Bauhaus-Universität Weimar (Vor Anmeldung erforderlich). Es schließt sich eine etwa 2 bis 2 ½-stündige Fahrt zur Jugendherberge Neidenberga oberhalb Saalfeld bzw. Kaulsdorf an.

Am dritten Tag nach halbstündiger Fahrt von Neidenberga zum Parkplatz vor der Staumauer (links) der Talsperre Hohenwarte I erfolgt eine Erläuterung des Saaletalsperrensystems sowie unter Führung von Mitarbeitern von Vattenfall Europe Generation (Vor Anmeldung erforderlich) eine Begehung im Inneren der Staumauer. Danach schließt sich eine Erläuterung und Besichtigung des Krafthauses des Pumpspeicherwerkes Hohenwarte II an. Optional ist eine Besichtigung des Oberbeckens (Zufahrt über Leutenberg) möglich. Die Weiterfahrt führt nach Ziegenrück, mit Besichtigung des seit 1965 bestehenden Wasserkraftmuseums (Modelle aus dem Exkursionsgebiet), und weiter zur Staumauer der größten Talsperre Deutschlands, der Bleiloch-TS; als geologisches Denkmal sei hier die „Steinerne Rose“ (Diabas) nicht vergessen. Am Abend wird wieder Neidenberga erreicht.

Mit dem nächsten Tag wird der Hochschollenbereich des Thüringer Waldes bzw. des Schiefergebirges verlassen. Auf der Fahrt saaleabwärts werden Saalfeld (Bohlen-Profil) passiert und die Leuchtenburg (Reliefumkehr im Leuchtenburg-Graben) sowie der Dohlenstein (Felssturz oberhalb Kahla) besucht. Nach Querung der Saale auf der A 4,

Vorbeifahrt an Jena (Muschelkalk-Schichtstufe) und Dornburg (Dornburger Schlösser) bis nach Querung der Finne-Störung (Aufschluss vor Erreichen der Ortslage von Saaleck) Saaleck erreicht wird. (Achtung: im Bereich Großheringen max. Durchfahrthöhe für den Bus an 3 Brücken 3,50 m!) Hier optional kurze Stippvisite der Burgen Saaleck und Rudelsburg, beide fußläufig in etwa 1 Stunde zu bewältigen. Ein kurzer Stadtrundgang in Bad Kösen ermöglicht die Besichtigung eines funktionsfähigen Kunst- bzw. Feldgestänges (horizontale Kraftübertragung mit vertikaler Umlenkung durch ein Kreuzgelenk des mittelalterlichen Bergbaus, hier zur Solegewinnung) des Borlach-Schachtes sowie des Gradierwerkes. Abschluss bildet eine Weinverkostung im flussabwärts links gelegenen Landesweingut Schulpforta (Voranmeldung erforderlich).

Der folgende Tag führt von Bad Kösen aus über Schulpforta (Kloster Schulpforta, Besichtigung kann vereinbart werden) und Naumburg (gegebenenfalls Naumburger Dom) unstrutaufwärts in Richtung Thüringer Becken. Dabei wird nach Vorbeifahrt an Buntsandstein-Aufschlüssen (Oolith-Bänke) und Unstrut-Schleusen Memleben erreicht, wo eine Führung durch die Klosterruine Otto I. (Voranmeldung erforderlich) empfohlen wird. Danach werden die Ruine Wendelstein an der Einmündung des Unstrut-Umflutkanals (Bretleben bis Wendelstein) und das aufgelassene Kaliwerk Roßleben des Saale-Unstrut-Kalireviers passiert, ehe Artern erreicht wird. Der Besuch der Friedhofsquelle (Solquelle und Solgraben) im Stadtgebiet leitet über zur Charakteristik subrosiver Prozesse, deren Auswirkungen kurze Zeit später am schiefen Kirchturm der Bad Frankenhäusener Kirche erörtert werden können. Der anschließende Besuch des Kyffhäusers (Ruine der Reichsburg Kyffhausen und Kyffhäuser-Denkmal) ermöglicht einen imposanten Überblick über die Goldene Aue in Richtung Harz (bei guter Fernsicht Brocken) mit Talsperre Kelbra und Kaiserpfalz Tilleda sowie die Halden des Kupferschieferbergbaus in der Sangerhäuser Mulde. Die Weiterfahrt erfolgt durch den Wipperdurchbruch bei Seega (Muschelkalk), später vorbei am aufgelassenen Kaliwerk Sondershausen des Südharz-Kalireviers nach Nordhausen.

Am nächsten Tag fährt man zur Kalkhütte östlich Nordhausen und erreicht nach etwa zwei-stündiger Fußwanderung die Heimkehle-Höhle in Ufrungen (Voranmeldung empfohlen) mit über- und untertägiger Besichtigung von Karsterscheinungen. Danach wird die Fahrt zum Bauerngraben fortgesetzt, der als episodischer (fälschlich als periodischer) See bezeichnet, die Überraschung eines karstbedingt jeweils wassergefüllten oder -entleerten Seebeckens bietet. Schließlich erreicht man nach kurzer Fahrt den Schacht Wettelrode, wo im Rahmen einer Schachtbefahrung (Voranmeldung erforderlich) Lagerungs-, Abbau- und Arbeitsbedingungen im nunmehr historischen Kupferschieferbergbau des Mansfelder Reviers (Sangerhäuser Mulde) erläutert werden.

Der anschließende Tag beginnt mit einer Fahrt über Sangerhausen und Eisleben in die Mansfelder Mulde. Mit Standorten nördlich des Ehemaligen Salzigen Sees (Verbindungsstraße

zwischen Aseleben und Erdeborn), am Bindersee (östlich von Seeburg vor Rollsdorf, rechts der Straße Restsee mit Erdfall), ab Salzmünde saaleabwärts folgend Friedeburg (Stollenmundloch des Schlüssel-Stollen) und einem Besuch einer Kupferschiefer-Bergbauhalde (Fossiliensuche) sowie dem Maschinen-Denkmal (1785) südlich Hettstedt werden historische Entwicklung und Auswirkungen des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde erörtert. In diesen Routenablauf sind eine randliche Übersicht des Braunkohlentagebaus Amsdorf (Anfahrt über Röblingen am See in Richtung Erdeborn) und Löß-aufschlüsse bzw. -erosionsformen (nördlich Langenbogen) eingeordnet. Die Rückfahrt erfolgt nach Nordhausen.

Nach kurzer Fahrt in Richtung Ilfeld wird zunächst der Aufschluß der Langen Wand (Auflagerung von Zechstein auf dem Rotliegenden) südlich Ilfeld (Parkplatz in Höhe des Verwaltungsgebäudes der Grubensicherung) erreicht. Nach ebenfalls kurzer Weiterfahrt erfolgt, in Abhängigkeit von der Gruppengröße auch parallel möglich, die Lehrvorführung einer Abflussmessung an der Bere (Mitarbeiter der Talsperrenverwaltung Sondershausen) sowie die Besichtigung des Steinkohlenabbaus in der Ilfelder Mulde im Rabensteiner Stollen (Voranmeldung erforderlich). Anschließend erfolgt die Fahrt zum Elbingeröder Kalkkomplex mit Besuch des „Blauen Sees“ und gegebenenfalls einer Besichtigung der benachbarten Hermann- oder Baumann-Kalksteinhöhlen in Rübeland. Die Weiterfahrt geht schließlich zur Jugendherberge in Schierke.

Am darauffolgenden Tag wird fußläufig ein Rundkurs (Schierke über den Bahnhof verlassend) absolviert, der den Wormke-Graben (Hanggraben des Oberharzer Erzbergbaus), einen Granitaufschluß (Abstecher in Richtung Drei Annen Hohne, an Überquerung des Wormke-Graben rechts im Wald) und die Leisten- und Hohne-Klippen sowie den Otto-Felsen des Brocken-Kontakthofes berührt und schließlich die Steinerne Renne (Oberlauf Holtemme) erreicht.

Am letzten Tag wird der Brocken bestiegen, wobei auf dem Brockenplateau der Besuch des Brockengarten (Voranmeldung empfohlen) mit einer Sammlung alpiner Vegetationsbeispiele zu empfehlen ist; der Abstieg nach Schierke kann individuell erfolgen.

Der letzte Tag führt schließlich mit dem Bus von Schierke aus in das nördliche Harzvorland, zunächst zur Teufelsmauer nördlich Neinstedt (kretazischer Sandstein) im Bereich der Harz-Aufrichtungszone und dann, vorbei am aufgelassenen Braunkohlenbergbauggebiet Frose-Nachterstedt über Aschersleben nach Staßfurt. Im Rahmen eines kurzen Stadtrundganges werden Probleme des aufgelassenen Staßfurter Kalireviers besprochen, typische Senkungsschäden (Zille-Straße, Stadtzentrum) besichtigt und die verwahrten ältesten Schächte des Kalibergbaus in der Welt (1856 von Manteuffel- und von der Heydt-Schacht) aufgesucht. Die Exkursion endet mittags am Bahnhof Staßfurt, von dem über Magdeburg-Berlin eine dezentralisierte Abreise der Studenten möglich ist.

EINFÜHRUNG

GEOGRAPHIE = GEOGRAPHIE

KOOPERATIVER SYSTEME

Der Begriff „Landschaft“ wird in der Geographie dual verwendet: er identifiziert einen Ausschnitt der Erdoberfläche sowohl als strukturell differenziertes Ergebnis seiner prozessgeprägten Entwicklung (konstitutionelle Option) als auch als prozesstragenden Zustandsraum bestimmter struktureller Disposition (funktionelle Option).

1 Wissenschaftshistorischer Hintergrund

Die Geographie sieht nach klassifizierenden Vorarbeiten VARENIUS´ (1650) in ALEXANDER VON HUMBOLDT (1808, 1845-62) den Begründer der wissenschaftlichen Geographie.

Das der weiteren Entwicklung zu Grunde liegende Landschafts-Konzept ist um die Mitte des 20. Jahrhunderts insbesondere von TROLL (1899-1975), SCHMITHÜSEN (1909-1984), NEEF (1909-1984) und HERZ (1924-1993) landschaftsökologisch ausgestaltet worden; PREOBRAZHENSKIJ (1977) faßt diese Entwicklung allerdings als Spezialfall des System-Konzepts auf (AURADA 1979a). Die Weiterentwicklung dieses Konzeptes integriert Entwicklungsimpulse des biophysikalisch orientierten Ökosystemkonzepts der Biologie und der geophysikalisch orientierten Quantitativen Geomorphologie und Systemhydrologie, deren Wurzeln sich bereits bis in das ausgehende 19. Jahrhundert zurückverfolgen lassen (SCHREIBER 1892, DAVIS 1899).

Es ist notwendig, daran zu erinnern, daß der holistische Naturbegriff HUMBOLDTs sowohl funktional als auch struktural zu interpretieren ist: "Alles in der Natur wirkt nach den ihm gegebenen Gesetzen **gleichzeitig** durch einander und die verschiedenen Naturerscheinungen bieten nicht das Bild einer Kette, sondern eines Netzes, in dem jede Masche nicht allein mit der vorausgehenden und der nachfolgenden, sondern auch mit den seitlich stehenden verbunden und von ihnen abhängig ist", so die Kommentierung HUMBOLDTs durch WITTMER (1861, 430; Hervorhebung im Original).

Auch die etwa 100 Jahre später entstandene Systemtheorie (WUNSCH 1985) als Betrachtungsweise komplexer (dynamischer) Systeme, als der „Laws of organization and organizational

forces..." (BERTALANFFY 1968, 27), fußt auf der Erkenntnis, daß ein System nicht nur aus Elementen und den Wechselbeziehungen zwischen diesen Elementen besteht, sondern auch eine Ordnung bzw. Organisiertheit dieser Elemente einschließt; nach ROPOHL (1999, 76) repräsentiert die Systemtheorie eine Einheit von funktionalem, strukturelem und hierarchischem Konzept.

Es ist üblich, die Entwicklung der Landschaftssphäre vereinfachend mit den aufeinanderfolgenden Evolutionsstufen der Ur- und Bio- bzw. der Natur- und Kulturlandschaft zu kennzeichnen. Das Landschaftsphänomen wurde erst zum Bestandteil der Erdgeschichte, als durch das Auftreten des Wasserkreislaufs die Möglichkeit einer räumlichen Differenzierung und damit einer räumlichen Organisation der Landoberfläche durch Stoff- und Energieflüsse gegeben war (HERZ 1984 a).

Die Geographie benötigt als erdoberflächenorientierte und raum-/ zeitdifferenzierende Wissenschaft neben der funktionellen immer auch eine konstitutionelle Betrachtungsweise: „Wissenschaftliches Denken in der Geographie ist - **neben** dem Denken in synergetischen und ökologischen Zusammenhängen - immer ganz wesentlich ein Denken in Grenzen“ (NEEF 1980 a, 86; Hervorhebung: Autor).

Bereits etwa 100 Jahre vor HUMBOLDT hatte PHILIPP BUACHE (1700-1773) 1752 mit dem "**charpente du globe**" („Erdgezimmer“) (mit Bezug auf WISOTZKI 1897 bei BECK 1973, 134) ein Konzept der Erdoberflächengliederung nach von Wasserscheiden begrenzten Gewässer-einzugsgebieten entwickelt, das eine durchgängig anwendbare naturräumliche Gliederung der Erde in unterschiedlichen Maßstabsbereichen ermöglichte. "The sedimentary basin is to geology what the drainage basin is to geomorphology,..." (LEEDER 1997, 229); diese Feststellung kennzeichnet zugleich die moderne Entwicklungsrichtung.

R. LUCERNA (1931) hatte in einem weitgehend der Vergessenheit anheim gefallenem Aufsatz über die - aus moderner Sicht als Kompartimentierung zu bezeichnende - mögliche Fazettierung der Erdoberfläche hingewiesen: „Fazettierung löst als Zweig der Morphologie die Landoberfläche in ihre kleinsten natürlich umgrenzten Einheiten auf, setzt diese wieder zu größeren Einheiten zusammen und begründet damit die **chronologische Flächen-gliederung**... . Fazettensysteme, das sind gleichzeitig gebildete Fazetten gleicher Art, bilden, in mehrfachen Arten aus verschiedener Zeit zu einer Landschaft zusammentretend, das Flächenmosaik“ (a.a.O., 1, Hervorhebung im Orig.); logisch weiterführend wird zwischen „Paläofazetten“ und „Kulturfazetten“ unterschieden.

Auch E. MARKUS (1889-1971) hatte - ebenfalls weitgehend vergessen - nicht nur festgestellt: „Es ist nicht nur ein **räumliches Nebeneinander**, sondern auch ein **zeitliches Nacheinander** faßbar..." (1936, 78/79; Hervorhebungen im Orig.), sondern die Notwendigkeit einer Darstellung eines „ökogenen Entwicklungsgangs“ postuliert. Als Schüler L.S. BERGS (1876-1950) hatte er bereits 1925, und damit TROLL (1938) vorwegnehmend, einen „natural complex“ im Kontext zur „Biogeozönose“ formuliert und 1926 dessen räumliche Verschiebung in Europa

untersucht; zu Recht gebührt MARKUS damit ein Platz in der Weltgeschichte der Landschaftslehre (ROOSAARE 1994, 31).

Unter dem Aspekt einer „Katalysator“-Wirkung im Rahmen des geographisch orientierten Landschafts-Paradigmas gehört in diesem Zusammenhang – ebenfalls viel zu wenig beachtet – die Areal-Struktur-Theorie K. HERZ' (1924-1993). Er hat eine „**Evolution der Landschaftssphäre**“ (1984 a) und ihre „**Autometamorphose der Landschaft**“ (1984 b) im Kontext mit der Bio- bzw. Noosphäre VERNADSKIJS (1926) gesehen. Unter Berücksichtigung der menschlichen Einflussnahme versteht HABERL (1998) diesen Prozess als „koevolutionär“ (a.a.O., 36), SIEFERLE (1998) als „evolutionär-historisch“ (a.a.O., 53). Schließlich mahnt HERZ (1994) posthum, nochmals die Intentionen SCHLÜTERS (1906) aufgreifend: „Der Evolutionsaspekt verlangt aber auch die Korrektur des altüberlieferten Begriffspaars Natur- und Kulturlandschaft, das das Entwicklungsverständnis des Landschaftsphänomens der Erde ... unzulässig verkürzt“ (a.a.O., 84). Bereits 1989 hatte HERZ kritisch festgestellt: "Merkwürdigerweise verharret sie (die Geographie - Verf.) dabei in einem wichtigen Punkte auf Humboldts Naturbild, sie betrachtet Landschaft als eine quasistationäre Struktur, wenn auch im modernen Sinne der Fließgleichgewichtszustände. Deshalb dominiert die Untersuchung von Korrelationen, und nur Schwingungen gelten als zulässige Veränderungen. Irreversible Regimemetamorphosen erscheinen dieser Denkweise sogleich als Abgleiten in katastrophale Zustände; die Bereitschaft, die anthropogen intensivierten Veränderungen der Landschaftssphäre ... auch als Erscheinungen eines möglichen Evolutionsschritts zu begreifen, ist unterentwickelt" (a.a.O., 34). "Vielleicht wirkt hier die traditionelle Praxis der Geographie, den Raumblick zu öffnen und den Zeitblick einzuengen, besonders hemmend" (a.a.O., 35).

Die Geographie hat bisher weitgehend, und darin wird ein schwerwiegendes Versäumnis gesehen, fast ausschließlich raumnutzende Nutzungsformen als Indiz anthropogener Formung der Landschaft gesehen (DIX, 1997). "Die allgemeine Definition der Flächennutzung als überwiegend technische, sozial und ökonomisch gesteuerte Beanspruchung eines Ausschnittes im Territorium..." (ARLT 1995, 51) ist damit ein dominanter Indikator geworden, den BAHRENBERG (1995) sogar als "kleinsten gemeinsamen Nenner" von Physischer und Kulturgeographie, der "...offensichtlich Fragen der Landnutzung (bzw. Flächen- oder Raumnutzung),..." (a.a.O., 29) einschließt, apostrophiert. RICHTER (1988) verwendet die verkürzende "Formel": **Landschaft** \cong **Naturraum N** + **Flächennutzung F** (a.a.O., 50).

Als Handlungskonzept hat sich dementsprechend vor dem Hintergrund dieser wissenschaftshistorischen Entwicklung aus geographischer Sicht die Raumordnung als Organisation räumlicher Strukturen herausgebildet (DOSCH & BECKMANN 1999). Demgegenüber sind funktionsorientierte Nutzungsformen, insbesondere die Bewirtschaftung von darin integrierten Bewirtschaftungssystemen, unterrepräsentiert. Die der Raumordnung

komplementär entsprechende Bewirtschaftung als Regulation von zeitbezogenen Diskontinuitäten wird nicht als Gegenstand der Geographie begriffen.

Unter Berücksichtigung dieser notwendigen Korrektur des Landschaftsphänomens können **Erdoberflächensysteme** (HUGGETT 1985) als Ausschnitt der Erdoberfläche mit persistenter und damit konservativer zellulärer Struktur sowohl als strukturell differenziertes (konstitutionelles) Ergebnis ihrer bisherigen Entwicklung (als evolvierendes System) als auch als prozesstragender (funktioneller) Zustandsraum mit einer bestimmten strukturellen Disposition (als auf äußere Einflüsse reagierendes respondierendes System) gekennzeichnet werden. In diesem Rahmen befinden sie sich zu einem konkreten Zeitpunkt der Gegenwart in einem bestimmten (wahrscheinlicheren) Zustand einer von der bisherigen Entwicklung abhängigen begrenzten Menge alternativer (unwahrscheinlicherer) Zustände. Vor diesem Hintergrund widerspiegelt die heterogene Strukturierung des Geosystems seine heterochrone Entwicklung (AURADA 1982a); SOLNCEV (1981) spricht von einer „Chronoorganisation“ im Sinn einer raumzeitlichen Organisation der Geosphäre.

Mit dem Wandel als Veränderung in Raum und Zeit und der Wechselwirkung räumlich und zeitlich benachbarter Veränderungen als systemtheoretische Grundkategorien (W. R. ASHBY [1903-1972; 1958]) können geographisch wirkende und systemtheoretisch zu interpretierende Ordnungsprinzipien erklärt werden (AURADA 2003). Damit wird nicht nur dem Begriff eines "Ensembles" im Sinne NEEFs als dimensionsgebundenem "compositum geographicum" entsprochen, sondern auch der Widerspiegelung von Prozessen und Strukturen der Selbstorganisation und Selbstregulation in geographischen Objekten als räumlichem und zeitlichem "continuum geographicum" Rechnung getragen.

Erst die Erweiterung der funktionalen Betrachtungsweise der Systemtheorie durch den Übergang von Systemen ohne Raumstruktur zu Systemen mit Raumstruktur (WUNSCH 1977), hat das Postulat eines zellularen Geosystems mit konservativer Struktur und eine darauf aufbauende Logik und Logistik des Geosystem-Konzepts ermöglicht.

HÖRZ (1986) hat einen „**Ökologischen Grundwiderspruch**“ formuliert: „Er ist die Einheit zweier Gegensätze. Auf der einen Seite gibt es Entwicklungszyklen der Natur, in die der Mensch als Naturwesen eingepaßt ist. Auf der anderen Seite stehen Entwicklungszyklen des gesellschaftlich organisierten Menschen, für den die Natur Existenzbedingung ist. Der Mensch als Natur- und gesellschaftliches Wesen verkörpert selbst die Einheit dieser Gegensätze. Der ökologische Grundwiderspruch, (...), lautet: Die notwendige Ausnutzung der Naturressourcen zur Gestaltung der Existenzbedingungen des Menschen führt zur ständigen Veränderung natürlicher Entwicklungszyklen durch den Menschen. Die Lösung des Grundwiderspruchs erfolgt stets unter spezifischen natürlichen und gesellschaftlichen Bedingungen“ (a.a.O., 14).

Da die naturgesetzlich determinierten Prozesse der Selbstorganisation einerseits irreversibel unter evolvierenden Gleichgewichtsbedingungen verlaufen, können sie und ihre räumlichen

Entsprechungen hinsichtlich ihrer zeitgerichteten Veränderlichkeit anthropogen nur retardiert (verzögert) oder akzeleriert (beschleunigt) werden: Sie sind damit nur durch eine anthropogen langfristig wirkende Organisation und Raumordnung von Strukturen beeinflussbar. Andererseits laufen die naturgesetzlich determinierten Prozesse der Selbstregulation reversibel unter pulsierenden (Fließ-) Gleichgewichtsbedingungen ab und können, wie auch ihre räumlichen Entsprechungen, nur durch eine anthropogene kurzfristige, ständig wiederkehrende, Regulation und Bewirtschaftung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Leistungsfähigkeit des physiogenen Systems stabilisiert bzw. optimiert werden (AURADA 1982a).

Mit dieser Verknüpfung wird das Eintreten des Menschen und das Eingreifen der menschlichen Gesellschaft in die Biosphäre und ihre naturgeschichtliche Entwicklung in Übereinstimmung mit dem „ökologischen Grundwiderspruch“ HÖRZ' gesehen; „Der Mensch als Störfaktor im Geosystem“ (HAMBLOCH 1986) wird wertfrei relativiert, auch wenn seine so akzentuierte Wertung auch in der jüngsten Literatur (z. B. KRECH, MCNEILL & MERCHANT 2004) dominierend bleibt.

2 Kolonisiertes System

Bereits bei A. v. HUMBOLDT (1769-1859) und C. RITTER (1779-1859) war der Mensch, oder besser der vergesellschaftete Mensch (die Menschheit des damaligen Sprachgebrauchs), als Gegenstand der wissenschaftlichen Geographie berücksichtigt bzw. als „Cultur-Sphäre“ einbezogen worden. Mit seiner Auffassung des „Isolierten Staates“ (1826), als isoliertem System der „THÜNENSchen Kreise“ eines landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlichen Systems hatte bereits J. H. v. THÜNEN (1783-1850) „... das Systemdenken in der Wirtschafts- und Sozialwissenschaft begründet“ (KRÜGER 1995, 186); der Wert der Natur für den wirtschaftenden Menschen wird bezeichnenderweise in einer „Bonitierung der Erde“ (A. PENCK 1858-1945; 1925) gesehen.

Erst mit O. SCHLÜTERS (1872-1959) „Morphologie der Kulturlandschaft“ (1906) und den von ihm gewählten Begriffen der Ur-, Natur-, Alt- und Kulturlandschaft als historisch-genetische Synonyma der Veränderlichkeit der Landschaft in der Zeit ist eine Korrektur der vordergründig kausalostrichteten Betrachtungsweise F. RICHTHOFENS (1833-1905) und A. HETTNER'S (1859-1941) nachweisbar (SCHMITHÜSEN 1976). Interessant ist, daß SCHLÜTER durch die Intentionen der „Grundlinien einer Philosophie der Technik“ (1877) des Geographen E. KAPP (1808 - 1896) beeinflusst worden ist (BECK 1973, 327). KAPP hat als RITTER-Schüler in der Geographie zwar keine bedeutsame Rolle gespielt, seine Vorlesungen haben auch A. v. HUMBOLDT und v. THÜNEN gehört, er wird aus anderer Blickrichtung als Begründer der Technikphilosophie angesehen (ROPOHL 1999, 13).

In diesem zeitlichen Umfeld entsteht der Begriff „**Biosphäre**“, den der österreichische Geologe und Paläontologe E. SUESS (1831-1914) prägte und der 1926 durch „Die Biosphäre“ von

V.I. VERNADSKIJ (1863-1945) allgemeine Bedeutung erlangte. Er wurde durch die Übernahme des Begriffs „**Noosphäre**“ von É. LE ROY (1870-1954) und T. DE CHARDIN (1881-1955) erweitert; anders als DE CHARDIN verstand VERNADSKIJ Menschheit und Technologie als integralen Bestandteil der Biosphäre, die Noosphäre als „Sphäre der Vernunft“ (PERELMAN 1977, 111).

HABERL (1998) kennzeichnet diese Entwicklung insgesamt als Kolonisierung: „Wesentliches Merkmal ist nicht nur der Eingriff in die Natur, sondern auch die Permanenz dieser Eingriffe: Von Kolonisierung kann man nur dann sprechen, wenn ein dynamisches System auf Dauer beeinflusst und gesteuert wird, um es in einem bestimmten Zustand zu halten oder definierte Vorgänge ablaufen zu lassen“ (a.a.O., 35), und ergänzt: „Kolonisierung steht ... in einem engen Zusammenhang mit der Technik- und Technologieentwicklung und der gesellschaftlichen Organisationsform“ (a.a.O., 36).

Dieser Standpunkt eröffnet die Möglichkeit, anthropogene Beeinflussung sowohl als Regulation (Bewirtschaftung) von Selbstregulationsprozessen als auch als Organisation (Raumordnung) von Selbstorganisationsprozessen der Natur definieren zu können, da die anthropogen stabilisierende oder destabilisierende Beeinflussung von Prozessen oder Zuständen der Erdoberflächensysteme nicht nur berücksichtigt (AURADA 1982a), sondern auch definiert werden kann (AURADA 2003):

Verläuft die Entwicklung der anthropogenen Inanspruchnahme des Naturraumes trendfrei und innerhalb des Schwankungsverhaltens der pulsierenden bzw. evolvierenden Systemzustände des physiogenen Systems, sind Funktions- und Leistungsfähigkeit des Geosystems konvergent; es existieren keine Nutzungskonflikte, es werden keine Maßnahmen der anthropogenen prozessbezogenen Regulation und/ oder einer strukturbezogene Organisation erforderlich (= **konvergent-kolonisiertes Geosystem**).

Verläuft die Entwicklung der anthropogenen Inanspruchnahme des Naturraums trendbehaftet und überschreitet damit tendenziell zunehmend das Schwankungsverhalten der pulsierenden bzw. evolvierenden Systemzustände des physiogenen Systems, sind Funktions- und Leistungsfähigkeit des Geosystems divergent; es existieren zunehmende Nutzungskonflikte, es werden Maßnahmen der anthropogenen prozessbezogenen Regulation bzw. der strukturbezogenen Organisation erforderlich (= **divergent-kolonisiertes Geosystem**).

3 Implementiertes System

Eine erste Reaktion auf diese inzwischen global wirkende Entwicklung artikulierte bereits G. P. MARSH (1801-1882), der in „Man and Nature“ (1864) „Umwelt-Regeneration“ als „...great political and moral revolutions in the governments and peoples by whom those region are now possessed ...“ (Zitat nach OLWIG 1996, 644) reklamiert. Zwar ist „Die Technik, der Inbegriff menschlicher Vernunft und vorausschauender Planung, (ist) an dem hochgesteckten Ziel der Beherrschung und Steuerung der komplexen Natur eindrucksvoll

gescheitert“ (DIENEL 1994, 73), aber „Es gibt Alternativen in der Industriegesellschaft, aber keine zu ihr“ (HUBER 1982, 10; Hervorhebung im Orig.); „Die Re-Naturalisierung ist kein gangbarer Weg“ (HABERL 1998, 39).

Aus einem breiten Spektrum von Begriffen über gesellschaftliche Strukturen und auch unterschiedlichen Betrachtungsweisen (nach RAPP 1978: ingenieurwissenschaftliche, kulturphilosophische, sozialkritische und eben auch systemtheoretische) (HUNING 1990, 21) entwickelte sich der Begriff des "sozialen Systems", der von ROPOHL in einer "Systemtheorie der Technik" (1999) als "soziotechnisches System" integriert worden ist. Dieses System-Konzept beschreibt die Beziehungen zwischen einem menschlichen, hierarchisch aufgebauten Handlungssystem und einem gegenständlichen Sachsystem gesellschaftlicher Herkunft der "...vom Menschen künstlich hergestellten und planmäßig nutzbaren gegenständlichen Gebilde" (ROPOHL 1979, 104 ff.). Technische Infrastruktursysteme können dabei nicht als räumlich neutral angesehen werden, sondern besitzen sowohl eine physische als auch sozialräumliche Dimension; die Funktionsfähigkeit des technischen Systems ist von der Verfügbarkeit des natürlichen Systems abhängig (HUGHES 1987). Dieses System-Konzept beschreibt die Beziehungen zwischen einem menschlichen, hierarchisch aufgebauten Handlungssystem und einem gegenständlichen Sachsystem gesellschaftlicher Herkunft. Eine Übersicht über technikphilosophische bzw. technikhistorische Entwicklungslinien geben HUBIG, HUNING & ROPOHL (2000).

„Die Vergesellschaftung der Technik und die Technisierung der Gesellschaft haben ein solches Ausmaß erreicht, daß Technik nicht länger als ein dem Menschen äußerliches Werkzeug verstanden werden kann. Vielmehr muß sie als wesenhafter Bestandteil soziotechnischer Systeme begriffen werden“ (ROPOHL 1998, 1): „Mit dem Systemdenken wird grundsätzlich der Doppelcharakter von Funktion und Struktur, von Ablauf und Aufbau erfasst,...“ (a.a.O., 82), wobei „... nicht allein Sachsysteme zu entwerfen, sondern ökotechnische und soziotechnische Systeme“ (a.a.O., 95) zu konzipieren sind: „Ein technisches Netzwerk ist also in der Regel zugleich ein 'soziales Netzwerk', aber ein 'soziales Netzwerk' wird erst dadurch zu einem soziotechnischen Netzwerk, daß Knoten und Fäden sachtechnisch realisiert sind,...“ (a.a.O., 104).

Da in der industriellen Gesellschaft zunehmend die konfliktfreie Integration des anthropogenen Teilsystems in das physiogene System aufgegeben wird, nimmt tendenziell die Nutzung der Natur so intensiv zu, daß innerhalb des divergent-kolonisierten Systems die Funktionsfähigkeit des physiogenen Teilsystems eingeschränkt wird. Diese Teilfunktionen, die in ihrer allgemeinsten Form als Verringerung des Gefährdungspotentials und Erhöhung des Versorgungspotentials charakterisiert werden können, müssen durch technische Systeme unterstützt bzw. ersetzt werden; es erfolgt nicht mehr nur eine Kolonisierung, sondern eine **Implementierung** („Ergänzung“) der Natur durch die Implantation technischer Sach- und Handlungssysteme ROPOHLS (1999).

4 Kooperatives System

Eine modellhafte Abstraktion landschaftsverändernder Prozesse durch anthropogene Einflüsse hat NEEF (1980 b) im Rahmen eines hybriden Systems als sogenanntes „Transformationsmodell“ formuliert, das sowohl eine Impuls-Transformation (aus dem Kausalitätsbereich der Gesellschaft in den der Natur) als auch eine Rückkopplungs-Transformation (aus dem Kausalitätsbereich der Natur in den der Gesellschaft) einschließt. AURADA (1979a) spricht von einer Kopplung von physiogenem und anthropogenem Teilsystem bzw. einem Interdependenzsystem (AURADA, RÖDEL & UNVERZAGT 2000).

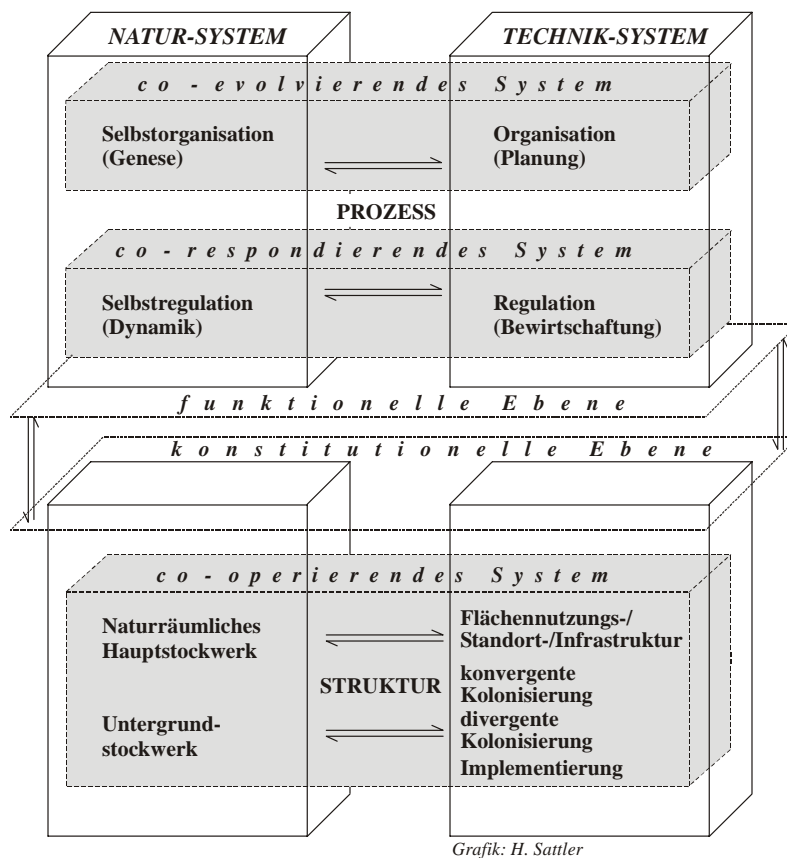


Bild. 1: Co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierendes System (AURADA, 2003)

Die Eigenschaften der räumlichen (Selbst-) Organisation und zeitlichen (Selbst) Regulation, die Geosysteme sowohl als heterogene und heterochrone als auch als zellulare Systeme mit konservativer (persistenter) Struktur kennzeichnen, bilden die Grundlage ihrer natürlichen Funktionsfähigkeit und ihrer anthropogenen (technogenen) Nutzungsmöglichkeit bzw. Leistungsfähigkeit als physiogen-anthropogene Systeme (AURADA 1979a). Ihre anthropogene Gestaltung durch Organisation (Planung) technischer Sachsysteme und Regulation (Bewirtschaftung) im Rahmen

technischer Handlungssysteme kann ebenfalls komplementär erklärt werden.

Da die wirtschafts- und sozialpolitischen Anforderungen von Zielstellungen der Soziosphäre ausgehen und im Rahmen des o.a. „ökologischen Grundwiderspruchs“ (HÖRZ 1986) in die Wechselbeziehungen mit „Ökosphäre“ (L. COLE 1958 [STODDART 1965, 243]) im Rahmen einer „Technosphäre“ (F. RAPP 1978 [ROPOHL 1999, 253]) eingreifen, kann die (Kultur-) Landschaft synonym für jeweils komplementäre sowohl co-evolvierende als auch co-respondierende Systeme und damit als ein co-operierendes (kooperatives) Geosystem

gekennzeichnet werden: **co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierende (kooperative) Systeme** (AURADA 2003) (vgl. Bild 1.):

„Ein Grundsignum der Industrialisierung ist, daß ehemals dezentrale, vereinzelt und lokale Ver- und Entsorgungsvorgänge, Produktions- und Verbrauchsverläufe immer mehr in voneinander abhängige Gesamtsysteme gebracht werden“ (BAYERL & VON BORRIES 1998, 13). Dieses „großtechnische System“ besitzt „Durch seine geographische Ausdehnung oder sein Umgreifen unterschiedlicher Subsysteme ... einen Umfang (besitzt), der Transport-, Koordinations- und Schnittstellenprobleme aufwirft“ (RADKAU 1993, 379).

Tab. 1: Veränderungen der Land-/ Flächennutzung in Deutschland

Zeit	Kulturperiode	Klimaoptima u. -pessima a	Wirtschaftsform Landwirtschaft b	Wirtschaftsform Forstwirtschaft c	Hauptökosystemgruppen natürlich [%] d					
					naturnah	halbnatürlich	anthr.-biol.	anthr.-tech.		
2000	Industrialisierung	Modernes Optimum	Intensivierte Land-/	Forstwirtschaft	0	5	5	80	10	
		Kleine Eiszeit	"Industr. Revolution"	multifunkt./ ökol.						
		1810-1850	Vertikale Expansion	planmäß. Forstw.						
1500	Spät-Mittelalter	1570-1640	Umweltkrise ?	Widerspruch	5	15	30	45	5	
		1300-1380	"Urbane Revolution"	Holz-Angebot/ Nachfrage						
1000	Mittelalter-Optimum	(~1K)	Innere Kolonisation	1100-1300	10	40	26	20	4	
		1000-1300	Siedlungsnetz:	800-1100						
		(>1-1,5 K)	Äußere Kolonisation	500- 800						
500	Frühes Mittelalter	(>1-1,5 K)	Mittelalterliches Pessimum	Agrarsystem Waldweide	15	40	25	17	3	
0		Optimum der Römerzeit		nördlich des Limes:	20	45	25	8	2	
	Römerzeit	(>1-1,5 K)	Ackerb./ Viehzucht-Mehrpr.	waldreich						
	Völkerwanderung	Subatlant.		südlich des Limes:						
-1000		Pessimum (< 1-2 K)	Metallikum	waldarm	35	35	25	5	0	
-2000			Siedlungsgebiete und -kammern		42	36	20	2	0	
-3000			Ackerbau und Viehzucht	lokale/ temporäre Rodungstätigkeit	50	32	18	0	0	
			Jäger und Sammler	(~ 16 E km ⁻²)						
-4000	Neolithikum	"Neolithische Rev."			60	25	15	0	0	
			Naturlandschaft ohne bzw. mit geringer Nutzung							
-5000					70	20	10	0	0	
-6000					80	12	8	0	0	
-7000	Mesolithikum				85	10	5	0	0	
-8000					90	7	3	0	0	
-9000						93	7	0	0	0
-10000						96	4	0	0	0

a vorwiegend nach HUPFER (1996, 164), ergänzt nach CROWLEY & LOWERY 2000) und WANNER et al. (2000)

b nach H. JÄGER (1994), BAYERL & v. BORRIES (1998), KNAUER (1995), JOB (1999), BURGGRAAFF & KLEEFELD (1998)

c nach AFL (1994), H. JÄGER (1994), BAYERL & v. BORRIES (1998), ULRICH (1994), JOB (1999), BURGGRAAFF & KLEEFELD (1998)

d Flächenanteile (geschätzt nach HABER [1991, 110])

Die entstehenden Netzwerke umfassen dabei nicht nur, wie aus der Sicht des Technikers nahegelegt, Leitungsnetze, etwa zur Energie- oder Wasserversorgung und -entsorgung, oder z.B. Verkehrsnetze, sondern auch natürlich entstandene „Netze“, wie das i.a. hierarchisch aufgebaute Gewässernetz. Mit seiner Hilfe wird z.B. in Talsperren gespeichertes Wasser zur Erhöhung der Versorgungspotentials (Niedrigwasseraufhöhung) abgegeben oder zur Verminderung des Gefährdungspotentials (Hochwasserdämpfung) zurückgehalten. Allerdings kann der damit festgelegte Nutzungskorridor nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden, dessen Grenzwerte (z. B. sozioökologisch motivierte Mindestwassermenge oder sozioökonomisch motivierter Ausuferungswasserstand) zugleich die Einbindung in ein soziogenes System repräsentieren. Damit ist ein co-operierendes (kooperatives) System entstanden, dessen historisch entstandene räumliche Struktur und dadurch möglichen Prozessen einen Schwerpunkt der Exkursion repräsentiert.

Das hierarchisch übergeordnete soziogene System bildet dabei - aus naturwissenschaftlicher Sicht - soweit den Rahmen eines physiogen-anthropogenen Geosystems, als es konstitutionell (raumordnend) und funktionell (prozeßbewirtschaftend) dieses System durch technische Sach- und Handlungssysteme (ROPOHL 1999) gestaltet, nutzt und verändert: historisch in der Abfolge einer konvergent-, später divergent-naturraumnutzenden Kolonisierung bzw. naturraumverändernden Implementierung, wie sie in Tab. 1 - als Rahmen für die räumlich konkreten Veränderungen im Exkursionsgebiet gedacht - für die Entwicklung in Deutschland angedeutet worden sind.

KAPITEL I

NATURRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK

Den Naturraum kann man sich vereinfacht als einen Stockwerkaufbau von Untergrund- und Naturraumstockwerk vorstellen, dessen anthropogene Überformung sich in der Flächennutzungsstruktur widerspiegelt, die allerdings auch, z.B. durch den Bergbau, bis in das Untergrundstockwerk reichen kann.

Das Untergrundstockwerk in seinem rezent vorhandenen geologischen und tektonischen Zustand ist das Ergebnis einer über 300×10^6 Jahre währenden Entwicklung, die sich vom variskischen Morphogen bis zur Mitteleuropäischen Tafel erstreckt. Dabei erfolgte die Einordnung des geologischen Raumes von Mitteleuropa in das saxonische Schollenmosaik im Spannungsfeld zwischen der Osteuropäischen Plattform im NE (SE-NW gerichtete Begrenzung), der kontinentalen Riftzone des Oberrheintal-Lineaments im W (NNE-SSW-Begrenzung) und dem alpinen Orogen im S (SW-NE-Begrenzung) (BRAUSE 1995, HOFFMANN & FRANKE 1997).

Nach der Zechsteinsedimentation und der Ablagerung des mesozoischen Deckgebirges verursachten die jungmesozoisch-alttertiäre Tektogenese sowie die jungtertiäre tektonogenetische Phase strukturprägende Prozesse, die sowohl das Salinar- als auch das Deckgebirgsstockwerk betrafen. Während im Mesozoikum bis zum Oligozän das Salinarstockwerk alpinotyp und das Deckgebirgsstockwerk germanotyp überformt wurden, setzte im Pliozän und Miozän eine halokinetische Entwicklung ein, die das der weiter andauernden Bruchtektonik unterliegende Deckgebirge modifizierte; Prozesse, die auch im Pleistozän und Holozän weiterwirkten (HESSMANN & SCHWANDT 1981).

Tab. 1. 1: Gliederung des Untergrundstockwerkes
(verändert und ergänzt nach BRENDEL et al. 1982)

OBERES TAFELSTOCKWERK (unverfestigtes quartäres / tertiäres Deckgebirge)

PORENGRUNDWASSERLEITER:	kf (hoch):	$> 10^{-2}$	$m s^{-1}$
	kf (mittel):	$10^{-2} \dots 10^{-6}$	$m s^{-1}$
	kf (niedrig):	$< 10^{-6}$	$m s^{-1}$

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Saxonische Tektogenese xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

UNTERES TAFELSTOCKWERK (verfestigtes mesozoisches [postsalinare] Deckgebirge)

Zyklen des Zechsteinsalinars (Synsalinar) Ohre-Zyklus
Aller-Zyklus
Leine-Zyklus
Staßfurt-Zyklus (Südharz-/ Nordharz-Kalirevier) °
[Kupferschieferflöz] (Mansfelder und Sangerhäuser Mulde) °
Werra-Zyklus [Flöze Hessen und Thüringen] (Werra-Kalirevier)

KARSTGRUNDWASSERLEITER:	kf (hoch):	bis 0,08	$m s^{-1}$
-------------------------	------------	----------	------------

ÜBERGANGSSTOCKWERK (Rottliegendes bis Oberes Karbon [Präsalinar, Permosiles])

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Variskische Orogenese xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

GEOSYNKLINALSTOCKWERK (Unteres Karbon bis Kambrium)

KRISTALLIN-FUNDAMENT (Präkambrium)

KLUFTGRUNDWASSERLEITER:	kf (hoch):	$> 10^{-4}$	$m s^{-1}$
	kf (mittel):	$10^{-4} \dots 10^{-6}$	$m s^{-1}$
	kf (niedrig):	$< 10^{-6}$	$m s^{-1}$

(Durchlässigkeiten nach NEIDHÖFER et al. 1999, 6)
Bergbaugebiete im Rahmen des Exkursionsverlaufs

Das Naturraumstockwerk ist unter Berücksichtigung seiner Korrespondenz mit paläogeographisch angelegten Strukturen des Untergrundstockwerkes und seiner paläoklimatisch gesteuerten Relief- und Substratgestaltung (HANTKE 1993) das Ergebnis einer über 60×10^6 Jahre währenden Entwicklung seit dem Tertiär, kulminierend in seiner pleistozänen glazialen und periglazialen Modifizierung seit ca. $2,5 \times 10^6$ Jahre (SCHWAB 1983, ZIEGLER 1990).

Die Flächennutzungsstruktur ist unter Berücksichtigung ihres Zusammenhangs mit dem Naturraumstockwerk das Ergebnis einer anthropogen gesteuerten Gestaltung der Landschaft einer über ca. 10×10^3 Jahre währenden Entwicklung im Holozän, dominierend seit ca. 1 000 Jahren und intensiviert bis in die Gegenwart reichend (JÄGER & BERNHARDT 1987, BERNHARDT & JÄGER 1985). Die sich im Verhältnis Wald-Offenland widerspiegelnde Nutzung der Landschaft besitzt vor dem Hintergrund einer funktionalen Abhängigkeit der Variabilität der Veränderung der landwirtschaftlich genutzten Fläche von der Variabilität der Bevölkerungsentwicklung und des dadurch variierenden Nahrungsmittelbedarfs eine historische Dimension. Sie schließt unter Berücksichtigung der nacheiszeitlichen Klima- und Vegetationsgeschichte und des jeweils vorhandenen technologischen Niveaus sowohl

Möglichkeiten einer "horizontalen Expansion" (innere und äußere Kolonisation) als auch einer "vertikalen Expansion" (Intensivierung) ein (KNAUER 1995, BONDAREV 1996).

Die historisch veränderliche Land- bzw. Flächennutzung eines Gebietes läßt sich in ihrer Beziehung zum naturräumlichen Hauptstockwerk zweckmäßigerweise in zwei Gruppen (RICHTER 1976, 19) einordnen:

- **naturraumnutzende Flächennutzungskomplexe**, die die Funktionen der naturräumlichen Ausstattung nutzen:
 - Gebiete mit überwiegend landwirtschaftlicher Nutzung,
 - Gebiete mit überwiegend forstwirtschaftlicher Nutzung,
- **naturraumverändernde Flächennutzungskomplexe**, die die Funktionen der naturräumlichen Ausstattung verändern bzw. aufheben:
 - Gebiete mit bebauten Siedlung-, Industrie-/ Verkehrsflächen,
 - Gebiete mit abgebauten/in Abbau befindlichen Bergbauflächen.

Historische Bergbauanlagen repräsentieren eine besonders intensive Beeinflussung des Naturraumes schon seit dem frühen Mittelalter. Neben historischen Speicherräumen, die der Speicherung von Aufschlagswasser für Wasserräder zur Energiegewinnung dienten und den Hintergrund für den modernen Talsperrenbau bildeten, sind es insbesondere auch die untertägigen Hohlraumvolumina, die unter dem Aspekt einer mehrhundertjährigen Langzeitsicherheit relevant sind (vgl. Tab. 1. 2).

Tab. 1. 2: Offene bergbauliche Hohlraumvolumina in Deutschland
(nach WELLMER & BECKER-PLATEN 1999, 177)

Bergwerktyp	Hohlraumvolumina [10^6 m^3]		davon nutzbar	
	Spektrum	Mittelwert	absolut	[%]
Salzbergwerke	202...307	255	102	75
Steinsalzbergwerke	70... 90	80	30	
Kalisalzbergwerke	132...217	175	72	
Kohlebergwerke	4	4	0	0
Steinkohlenbergwerke	4	4	0	
Braunkohlenbergwerke	0	0	0	
Erzbergwerke	21	21	21	15
Eisenerzbergwerke	6	6	6	
NE-Erzbergwerke	15	15	15	
Gipsbergwerke	7... 10	8,5	3	2
Kalkbergwerke	15... 20	17,5	11	8
Granitbergwerke	0	0	0	0
Gesamt:	248...362	306	137	100

1 Geologische Übersicht

Die geologische Charakteristik des Exkursionsgebietes folgt im Wesentlichen der Stockwerkgliederung nach KATZUNG & EHMKE (1993). Sie unterscheidet das aus prävariskischen Prozessen und der variskischen Orogenese hervorgegangene Grundgebirge (Sedimentite, Magmatite und Metamorphite bis einschließlich des Karbon), das aus der Abtragung des variskischen Morphogens und der daraus resultierenden Molassen des Permosiles (Rotliegendes/ Oberkarbon) entstandene Übergangstockwerk sowie das mit dem Zechstein einsetzende und aus dem diskonform auflagernden mesozoischen und känozoischem Deckgebirge; die vertikale Gliederung des Deckgebirges in Subsalinar, Salinar und Suprasalinar betont den gebietsweise auch geomorphologisch wirksamen Charakter („Durchpaustektonik“) der salinaren Zechsteinabfolge, die das eigentliche Übergangstockwerk zu repräsentieren vermag.

Das Exkursionsgebiet befindet sich vollständig im Mitteleuropäischen Schollengebiet, dessen Gliederung durch saxonisch entstandene, durch Störungen und Flexuren abgegrenzte Hebungs- und Senkungsstrukturen vorgenommen werden kann, die im folgenden vereinfachend als Hoch- und Tiefschollen bezeichnet werden sollen. Während im Bereich der Tiefschollen das Deckgebirge mehr oder weniger vollständig erhalten geblieben ist, tritt in den Hochschollen das Grundgebirgs- und Übergangstockwerk (außer Zechstein) zutage; ein markantes Merkmal der regionalen Abgrenzung zwischen Hoch- und Tiefschollen bildet somit das ausstreichende Zechstein-Salinar (vgl Bild 1. 1).

Regionalgeologisch liegt der Schwerpunkt des Exkursionsgebietes, mit Ausnahme des Werragebietes (südlich der Fränkischen Störungszone bereits der Main-Senke der Süddeutschen Senke zugehörig), im Bereich der Sächsisch-Thüringischen Scholle (Mitteldeutsche Scholle), zu der – von S nach N und damit dem Exkursionsverlauf folgend – der Thüringer Wald und das Thüringisch-Fränkische Schiefergebirge (Hochscholle), die Thüringische Senke (bzw. Thüringer Becken mit den Spezialmulden der Sangerhäuser und Mansfelder Mulde als Tiefscholle), der Harz (Hochscholle) und die Subherzyne Senke (Tiefscholle) gehören.

Die Hochschollen repräsentieren die variskisch angelegten und saxonisch formierten Strukturen von (abgetragenen) Sätteln und (aufgefüllten) Mulden, deren Achsen geologisch SW-NE streichen:

Thüringer Wald

morphologisch NW-SE streichend: Eisenacher Mulde, Ruhlaer Sattel, Oberhöfer Mulde. Begrenzung: im SW durch die Fränkische Störungszone, im NE durch die Creuzburg-Ilmenauer Störungszone

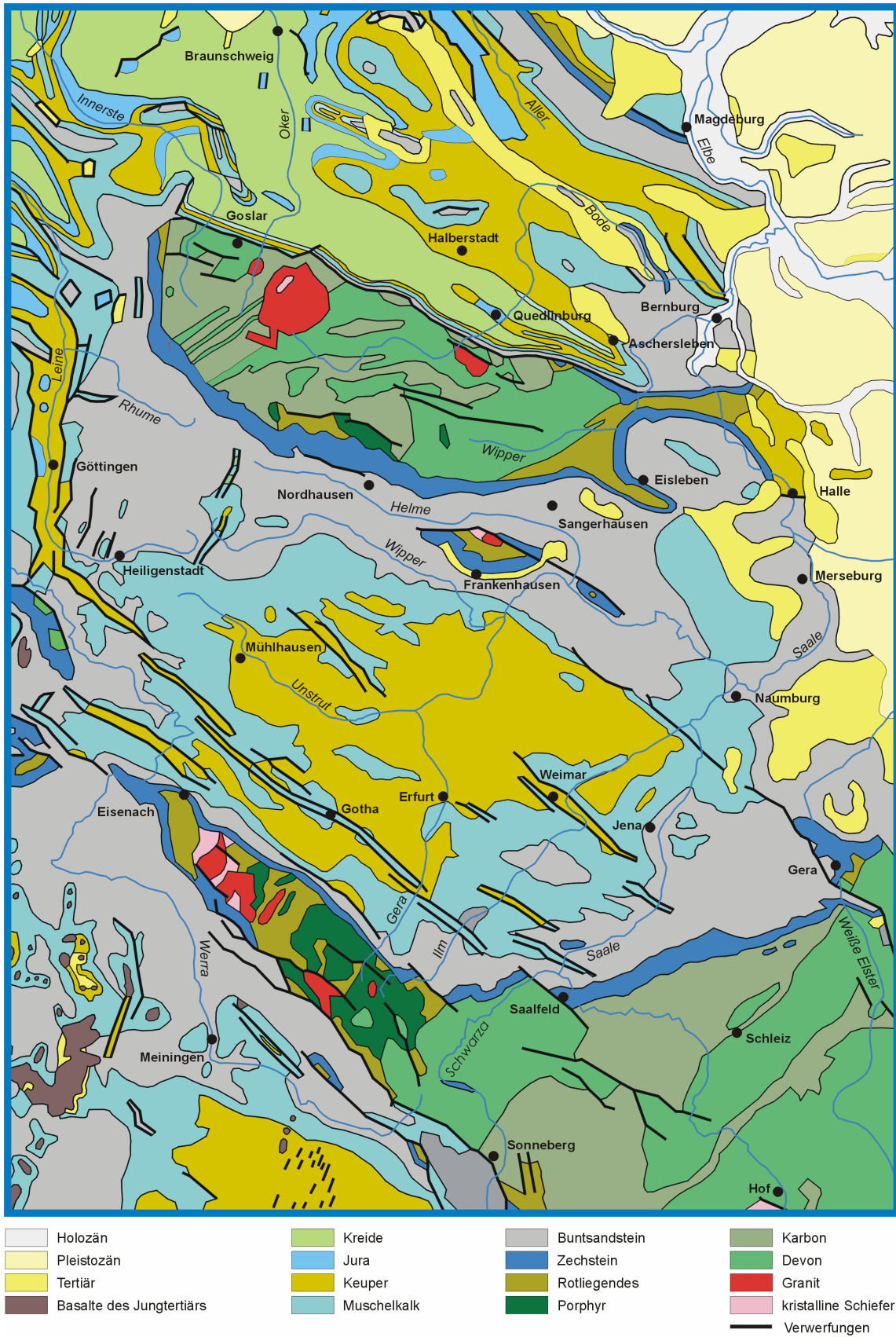


Bild 1. 1: Geologische Übersichtskarte Mitteldeutschlands
(nach Atlas des Saale- und Elbegebietes, SCHLÜTER & AUGUST 1959)

Thüringisch-Fränkisches Schiefergebirge

morphologisch NW-SE streichend: Schwarzburger Sattel, Ziegenrücker Mulde, Bergaer Sattel.
Begrenzung: im SW durch die Fränkische Störungszone, im SE durch die Münchberger Masse

Kyffhäuser

morphologisch NW-SE streichend. Bruchscholle am NE-Rand der Hermundurischen Scholle (Bild 1. 3.)
Begrenzung: im NE durch die Kyffhäuser-Crimmitschau-Störungszone (Kyffhäuser-Nordrandstörung), im SW durch die Finne-Gera-Jachymov-Störungszone (Kyffhäuser-Südweststrandstörung), segmentiert durch die E-W streichende Kelbraer Störung im NW und die NE-SW streichende Hornburger Tiefenstörung im SE (WUNDERLICH 2005).

Harz

morphologisch NW-SE streichend. Mit Intrusivkörpern (Brocken- und Ramberg-Massiv), Metamorphit-zonen, dem Elbingeröder Kalkkomplex und Rotliegend-Mulden [Ilfelder Mulde im S und Meisdorfer Mulde im N]). Begrenzung: im NE durch die Harznordrandstörung, im SW durch eine Flexur, im E mit einer Grundgebirgsfortsetzung als Halle-Hettstedter Sattel (N) und Hornburger Sattel (S).

Die Tiefschollen repräsentieren die von Zechstein und Trias dominierten Reste des prä-saxonisch vorhandenen Deckgebirges, die zwar flächenhaft verbreitet, jedoch bevorzugt durch herzynisch (WNW-ESE bis NW-SE) streichende Störungszone in Schollen- und vereinzelt Grabenstrukturen gegliedert sind und auch Sattel- und Muldenstrukturen aufweisen:

Thüringische Senke (Thüringer Becken)

Ausstrichbereich von Zechstein, Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper mit der Begrenzung: im NW durch den Ostrand des Leine-Graben, im SW durch die Sontraer und Creuzburg- Ilmenauer Störungszone, im SE durch den Zechsteinausstrich und im N durch den Harz und den Halle-Hettstedter Sattel. Regionalgeologisch wird die Senke zweigeteilt: südwestlich der Finne-Störung, die die NW-SE streichende 10 bis 15 km breite Hermundurische Scholle begrenzt, als Thüringer Mulde und nördöstlich der Finne-Störung als Osterland-Scholle. Als Besonderheiten sind etwa zwischen dem Kyffhäuser (Hochscholle als Aufbruch der Hermundurischen Scholle) bzw. der Finne-Störung und dem Hornburger Sattel die Sangerhäuser Mulde und zwischen Hornburger Sattel und Hettstedter Sattel die Mansfelder Mulde anzuführen, die regionalgeologisch der Merseburger Schwelle der Osterland-Scholle, regionalgeographisch dem südöstlichen bzw. östlichen Harzvorland zugerechnet werden.

Subherzyne Senke

Ausstrichbereich von Trias und Kreide und (untergeordnet) Jura in der Abfolge (von S nach N): Halberstadt-Blankenburger-Scholle, Oschersleben-Bernburger Scholle und Weferlingen-Schönbecker Scholle Begrenzung: im SW durch die Harznordrandstörung und den Halle-Hettstedter Sattel und im NE durch die Flechtingen-Roßlauer Scholle. Als Besonderheit weist die Senke herzynisch streichende Salzsättel des Zechstein auf, wie den Egelner und Staßfurter Sattel im Bereich der Oschersleben-Bernburger Scholle, die durch salztektonische Vorgänge zwischen dem Harz und der Flechtingen-Roßlauer Scholle entstanden sind. Die Subherzyne Senke wird regionalgeographisch auch als nördliches Harzvorland aufgefaßt.

1.1 Hochschollen

1.1.1 Geologischer Bau der Mittelgebirgsschwelle Deutschlands

Um den geologischen Bau des Harzes und des Thüringer Waldes verstehen zu können, ist es hilfreich, zunächst die Entstehung des variskischen Gebirges zu betrachten. Während der variskischen Gebirgsbildung vom Ordovizium bis zum Oberkarbon wurde die geologische Struktur der heutigen deutschen Mittelgebirgsschwelle angelegt, als sich ein Meeresbereich zwischen den damaligen Südkontinenten Gondwanas und einem Nordkontinent aus Nordamerika und Europa schloss. Europa wurde zu dieser Zeit im Wesentlichen durch den Skandinavischen Schild mit der Russischen Tafel und daran angelagerte Gebirgszüge von Norwegen und Schottland repräsentiert. Die Einengung und schließliche Faltung erfolgte dabei so, dass die auftretenden Druckbewegungen etwa entlang einer gedachten Linie von Südost nach Nordwest wirkten. Die senkrecht (von NE nach SW) zu dieser damaligen Einengungsrichtung entstandenen Sättel und Mulden bilden heute die Grundstruktur des variskischen Gebirges.

Die in den verschiedenen Bereichen in dem später durch die Kontinentkollision zusammengeschobenen und aufgefalteten Meeresbereichen entstandenen Gesteine prägen den grundlegenden geologischen Bau aller deutschen Mittelgebirge. Auf dem Schelf des Nordkontinentes abgelagerte Gesteine bilden heute die Gesteine des Rhenoherynikums, die Gesteine des Harzes sind in diesem Bereich gebildet worden. Die in den zentralen Ozeanbereichen unter meist größeren Wassertiefen abgelagerten Gesteine bauen heute das Saxothuringikum auf. Dieses wird im Kapitel zum Thüringer Wald und zum Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge weiter beschrieben. Die Gesteine eines größeren Inselmassivs, der damaligen Böhmisches Insel, bilden heute das Moldanubikum mit Mittelgebirgen wie dem Bayrischen Wald und dem Schwarzwald. Diese Grundgliederung des Variskischen Gebirges wurde von KOSSMAT (1927) entwickelt.

In Bild 1. 1 sind die heutigen Mittelgebirge des Harzes und des Thüringer Waldes gut erkennbar. Wesentlich ist, dass die kristallinen Schiefer und die devonischen und karbonischen Schichten im Harz und Thüringer Wald quer zu den eigentlichen Mittelgebirgsschollen ausgerichtet sind. Die Mittelgebirgskörper streichen in ihrer Morphologie herzynisch von NW nach SE, die in ihnen befindlichen geologischen Strukturen stellen jedoch variskisch, also NE-SW, ausgerichtete Falten dar. Harz und Thüringer Wald sind somit zwei typische Mittelgebirge, in welchen ein Teil des im gesamten Untergrund Mitteleuropas vorhandenen variskischen Faltengebirges als einzelner Krustenspan wieder herausgehoben wurde. Die hierfür verantwortliche Bruchschollentektonik trat zeitgleich mit der alpidischen Orogenese im S als saxonische Tektogenese an der Wende von der Kreide zum Paläogen auf.

1.1.2 Thüringer Wald

Im geologischen Bau des Thüringer Waldes kann sehr instruktiv der in Kap. 1.1.1 skizzierte, generelle Aufbau von Hochschollen der Mittelgebirgsschwelle nachvollzogen werden. WAGENBRETH & STEINER (1990, 104) bezeichnen diesen generellen Aufbau auch als „in sich verdrehte Schollen“.

Zur Zeit der variskischen Gebirgsbildung im Oberkarbon wurde die Erdkruste in Sättel und Mulden mit SW-NE verlaufenden Achsen gefaltet. Die tiefen Muldenbereiche dienten nach der Gebirgsbildung als Sammeltröge für jene Schuttmassen, welche im Perm bei der Abtragung des variskischen Gebirges anfielen. Der Abtragungsschutt bestand aus groben Geröllmassen, die unter ariden Klimabedingungen in die Mulden gelangten. Folglich weisen sie die typisch rote Färbung auf, wie sie Gesteine unter trockenheißen Bedingungen annehmen und dabei Eisen zu tiefrotem Hämatit oxidiert wird. Stellenweise drangen in diese Muldenbereiche zudem quarzreiche, vulkanische Laven ein, die als Porphyre erstarrten.

Die alten Höhenzüge und zwischenzeitlich verfüllten Mulden bilden im Thüringer Wald von West nach Ost die charakteristische Abfolge von Eisenacher Mulde, Ruhlaer Sattel, Oberhöfer Mulde und Schwarzburger Sattel (letzterer wird teilweise bereits zum Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge gerechnet). Diese geologischen Einheiten wurden schließlich teilweise eingeebnet und überdeckt, überdauerten aber das gesamte Mesozoikum.

Zum Ende der Kreidezeit wurde schließlich im Zuge der saxonischen Bruchschollentektonik ein Span aus diesem Erdkrustenteil herausgehoben. Mit einer Längsachse von SE nach NW stellt dieser Krustenspan nichts anderes als die Hochscholle des Thüringer Waldes dar. In dieser Hochscholle sind nun heute wieder die Eisenacher und Oberhöfer Mulde sowie der Ruhlaer Sattel zu beobachten, welche im Umland des Thüringer Waldes teilweise erst in etwa 1200 m Tiefe wieder ihre Fortsetzung finden. Der Thüringer Wald ist heute klar gegenüber seinem Umland herausgehoben. Wegen der ihn deutlich begrenzenden beiden geologischen Störungszonen, der Fränkischen Linie im Süden und der Thüringer Wald Nordrandstörung im Norden, lässt er sich geologisch als Horstgebirge kennzeichnen.

Die Eisenacher und Oberhöfer Mulde sind heute freilich nicht mehr als Mulden im Gelände zu erkennen. Die sie ausfüllenden Konglomerate sind vielmehr recht verwitterungsresistent und bilden heute vielfach steile Talflanken und Bergsporne. Auf einem solchen Bergsporn wurde beispielsweise die Wartburg errichtet. Zeugen dieser hohen Verwitterungsresistenz sind auch die engen Schluchtbereiche der Drachenschlucht bei Eisenach (vgl. Exkurs: Drachenschlucht bei Eisenach). Noch deutlicher bildet die Oberhöfer Mulde heute Bereiche, welche markant über das Umland hinausragen. In die Konglomerate drangen zusätzlich Laven ein, die zur Zeit des Perms spitzkegelige Vulkane bildeten. Die Gesteine dieser Vulkanbauten sind heute noch als Phorphyre zu erkennen. Der Inselsberg war zu jener Zeit einer jener Vulkane, dessen Laven in die Oberhöfer Mulde ausflossen. Aufgrund der hohen

Gesteinhärte der Porphyre wurde die Vulkanruine des Inselferges nach der saxonischen Heraushebung der Hochscholle des Thüringer Waldes weniger intensiv abgetragen und bildet heute, obwohl geologisch in einer Mulde gelegen, mit 916 mNN einen der höchsten Bereiche im Thüringer Wald. Weitere solcher mittlerweile herauspräparierten Vulkanhärtlinge in geologischer Muldenlage stellen Beerberg (982 m) und Schneeberg (978 m) dar.

Wegen ihrer langgestreckten Form lässt sich die Hochscholle des Thüringer Waldes auch als Leistenscholle mit von SE nach NW verlaufender Achse (herzynisch) charakterisieren. Diese Leiste ist jedoch unterschiedlich über das Umland herausgehoben worden. Außerdem sind die sie begrenzenden Störungszonen so versetzt, dass diese Leiste nach NW zunehmend schmaler wird. Im Westen, im Bereich der Eisenach Mulde, ist der Thüringer Wald nur als Gebirgsgrat von weniger als 10 km Breite ausgebildet. Hier wurde das Gebirge aber markant über sein Umland herausgehoben, wie die weithin sichtbar über dem Stadtgebiet von Eisenach thronende Wartburg verdeutlicht. Die den Thüringer Wald umgebenden mesozoischen Schichtpakete wurden um Eisenach in zahlreiche Einzelblöcke zerlegt und steilgestellt. Wegen dieser Steilstellung finden sich im Stadtgebiet von Eisenach Schichtrippen wie die aus Kalken des Muschelkalks aufgebaute Michelskuppe. Aber auch die Zerlegung der in das Thüringer Becken einfallenden Schichten in Einzelblöcke in diesem Bereich ist gut erkennbar. Am Bahnhof Wutha befindet sich eine deutliche Verwerfung in den Schichtstufen bildenden Kalken der Hörselberge (mittlerer und oberer Muschelkalk).

Im nach Südosten anschließenden Bereich des Ruhlaer Kristallins ist der Thüringer Wald dagegen nur schwach gegenüber seinem Vorland angehoben. Die mesozoischen Schichtpakete streichen in flachem Winkel an seinem Nordrand aus. Dieses flache Ausstreichen bewirkt unter anderem, dass mehrfach in der Zechsteinformation vorhandene Riffkalke aus Moostierchen (Bryozoen) herauspräpariert werden konnten und heute die gut sichtbaren Einzelberge bei Thal bilden. Die Riffkalke bei Thal markieren den Übergang vom Grundgebirge des Thüringer Waldes im Süden zu den nördlich anschließenden Sedimenten des Thüringer Beckens.

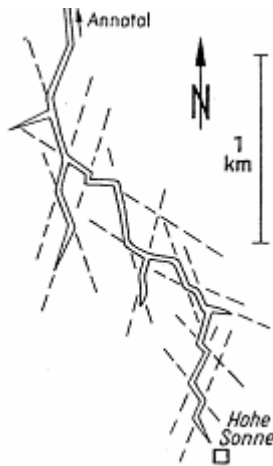
Im Bereich der Oberhöfer Mulde erhebt sich der Thüringer Wald wieder zunehmend mehr über sein Vorland, deutlich überragt der Inselferg die am Rande der Leistenscholle gelegenen Orte Tabarz und Friedrichroda. Ebenso nimmt die Leistenscholle nach Südosten weiter an Breite zu. WAGENBRETH & STEINER (1990) sprechen von einer „fiederförmigen“ Ausweitung der Thüringer-Wald-Nordrandstörung, welche den Thüringer Wald im Übergangsbereich zum Thüringisch Vogtländischen Schiefergebirges (Schwarzburger Sattel) auf mehr als 25 km verbreitert. Gleichzeitig überragt der Schwarzburger Sattel dann auch wieder auffällig das Umland. Die hier wieder deutliche Heraushebung der Leistenscholle kann unter anderem eindrucksvoll bei Saalfeld beobachtet werden, wo die Saale auf kurzer Strecke das mit steilen Talflanken versehene Schiefergebirge verlässt und in eine breite Tal-aue mündet.

EXKURS:

Drachenschlucht bei Eisenach

Östlich von Eisenach befindet sich innerhalb der Eisenacher Mulde eine geomorphologisch bemerkenswerte Talform. Nachdem der Marienbach ein 1 km langes Kerbtal durchflossen hat, ist in den Konglomeraten des Rotliegenden (Unterperm) die 182 m lange Klamm der Drachenschlucht ausgebildet. Diese ist zum Teil nur 70 cm breit, aber bis zu 10 m hoch. Der Verlauf der Drachenschlucht folgt abwechselnd variskischen und herzynischen Störungszonen.

Die Konglomeratserien des Rotliegenden bilden in der Eisenacher Mulde häufiger schichtstufenartige, steil ausgebildete Hangbereiche. Die aus groben Geröllen bestehenden Konglomerate sind relativ wasserdurchlässig. Vorhandene Partien tonreicher Gesteine weisen demgegenüber eine höhere Bergfeuchte auf, wodurch sie leichter verwittern und ausgeräumt werden. Die unterhöhlten Konglomerate bilden dann oft steilstehende Klippen.



Die zahlreichen Auskolkungen und Strudelnischen in der Drachenschlucht weisen jedoch auch darauf hin, dass die Klamm während Zeiten deutlich höherer Abflüsse als heute entstanden sein muss. Zu Beginn und zum Ende der letzten Vereisungen war der Boden bereits durch Permafrost vergleichsweise wasserundurchlässig. Die auftreffenden Niederschläge flossen ungehindert oberflächlich ab und konnten so deutliche Erosionsformen wie die der Drachenschlucht schaffen.

Bild 1. 2: Verlauf der Drachenschlucht entlang vergitterter herzynischer und variskischer Störungslinien (aus WAGENBRETH & STEINER 1990, 112)

1.1.3 Thüringisch-Vogtländisches Schiefergebirge

Auch im Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge kann wieder der generelle Aufbau von Hochschollen der Mittelgebirgsschwelle studiert werden. Der Gebirgskörper besteht geologisch aus zwei Sätteln und den dazugehörigen Mulden, von West nach Ost dem Schwarzburger Sattel, der Ziegenrücker Mulde, dem Bergaer Sattel und der Vogtländischen Mulde. Diese wurden mit der variskischen Gebirgsbildung im Oberkarbon angelegt, als Sedimente aus tieferen Meeresbereichen aufgefaltet, durch die auftretenden Drücke verschiefert wurden und zusammen mit weiteren Sätteln und Mulden die saxothuringische Zone des variskischen Gebirges bildeten. Anders als im Thüringer Wald finden sich aber

heute im Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge keine später mit Rotliegendesedimenten verfüllten Molassetröge.

Schwarzburger und Bergaer Sattel bildeten Falten 1. Ordnung. Durch die hohen Drücke während der Gebirgsbildung wurden aber nicht nur großräumige Falten wie Sättel und Mulden gebildet, die Sedimentpakete legten sich auch innerhalb dieser Sättel und Mulden in einzelne Falten. Diese kleineren Falten werden als Falten 2. und 3. Ordnung bezeichnet (WAGENBRETH & STEINER 1990). In Ziegenrück ist auf der rechten Saalseite geradezu idealtypisch eine solche kleinere Falte aufgeschlossen.

Da es sich im Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge vorrangig um Gesteine handelt, die ursprünglich in tieferen Ozeanbereichen abgelagert wurden, sind die Schiefer größtenteils aus feinkörnigen Tonen und Schluffen des damaligen Meeresbodens gebildet worden. Ihre zudem oft auftretende dunkle Färbung rührt von den teils sauerstoffarmen, teils anoxischen Bedingungen in den kaum bewegten, tiefen Meeresbereichen. In diesen bildeten sich im Ordovizium und Silur Faulschlämme, die dann mit der Gebirgsbildung metamorphisiert wurden. Lediglich aus dem Devon sind kalkige Ablagerungen bekannt geworden. Diese Kalke wurden zusätzlich von Eisenschlammern durchsetzt, die wie im Elbingeröder Kalkkomplex (Kap. 1.1.5) zusammen mit hydrothermalen Wässern am Ozeanboden gefördert wurden. Durch die Metamorphose im Zuge der variskischen Gebirgsbildung wurden diese hämatitischen, eisendurchsetzten Kalksteine zum heute überregional bekannten Saalburger Marmor umgewandelt.

In den Gesteinspaketen des Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirges sind ebenso untermeerische Basaltdecken verfaultet worden. Diese Basalte werden wegen ihres paläozoischen Alters auch als Diabase bezeichnet und können an den Bleilöchern am Sperrwerk der Bleilochtalsperre beobachtet werden. In unmittelbarer Entfernung hierzu befindet sich auch ein geologisches Denkmal, welches sehr gut die Bildung dieser untermeerischen Basaltdecken veranschaulicht. Die „Steinerne Rose“ bei Gräfenwarth stellt nichts anders als ein heute verwitterndes Bruchstück des variskischen Ozeanboden dar, auf dem die austretenden, basaltischen Laven zu Kissen- oder Pillowlaven erstarrten.

Mit der saxonischen Bruchschollentektonik wurde das Thüringisch-Vogtländische Schiefergebirge zusammen mit weiteren Krustenspanen zur Mittelgebirgsschwelle emporgehoben. Es stellt heute eine im Süden stärker herausgehobene Hochscholle dar. Im Palaeogen und Neogen setzte die Rumpfflächenbildung ein. Die weitgespannten, vorwiegend agrarisch genutzten Hochflächen zwischen den Tälern der Saale und ihren Nebenflüssen lassen daher heute nur wenig den Charakter einer Mittelgebirgslandschaft erkennen. Dieser wird nur entlang der oft steilen Talflanken der Flüsse deutlich.

1.1.4 Kyffhäuser

Der südlich des Harzes gelegene Kyffhäuser weist eine ebenso steile Nordrandstufe wie der Harz auf und taucht ebenso im Süden unter die Gipse des Zechsteins ab. Das kleinste deutsche Mittelgebirge stellt den am höchsten herausgehobenen Teil eines zwischen Thüringer Becken und Harz herausgehobenen Krustenspanns dar. Dieser Krustenspann wird als Hermundurische Scholle (Bild 1. 3) bezeichnet. An seiner Südgrenze befindet sich die markante Finne-Störung, die den Übergang zur Tiefscholle des Thüringer Beckens markiert (EBERHARDT 1976)

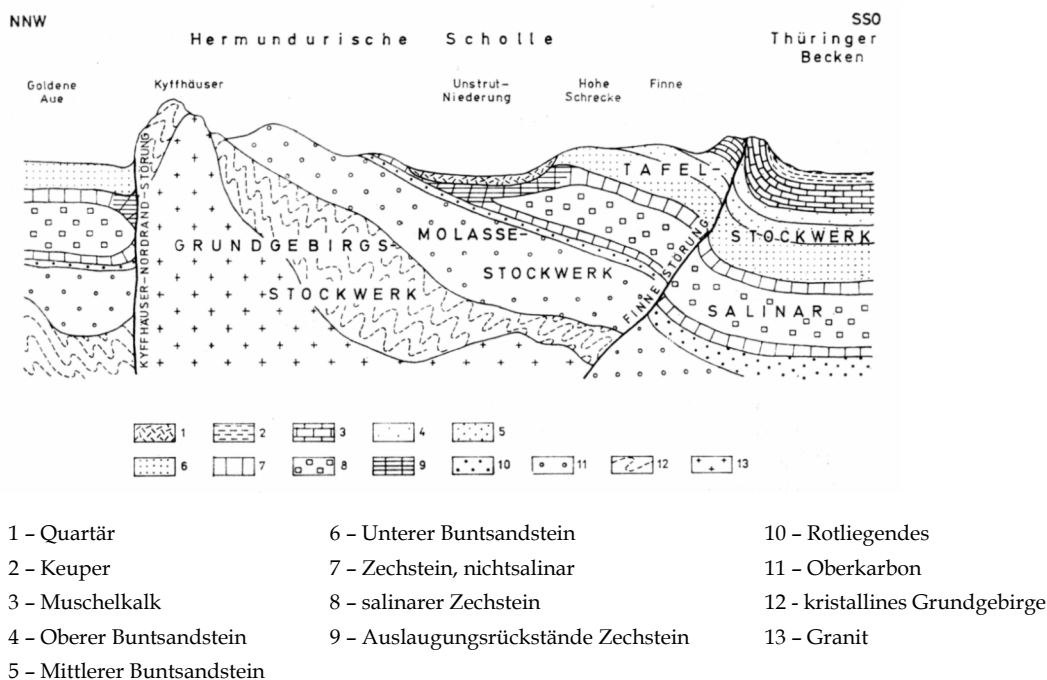


Bild 1. 3: Schematischer Schnitt durch die Hermundurische Scholle mit dem Kyffhäuser (aus: SCHWAB in KUGLER & SCHMIDT 1988, 11)

Die Gesteine des Kyffhäusers wurden während der variskischen Gebirgsbildung auf der Mitteldeutschen Schwelle abgelagert, jenem Mikrokontinent, dem auch die „Ostharz-Decke“ entstammt (Kap. 1.1.5). Der Kyffhäuser stellt damit im erdgeschichtlichen Sinne einen heute herausgehobenen Teil der Mitteldeutschen Schwelle dar. Da die Mitteldeutsche Schwelle bereits im Oberkarbon landfest wurde, lagerten sich auf ihr mächtige Konglomeratserien sowie Sand- und Tonsteine ab. Diese erhielten ihre heute charakteristische rötliche Färbung durch Eisenoxidation unter den damals vorherrschenden ariden Bedingungen. Die roten, oberkarbonischen Konglomerate und Sandsteine prägen den Gesteinsuntergrund der Hochlagen des Kyffhäusers. Aus ihnen wurden ebenso die auf dem Kyffhäuser liegende Reichsburg Kyffhausen wie das Kyffhäuserdenkmal (vgl. Exkurs) errichtet.

1.1.5 Harz

Der Harz bildet den Nordrand der deutschen Mittelgebirgsschwelle. Die ihn aufbauenden Gesteine sind während der variskischen Orogenese im rhenoharzynischen Ablagerungsraum gebildet worden. Hier wurden im Erdaltertum vom Ordovizium bis zum Ende des Devons (im Nordwestharz bis zum beginnenden Oberkarbon) an einem damaligen Kontinentalabhang vor allem klastische Ton- und Sandsteine abgelagert. Im Devon drangen in weiter vom Kontinentalrand entfernten Meeresbereichen vulkanische Schmelzen auf und bildeten untermeerische Vulkanberge. In diesem Milieu fand die fazielle Sonderentwicklung des Elbingeröder Kalkkomplexes statt.

EXKURS:

Guyots und Atolle - Der Elbingeröder Kalkkomplex

Bei einem Blick vom Oberharz auf das Gebiet um Elbingerode und Rübeland fallen heute die großen, landschaftsbestimmenden Kalksteintagebaue. Die massigen Korallenkalke aus dem Devon stellen eine geologische Besonderheit im Bau des Harzes dar. Korallenriffe konnten weder am trübstromreichen Kontinentalabhang, wo vor allem klastische Sedimente abgelagert wurden, noch in den vorgelagerten, lichtarmen Tiefseebereichen aufwachsen.

An quer zur variskischen Streichrichtung angelegten geologischen Störungszonen wurden jedoch im Devon bevorzugt basische, keratophyrische Vulkanite gefördert. Dabei entstanden untermeerische Vulkanberge, welche es den damaligen tabulaten Korallen und vor allem riffbildenden Schwämmen ermöglichten, lichtdurchflutete Meerbereiche zu besiedeln. Diese nur knapp die Wasseroberfläche erreichenden Vulkanberge werden auch als Guyots bezeichnet. Die die Guyots aufbauenden Kissenlaven sind heute als grünlich gefärbte Schalsteine ebenso im Gebiet um Elbingerode und Rübeland zu finden wie von tiefroten Eisenvererzungen durchzogene Partien in den devonischen Kalken. Diese als „Harzer Blutstein“ bezeichneten hämatitischen Vererzungen vom Lahn-Dill-Typus entstanden, als hydrothermale Wässer in Stillwasserbereichen entlang der Vulkanausbruchstellen austraten und Eisenoxide absetzten.

Die Phase der Kalksteinbildung im Elbingeröder Kalkkomplex reichte bis in das Oberdevon hinein. Durch die zunehmende Aktivität der Gebirgsbildung lösten sich im Unterkarbon vor allem von der südlich gelegenen Mitteldeutschen Schwelle Gleitdecken und Rutschmassen (Olisthostrome) und begruben daraufhin den Elbingeröder Komplex. Im Oberkarbon wurde dieser schließlich aufgefaltet.

Die während etwa 150×10^6 Jahren abgelagerten Gesteinsserien wurden schließlich mit der variskischen Gebirgsbildung gefaltet und als Teil des variskischen Gebirges emporgehoben.

Dabei kam es vor allem im Bereich des heutigen Harzes wiederholt vor, dass der sich hebende Kontinentalrand instabil wurde und die darauf abgelagerten Sedimente ins Rutschen kamen. Solche Rutschmassen werden in der Geologie des Harzes als „Olisthostrome“ bezeichnet. Sie kennzeichnen den Beginn der Auffaltung des variskischen Gebirges. Bisweilen gelangten ganze Sedimentpakete in Bewegung und glitten von höheren Inselbereichen den Kontinentalabhang hinab. Da die Sedimentpakete vom Ort ihrer Entstehung verlagert wurden, werden sie auch als allochthone Decken bezeichnet. Ein solcher Deckenstapel ist die von der Mitteldeutschen Schwelle abgerutschte „Ostharz-Decke“ (KNOLLE et al. 1997). Die Mitteldeutsche Schwelle stellt einen in den Faltenbau des variskischen Gebirges einbezogenen Mikrokontinent dar.

Im Oberkarbon fand die variskische Gebirgsbildung ihren Höhepunkt. Zusammen mit den Gesteinen des eingeeengten Ozeans zwischen den damaligen Südkontinenten Gondwanas und dem Nordkontinent Laurasia wurden auch die Sedimente des rhenoharzynischen Ablagerungsraumes gefaltet und mit zunehmendem Druck schließlich metamorphisiert. Gliedert man den Harz in seine geologischen Einheiten so finden sich nacheinander abfolgend Sättel und Mulden mit vorwiegend schiefrigen Gesteinen, welche nichts anderes als den gefalteten und metamorphisierten ehemaligen Kontinentalrand darstellen (Tab. 1. 3).

Tab. 1. 3: Geologische Baueinheiten des Harzes

(MOHR 1968 und WACHENDORF 1995 zit. in KNOLLE et al. 1997, 16)

	Wippraer Zone
UNTERHARZ	Harzgeröder Zone
	Ostharz-Decke in der Südharz- und Selke-Mulde
~~~~~ Tanner Störung ~~~~~	
	Tanner Zone
MITTELHARZ	Blankenburger Zone
	Elbingeröder Kalkkomplex
	Sieber Mulde
~~~~~ Acker-Hauptstörung ~~~~~	
	Acker-Bruchberg-Zug
	Söse-Mulde
OBERHARZ	Oberharzer Diabaszug
	Clausthaler Kulmfaltenzone
	Oberharzer Devonsattel

Im Rahmen dieser Abfolge sind die Plutone des Ramberg- und Brockenmassivs als eigenständige geologische Einheiten zu finden. Zum Ende der varizischen Gebirgsbildung vor

etwa 295×10^6 Jahren stiegen quarzreiche, saure Magmen in dem gerade entstandenen Gebirgskörper auf. Die im Gebirgskörper steckengebliebenen Magmenkörper bilden heute den Brocken- und den Ramberggranit. Beide Granitplutone verbreitern sich in der Tiefe, sie können daher als Batholithe bezeichnet werden.

Das umgebende Gestein dieser beiden Plutone wurde zu dieser Zeit so stark erhitzt, dass sich ein konzentrisch ausgebildeter Kontakthof ausbilden konnte. In diesem finden sich kontaktmetamorph entstandene Frucht- und Garbenschiefer, die dem Pluton am nächsten liegenden Gesteinsbereiche wurden zu Hornfelsen umgewandelt. Die kontaktmetamorph entstandenen Hornfelse sind gegenüber Verwitterungsprozessen sehr widerständig. Sie können heute noch am Erdbeer- und Hohnekopf beobachtet werden. Durch die den Brockengranit umgebenden Hornfelse wurde der Brockenpluton lange Zeit vor intensiver Abtragung und Einebnung geschützt und bildet heute die höchsten Harzbereiche (vgl Exkurs).

Zur Zeit des Rotliegenden erreichten die aufsteigenden sauren Magmen die Erdoberfläche und bildeten porphyrische Vulkanbauten, von denen eine der heutige, aus Quarzporphyren aufgebaute, Auerberg bei Stolberg im Südharz ist. Im Thüringer Wald existiert mit dem Inselsberg ein ebenso im Rotliegenden aufgedrungener Vulkan.

Neben dem Vulkanismus war das dem Oberkarbon folgende Rotliegende vor allem durch die Abtragung des variskischen Gebirges gekennzeichnet. Der Abtragungsschutt wurde in Senkenbereiche verfrachtet und bildet heute die roten Konglomerate der Südharzmulde und des Meisdorfer Beckens im Norden des Harzes. Vereinzelt kam es in diesen Senken auch im Rotliegenden noch zu einer geringmächtigen Steinkohlebildung. So finden sich in der Südharzmulde, nördlich von Nordhausen bei Ilfeld, noch Zeugnisse eines kurzzeitigen Steinkohlebergbaues. Anders als die oberkarbonischen Steinkohlen aus dem Ruhr- und Saargebiet sind die während des Autun, der frühen Phase des Rotliegenden, gebildeten Kohlen durch den Abtragungsschutt des variskischen Gebirges stark verunreinigt worden. Sie werden deshalb auch als „feuerfeste Kohlen“ bezeichnet, ein wirtschaftlicher Abbau kam nur in Kriegs- und Notzeiten in Frage. (Standort Rabensteiner Stollen bei Netzkater)

Auf das Rotliegende folgte die Zeit des Zechstein und schließlich das Erdmittelalter. Der Harz als Teil des variskischen Gebirges war eingeebnet und als morphologische Erscheinung nicht sichtbar. An der Wende von der Kreide zum Palaeogen wurden dann Teile des eingeebneten variskischen Gebirges als Krustenspan herausgehoben. Diese saxonische Bruchschollentektonik hat den Harz in seiner heutigen ovalen Form entstehen lassen. Dabei wurde sein nördlicher Bereich wesentlich stärker herausgehoben und bildet heute den markant aufragenden Nordrand des Harzes. Mit der Heraushebung wurden auch die angrenzenden Sedimentgesteine aufgeschleppt und steilgestellt. Sie sind heute entlang der Nordharzrandaufrichtungszone oft als deutliche Schichtrippen erkennbar. (Exkurs: Nordharzrandaufrichtungszone mit Teufelsmauer). Im Süden tauchen die kristallinen Gesteine des

Harzes dagegen unmerklich unter die Gesteine des Thüringer Beckens. Hier findet sich heute eine durch die Gipse des Zechsteins geprägte Karstlandschaft (Exkurs: Sulfatkarst am Südrand von Kyffhäuser und Harz).

SPEZIAL: Rumpfflächenbildung und Eigenvergletscherung im Harz

Rumpfflächenbildung

Die ersten Hebungen der Grundgebirgsscholle des Harzes setzten in der Oberkreide in der in der Ilseder- und Wernigeröder Phase der saxonischen Tektogenese ein (DORN 1960). Der Harz wurde jedoch nicht kontinuierlich sondern über mehrere Phasen über sein Umland herausgehoben. Diese Phasen lassen sich bis in das Altpleistozän nachweisen (MOHR 1993).

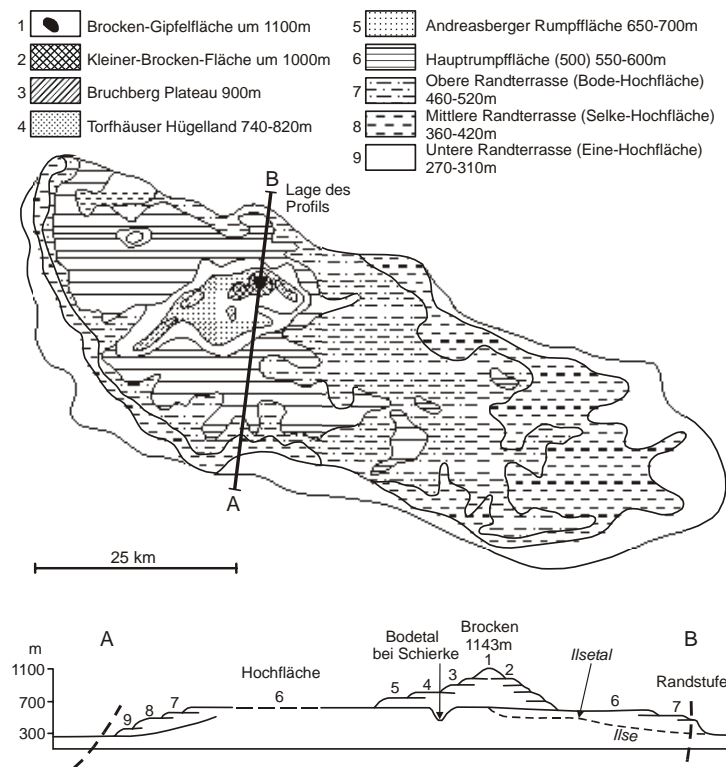


Bild 1. 4: Rumpfflächen des Harzes (nach HÖVERMANN 1950)

Mit der phasenweisen Heraushebung verbunden ist die in allen deutschen Mittelgebirgen charakteristisch auftretende Einrumpfung. Mit ihr hat sich im Harz eine deutlich ausgeprägte Rumpftreppe entwickelt. HÖVERMANN (1950) hat für den Harz neun konzentrisch angeordnete Rumpfflächen bestimmt (Bild 1. 4).

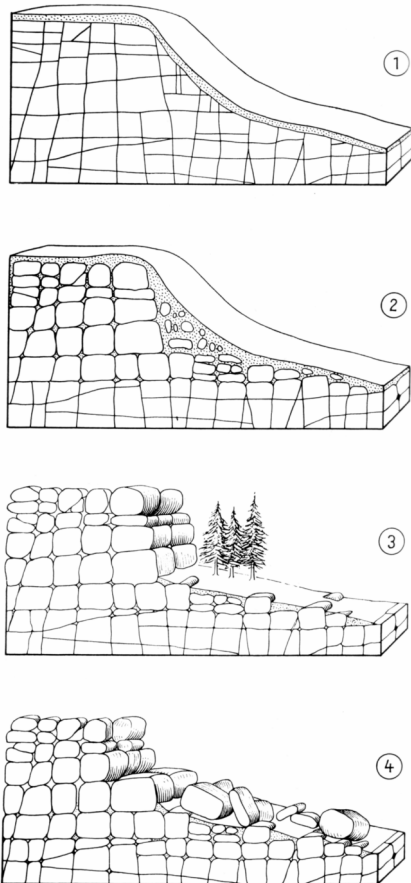
Für die Rumpfflächenbildung ist das Zusammenreffen einer schrittweisen Emporhebung und eines tropisch warmfeuchten

Klimas, wie es zur Zeit des Palaeogens und Neogens herrschte, von entscheidender Bedeutung. Die tiefgründige chemische Verwitterung zersetzte die oberflächennah anstehend Gesteine faziesübergreifend. Der Begriff faziesübergreifend meint dabei, dass die Verwitterung über fast alle unterschiedliche Gesteinsoberflächen gleich intensiv wirkt. Gleichzeitig zur intensiv fortschreitenden Verwitterung legt eine ebenso intensiv ablaufende flächenhafte Abtragung die Landoberfläche tiefer. Bei diesem Prozess der „doppelten Einebnung“ (BÜDEL) befinden sich Abtragung und Verwitterung in einem dynamischen Gleichgewicht. Im Laufe

der Zeit entstehen dabei fast ebene Rumpfflächen. Mit jedem neuen Hebungsschub wird die zuvor angelegte Rumpffläche emporgehoben und bildet eine neue Stufe der Rumpftreppe.

EXKURS:

Klippen- und Blockmeerbildung



Mit der saxonischen Bruchschollentektonik war der Granit des Brocken- und Rambergplutons zu Beginn des Palaeogens wieder an die Erdoberfläche gelangt. Unter den damals vorherrschenden warmfeuchten Klimabedingungen im Tertiär war dieser nunmehr einer tiefgründigen chemischen Verwitterung ausgesetzt. Da die Verwitterung zunächst entlang der Klüfte wirkte, ging damit eine Blockbildung durch Zurundung einher. Dabei durften die Klüfte nicht zu eng stehen, ansonsten wurde der Granit wegen der Vielzahl der Verwitterungsbahnen vollständig zersetzt (1 und 2 von Bild 1. 5). Die chemische Verwitterung im Palaeogen/Neogen bildete damit mächtige Saprolithdecken. Saprolith kennzeichnet einen quasi „verfaulten“ Gesteinsverband, in dem beim Granit die Glimmer und Feldspäte zu Tonmineralen umgewandelt wurden. Der optisch scheinbar noch intakte Granit besteht im Wesentlichen nur noch aus Quarzkörnern, dem leicht bröckelndem Granitgrus. (Steinbruch bei Drei Anne Hohne)

Solange der Granit jedoch lediglich chemisch verwittert, ändert sich das Landschaftsbild kaum. Erst unter periglazialen Verhältnissen wird die Versickerung des Niederschlagswassers gehemmt und die nunmehr einsetzende Solifluktion vermag die Verwitterungsdecke als wasserdurchtränktes Gemisch talabwärts gleiten zu lassen. In Abflussrinnen und Tälern wirkte die Abtragung dann so effektiv, dass hier die Blockströme am anschaulichsten ausgebildet wurden. (3 und 4 von Bild 1. 5)

Bild 1. 5: Entstehung von Blockmeeren und Felsburgen

(Bildquelle: WAGENBRETH & STEINER 1990, 74)

Folglich verdanken die Klippen und Blockmeere im Gebiet des Brocken und Ramberg ihre Entstehung einer zweiphasigen Verwitterung während unterschiedlichen Klimaten. Zunächst wurde der Gesteinsverband unter warmfeuchten Klimabedingungen chemisch zersetzt. Es bildeten sich saprolithische Verwitterungsdecken. Die unter periglazialen Bedingungen einsetzende Hangabtragung führte folgend die Verwitterungsdecken ab. Erst damit wurden die Granitblöcke freigelegt.

Die jüngsten Rumpfflächen des Harzes sind gleichzeitig jene, welche am tiefsten liegen. Sie sind in Bild 1. 4 als Eine-, Selke- und Bodehochfläche zu erkennen und erst im Neogen gebildet worden (NICKE 1995 zit. in BEUG 1999). Zwischen 550 und 600 m ist die Haupt-rumpffläche des Harzes ausgebildet. Sie wird verschiedentlich miozänen Alters angesehen, ist damit also noch während des Neogens gebildet worden. Die zwischen 650 und 700 m liegende Andreasberger Rumpffläche umgrenzt den Hochharz. Zusammen mit dem Torfhäuser Hügelland und dem Bruchberg-Plateau sind alle diese über der Haupt-rumpffläche liegenden Rumpfflächen im Palaeogen gebildet wurden.

Der höchste Teil der Rumpftreppe im Harz wird durch die Brockengipffläche und die Kleine-Brocken-Fläche gebildet (Bild 1. 4), welche die Haupt-rumpffläche des Oberharzes um mehrere 100m überragen. Der Brocken als spätvariskisch angelegter Granitpluton widerstand der chemischen Verwitterung im Palaeogen und Neogen wesentlich deutlicher als die anderen Gesteine des Harzes. Ursache hierfür war weniger die Festigkeit des Granites selbst als dessen Schutz durch die bereits erwähnten, umgebenden Hornfelse. Der gesamte Brockenpluton war damit längere Zeit vor der Einrumpfung geschützt und überragt heute weithin die tieferliegenden Rumpfflächen des Harzes.

Nachdem die schützenden Hornfelse jedoch ebenfalls abgetragen waren, wirkte auch auf den Granit des Brockens die chemische Verwitterung ein. Da diese besonders entlang des Kluftsystems im Granit ansetzte, wurde der Granit zunächst durch die „Wollsackverwitterung“ überprägt. Das kühlerwerdende Klima im Quartär führte schließlich zur charakteristischen Bildung von Klippen- und Blockmeeren, welche heute auffallend deutlich das Landschaftsbild des Hochharzes prägen. (Exkurs: Klippen- und blockmeerbildung).

Eigenvergletscherung des Brockens

Während der Vereisung des Norddeutschen Tieflandes erreichten die skandinavischen Inlandeismassen zur Zeit des Elsterglazials und während des Drenthestadials der Saaleiszeit die Unterharzhochflächen. Die Feuersteinlinie markiert die Grenze dieser Inlandeisbedeckung in Höhen zwischen 450-480 m über NN entlang einer Linie vom Osthang des Ramberges bei Gernrode bis zum Großen Auerberg bei Stolberg (LIEDTKE 1981).

Die Eigenvergletscherung des nördlichsten deutschen Mittelgebirges war dagegen lange Zeit Gegenstand kontrovers geführter Diskussionen. Zwar zeigten Paläoklimarekonstruktionen, dass sich der Brocken während aller drei norddeutschen Vereisungen oberhalb der in etwa 840m befindlichen Schneegrenze befunden haben muss (LIEDTKE 1981), typische glaziale Erosions- und Akkumulationsformen konnten jedoch in unmittelbarer Nähe des Brockens nicht gefunden werden. Die Brockenkuppe konnte durch ihre nach allen Seiten steil abfallenden Hänge auch kaum Ansätze für Nivationsnischen, von denen ein Gletscherwachstum ausgehen kann, bieten. Somit war der Brocken selbst wahrscheinlich nicht gletscherbedeckt.

Erst 1968 konnte DUPHORN den geomorphologischen Nachweis erbringen, das sich im Odertal, südwestlich des Brockenmassivs, eine Gletscherzunge befunden haben muss. Das obere Odertal ist ein weitgespanntes, muldenförmiges Hochtal mit einer Fläche von etwa 12 km², welches auch heute nur schlecht entwässert wird und stark vermoort ist. In diesem Hochtal konnte während einer niedriger liegenden Schneegrenze sehr gut Schnee und Firn akkumuliert werden und damit ein Gletscher aufwachsen (DUPHORN 1968, 165). Das Gletschereis von der Hochfläche des Odertals floss dabei in die Täler von Sieber, Kellwasser und Radau aus, im Odertal selbst reichte der Gletscher bei einer Länge von etwa 10 km bis auf 530 m hinab. Das dabei bis zu 23 m ausgeschürfte Zungenbecken wird von vier Moränenwällen begrenzt, die eine Höhe von bis zu 30 m erreichen (DUPHORN 1968).

Bild 1. 6 veranschaulicht die heutigen Vorstellungen der Eigenvergletscherung des Harzes im Pleistozän. Demnach war die die Hochfläche zwischen Brocken und Bruchberg während aller Glaziale von einem Plateau-Eiskörper bedeckt. Das Zentrum dieser Eiskuppel dürfte im Bereich des oberen Odertales gelegen haben. Von diesem Plateau-Eiskörper ausgehend, drangen während der jeweiligen Hochglaziale gelegentlich einzelne Gletscherzungen in die umliegenden Täler vor.



Bild 1. 6: Der Harz während des Pleistozäns, deutlich erkennbar sind das nordische Inlandeis und die Eigenvergletscherung des Westharzes. (Bildquelle: FELDMANN 2002)

EXKURS:

Sulfatkarst am Südrand von Kyffhäuser und Harz

Am südlichen Harzrand findet sich eines der eindrucksvollsten Karstgebiete Mitteleuropas. Meist wasserlösliche Gesteine aus der geologischen Formation des Zechsteins liegen hier entlang einer Linie von Osterrode im Westharz bis Pölsfeld bei Sangerhausen schräg auf den älteren Gesteinen des Harzes auf und überdecken auch die Südabdachung des Kyffhäusers.

Die Gesteine des Zechsteins beinhalten am Südharzrand eine geringmächtige Lage von Kupferschiefer. Darauf folgen meist geringmächtige Lagen von Kalkstein und bis zu 50 m mächtige Ablagerungen von Gipsen und Anhydriten. Diese wurden während der Werra-, der Staßfurt- und der Leineserie des Zechsteins abgelagert und können insgesamt eine Mächtigkeit von etwas mehr als 150 m erreichen (VÖLKER 1997).

Mit der Hebung des Harzes seit der Oberkreide wurden diese Gesteine des Zechsteins leicht angehoben und fallen heute nach Süden ein. Heute bilden sie eine typische Schichtstufenlandschaft am Rand des Südharzes (Bild 1. 7). Die aus dem Harz kommenden wasserreichen Fließgewässer fließen in die Schichtstufenlandschaft am Südharzrand hinein und lösen hierbei einen Teil des Gesteinsverbandes aus Gipsen und Anhydriten auf. Diese sind leichter wasserlöslich als Kalkstein und damit gut verkarstungsfähig. Es entsteht der typische Formenschatz des Sulfatkarstes. Durch die bessere Löslichkeit des Gipses sind die Formen im Sulfatkarst meist sehr markant ausgeprägt, können schnell entstehen und sind andererseits oft auch recht kurzlebig. Wasser kann zunächst einen recht hohen Anteil an Calciumsulfat lösen, nimmt aber selbst bei hoher Sulfatsättigung immer noch geringe Mengen an gelöstem Salz auf. Damit können im Gips oberirdische und bei längeren Fließwegen auch unterirdische Lösungsformen entstehen (VÖLKER 1997).

Die Gipskarstlandschaft im Südharz weist einen typischen Aufbau auf (Bild 1. 7). Im Norden markiert meist der ausstreichende Kupferschiefer den Beginn der Zechsteinsedimente. Im Landschaftsbild lässt sich dies durch zahlreiche Kleinhalden aus der Frühzeit des Kupferschieferbergbaus erkennen. Darauf folgt nach Süden ein oft recht breites Auslaugungstal. Die Gipse und Anhydrite sind hier größtenteils gelöst und die Talform mit quartären Schottern verfüllt. Das Auslaugungstal markiert an seinem Südende die Auslaugungsfront. Hier werden die Gesteine des Zechsteins am intensivsten gelöst. Davon zeugen zahlreiche Dolinen, welche durch Lösung des Gips wie auch durch Nachstürzen von ausgelaugten Hohlformen entstehen. Während der Exkursion kann unter anderem die sehr große Reesbergdoline mit einer Kesseltiefe von 22 m beobachtet werden. Diese befindet sich entlang des Karstwanderweges im Südharz kurz vor der Höhle Heimkehle.

Oft verbinden sich mehrere Einzeldolinen zu Dolinenketten. Diese werden als Uvalas bezeichnet und sind ebenso häufig entlang des Karstwanderweges zu erkennen. Versickert das Wasser der aus dem Harz kommenden Bäche in den Gipsen des Zechsteins, bilden sich typische Bachschwinden. Eine charakteristische Bachschwinde prägt den „Periodischen See“ bei Breitung, ein episodisches Standgewässer, welches über mehrere Jahre Wasser ($0,2 \times 10^6 \text{ m}^3$) gefüllt sein kann und ebenso innerhalb kurzer Zeit über unterirdische Karstwasserbahnen leerlaufen kann.

Tritt Oberflächenwasser in den Gips ein und fließt unterirdisch weiter, können die im Südharzkarst markanten Höhlen entstehen. Zahlreiche Höhlensysteme besitzen keinen oberirdischen Eingang und sind durch den frühen Kupferschieferbergbau am Südharzrand erst entdeckt worden. Sie werden regionaltypisch als Schlotten bezeichnet, die Barbarossahöhle am Südrand des Kyffhäusers stellt eine solche Bildung dar. Die Wimmelburger Schlotten im Südharz zählt mit 5 km Gesamtlänge zu den größten unterirdischen Karsthohlräumen zwischen Harz und Kyffhäuser. Als wirkliche Höhle dagegen gilt die Heimkehle im Thyratall mit einem Höhlensystem von etwa 2 km Länge (VÖLKER 1994).

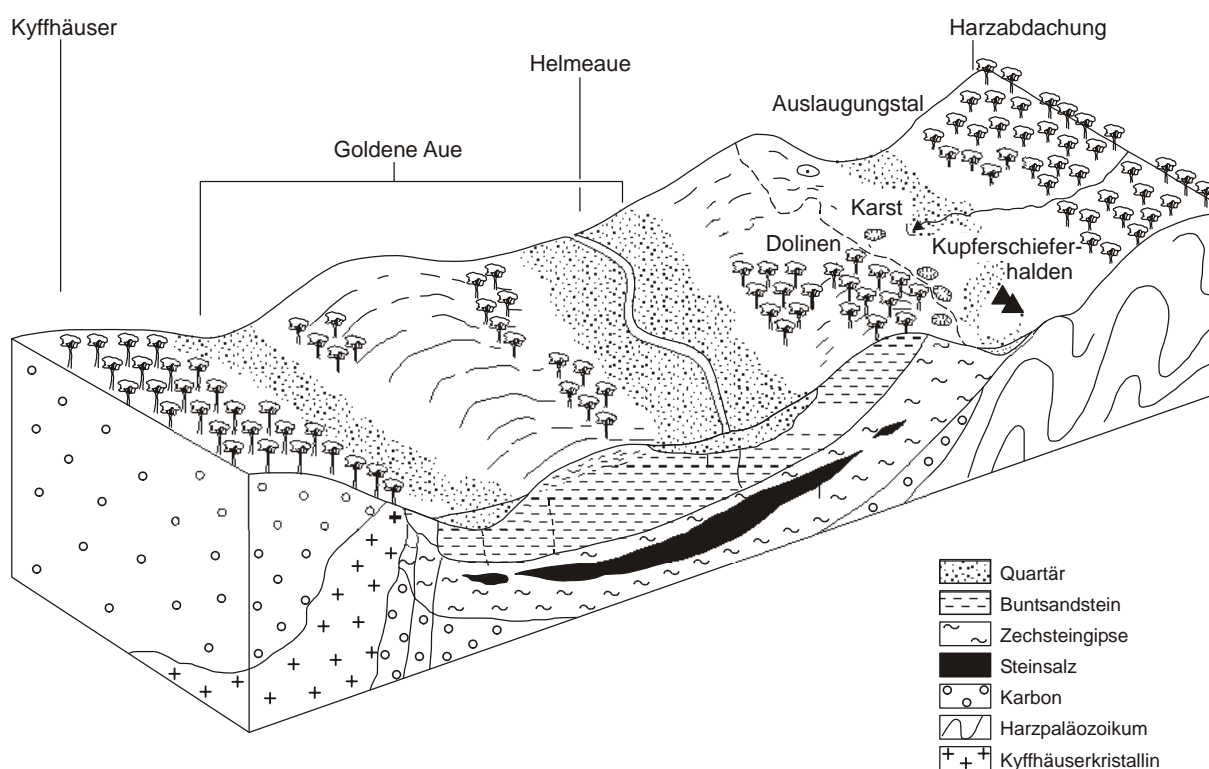


Bild 1. 7: Geologisches Blockbild vom südlichen Harzrand bis zum Kyffhäuser. Gut erkennbar sind die Gesteine des Zechstein, in welchen das Südharzer Gipskarstgebiet und das Salzspiegeltal der Helme (Goldene Aue) entwickelt sind. (verändert nach VÖLKER 2005)

Die Heimkehle entstand, indem Wasser aus drei vom Harz kommenden Bächen zunächst in die Kiese der Thyraaue eintrat und von hier unterirdisch die Gipse und Anhydrite entlang der Schichtstufe der Schabeleithe löste. Nachdem das Wasser die Heimkehle unterirdisch durchflossen hat, tritt es wieder im Thyratall aus.

Die Thyra bildet ein Durchbruchstal durch den Südharzer Karstgürtel. Während die meisten kleineren Harzbäche in Bachschwinden entlang des breiten Auslaugungstales vor der Schichtstufe der Zechsteingipse versickern, können Flüsse wie Thyra, Leine, Nasse und Gonna aufgrund ihrer höheren Abflüsse diesen Bereich durchbrechen.

1.2 Tiefschollen

1.2.1 Werra-Gebiet

Das etwa 2-3 ° betragende, nach SW gerichtete Einfallen des Deckgebirges im Werra-Gebiet wird, eingebettet in Sattel- und Muldenstrukturen 1. und 2. Ordnung (Thüringer Wald-Schwelle, Eiterfelder Mulde), durch einen weitwelligen, annähernd konformen Faltenbau des Deck- und Salzgebirges überprägt. Hauptstrukturen bilden der im NE liegende herzynische Springen-Tiefenorter Sattel mit der ihn nördlich flankierenden Abteroda-Frauensee-Mulde, der steilerzgebirgische Stadtlengsfelder Sattel im SE, die erzgebirgische Öchsen-Hoppberg-Mulde im Zentralteil, die rheinische Öchsen-Dietrichsberg-Mulde (Sünnaer Mulde) südlich Vacha, der NNW gerichtete Pferdsdorfer Sattel im SW und die erzgebirgische Widdershausen-Dippacher Mulde im NW (JAHNE, VOITEL & HAASE 1983).

Für das Werra-Gebiet ist ein durch jungmesozoische Verschiebungsbrüche und jungtertiäre Zerrungsspaltensysteme (vulkanitführend) und Bruchzonen gegliedertes Bruchschollenmosaik mit einer Vergitterung von tektonischen Lineamenten in rheinischer, rhönischer und herzynischer Richtung charakteristisch. An der Wende Jungtertiär-Pleistozän erfolgte eine Reaktivierung vorrangig der herzynisch-erzgebirgisch streichenden Störungszonen (HESSMANN & RICHTER 1978). Im Deckgebirge lassen sich drei größere Bruchsysteme feststellen, die teilweise auf das Deckgebirge beschränkt, zum Teil jedoch auch im Subsalinar festzustellen sind (GRUMBT & LÜTZNER 1966), so dass häufig keine Übereinstimmung zwischen dem germanotyp geprägten Suprasalinar und dem plastisch reagierenden Salinar vorhanden ist (SCHARBRODT & BAUMANN 1990).

1.2.2 Thüringer Becken

Charakteristisch für das Thüringer Becken ist eine fast idealtypisch entwickelte Ringstruktur, die durch das an den Beckenrändern leicht gebogene Schichtpaket aus Sedimenten des Zechsteins und der Trias erklärt werden kann; die feinstratigraphische Gliederung des Zechsteinsalinars ist in LEYRER ET AL. (1998) publiziert. Dadurch ist ein äußerer, meist schmaler Ring mit Gesteinen des Zechsteins entwickelt, auf den nach innen zunächst rötliche Tonsteine und Sandsteine des Buntsandsteins folgen. In diesen sind einige Schichtstufen aus meist quarzitischer verfestigten Sandsteinen anzutreffen. Daran schließen sich die deutlich entwickelten Schichtstufen des Muschelkalks an, die inneren, weitgespannten Bereiche im Beckeninneren sind aus Sedimenten des Keupers aufgebaut.

Die geologisch-tektonische Situation im Thüringer Becken kann vereinfacht durch einen flachwelligen Faltenbau des Suprasalinars mit zahlreichen NW-SE-streichenden Sätteln und Mulden sowie herzynisch streichenden Störungszonen, die als Lineamente deutlich äqui-

distant vergittert sind (NACHSEL & FRANZ 1983), gekennzeichnet werden (JUNG 1965). Bezogen auf den subsalinaren Schollenbau können sie als Voraussetzung, bezogen auf das Postsalinar als Folge unterschiedlicher Hebungsamplituden im Streichen der Horste angesehen werden. Sie schließen einerseits Areale mit mehr oder weniger intakter Schichtenfolge ein, kontrollieren andererseits die Fluidwegsamkeiten im Gebirgsverband (BURRHEE & RAUCHE 1999). Dabei gilt generell, dass die sub- und suprasalinaren Schichten durch Bruchtektonik verformt worden sind, während das Salinar nur untergeordnet rupturrell, meist nur duktil verformt worden ist (WEIGERT et al. 2001, 9).

EXKURS:

Reliefumkehr - Die Leuchtenburg bei Kahla

Mitten in dem aus flachen Schichtstufen aus Gesteinen des Buntsandsteins bestehenden äußeren Ring des Thüringer Beckens wird bei Kahla die idealtypische Abfolge zu einem inneren Ring mit Schichtstufen des Muschelkalks durch die Gesteine des Leuchtenburggrabens unterbrochen.

In einem zur Zeit der saxonischen Tektogenese eingesunkenen Graben wurden das Schichtpaket mit den aufliegenden, widerstandsfähigen Kalken des Unteren Muschelkalkes abgesenkt. In den umliegenden, höheren Bereichen wurden nun bis ins Quartär die hochgelegenen Gesteinsbereiche durch des Muschelkalkes abgetragen, in dem die steilen Hangbereiche schrittweise zurückverlegt wurden. Heute beherrschen dort die rötlichen Sedimente des Buntsandsteins das Landschaftsbild. Allmählich wurden so die umliegenden Hangbereiche bis auf das Niveau der Grabensohle erniedrigt. Lediglich die Kalke innerhalb des Grabens waren, da sie keine Hänge ausbildeten, vor einer intensiven Abtragung geschützt.

Nunmehr wurden die weniger widerstandsfähigen Tonsteine des Buntsandsteins aber intensiver durch Abspülung abgetragen, die Kalksteine des ehemaligen Grabens dagegen widerstanden den erosiven Kräften deutlicher und wurden als Höhenzug

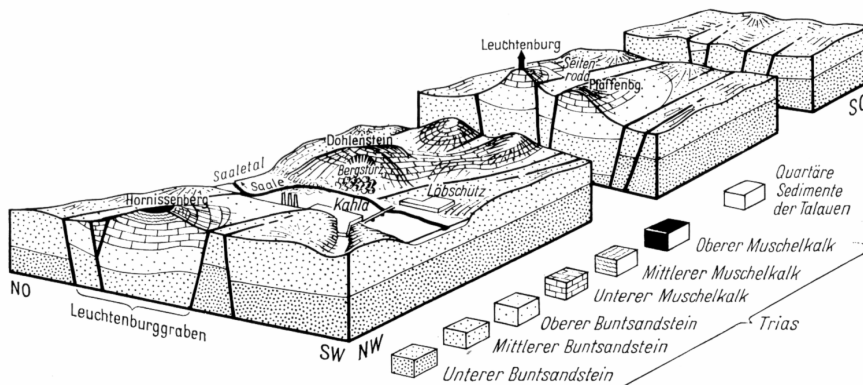


Bild 1. 8: Geologisches Blockbild des Leuchtenburggrabens bei Kahla (aus: WAGENBRETH & STEINER 1990, 98)

herauspräpariert. Damit wurde die ehemalige Grabenfüllung zu einem heute weithin sichtbaren Berggrücken. Dieser wird freilich mit fortschreitender Zeit ebenfalls abgetragen werden. Deutliches Anzeichen hierfür sind die geologisch sehr jungen Rutschungsmassen am Dohlenstein.

Die an diese Störungszonen gebundenen potentiellen rezenten Horizontal- bzw. Rotationsbewegungen (BANKWITZ, GROSS & BANKWITZ 1993), insbesondere die die Hermundurische Scholle einschließenden Störungssysteme der Kyffhäuser-NE-Randstörung (N) und der Kyffhäuser-SW-Randstörung bzw. der Finne-Gera-Jáchymov-Störung (S), die unterschiedliche Baugebiete der Saxothuringischen Zone des variskischen Grundgebirges trennt (BRAUSE 1995), werden kontrovers diskutiert (WITTENBURG 1991).

1.2.3 Harzvorländer

Die Harzvorländer werden hier im Detail nur so weit berücksichtigt, wie sie durch die Exkursionsroute berührt worden sind.

Gemeinsam ist ihnen ein mehr oder weniger großer geschlossener lößbedeckter Flächenanteil, der sie zugleich – klimatisch bedingt – dem mitteldeutschen Schwarzerdegebiet angehören läßt. In Abhängigkeit von der Häufigkeit der Zufuhr maritim-feuchter Luftmassen aus W bzw. NW und SW fungiert der Harz mit bis zu 1200 bis 1500 mm Jahresniederschlag im Oberharz und noch über 600 mm im Mittel- und Unterharz als Luvgebiet, während die Harzvorländer, insbesondere ihre nordöstlichen, östlichen und südöstlichen Anteile als im Lee gelegene Trockengebiete mit einem Jahresniederschlag von teilweise unter 500 mm in Erscheinung treten; sinngemäß gleiches gilt auch für Teile des Thüringer Becken.

Südliches Harzvorland

Das südliche Harzvorland wird im N von der Flexur zum Harz bzw. seiner südöstlichen Fortsetzung, dem Hornburger Sattel, und im S von der Buntsandstein- (Windleite) bzw. Muschelkalk-Schichtstufe (Hainleite mit der westlichen Fortsetzung im Bereich des Dün und den vorgelagerten Zeugenbergen Bleicheröder Berge und Ohm-Gebirge), dem östlich anschließenden Kyffhäuser und der Schmücke/ Finne (Finnestörung als S-Begrenzung der Hermundurischen Scholle) begrenzt. Es schließt somit die Auslaugungssenke der Goldenen Aue ebenso ein wie die östlich des Kyffhäuser gelegene Sangerhäuser Mulde und ihrer nördöstlich anschließenden Riestedter Spezialmulde. Dominiert wird dieser Bereich durch den mit dem Zechsteinausstrich verbundenen Auslaugungsbereich und dem südlich anschließenden Schichtstufengebiet des Buntsandsteins und Muschelkalks, der, schon zum eigentlichen Thüringer Becken überleitend, durch den Wipperdurchbruch bei Seega und den Unstrutdurchbruch durch die Sachsenburger Pforte modifiziert wird. Dieser Raum wird, teilweise mit einer Lößdecke überzogen, schon dem lößbedeckten Altmoränengebiet zugeordnet, ist glaziär durch das Elsterglazial und später als Teil des Periglazialraumes überformt worden.

Naturräumlich werden diesem Bereich das Nordthüringer Hügelland, der Südharzer Zechsteingürtel, der Kyffhäuser, die Helme-Unstrut-Niederung sowie das Untere Unstrut-

Berg- und Hügelland zugerechnet, wobei die Abgrenzung zu einem - hier nicht berücksichtigten - „südöstlichen Harzvorland“ unscharf bleibt.

Das nur in reliefierten Teilen waldbedeckte Gebiet wurde bereits frühzeitig ackerbaulich genutzt; der Kupferschieferbergbau setzte, der kupferschieferführenden Basis des nach S einfallenden Zechsteinsalinars folgend, wohl bereits in vorgeschichtlicher Zeit ein und fand seinen Höhepunkt im Bereich der Sangerhäuser Mulde, die 1990 aufgelassen und anschließend geflutet worden ist. Südlich des Harzes, vornehmlich im Bereich der thüringischen Wipper (Südharz-Kalirevier) und der Unstrut (Unstrut-Saale-Revier) ging zwischen 1893 und 1993 Kalibergbau um.

Östliches Harzvorland

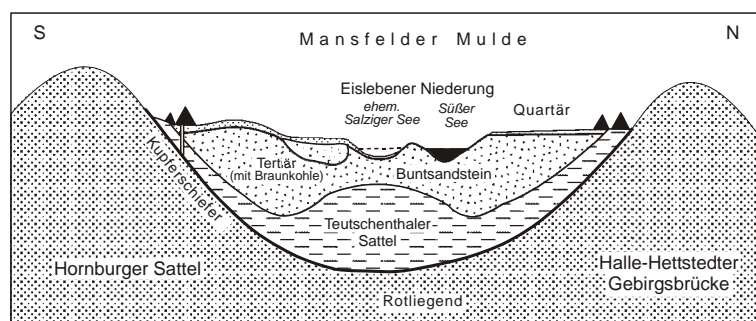


Bild 1. 9: Geologisches Nord-Süd-Profil durch die Mansfelder Mulde (aus: FRIEDRICH & FRÜHAUF 2002, 257)

Das östliche Harzvorland kann im wesentlichen im W mit dem Zechsteinaustrich der Mansfelder Mulde am östlichen Unterharzrand bis nach E über den Saalelauf (der teilweise den Verlauf der halleschen Störung zum östlich anschließenden Halleschen Porphyrykomplex markiert) hinaus begrenzt

werden. Der geologische Untergrund wird durch die Mansfelder Mulde und ihre, durch die SW-NE streichende Hornburger Tiefenstörung getrennte, Nietlebener Spezialmulde, bis in den Raum Halle gebildet; in beiden Mulden dominieren auf der Zechsteinbasis aufgelagerte Triasschichten.

Im Pleistozän ist dieser Raum sowohl durch das Elster-Glazial als auch das Drenthe-Stadium des Saale-Glazials geformt und als Teil des Periglazialraums der nachfolgenden Eiszeiten überformt worden. Als Teil des mitteldeutschen Schwarzerdegebiets gehört er zum lößbedeckten Altmoränengebiet.

Klimatisch kann das östliche Harzvorland als Teil des im Lee des Harzes gelegenen mitteldeutschen Trockengebiets gekennzeichnet werden. Dieses wird durch die 500 mm-Isohyete des Jahresniederschlags markiert und wies mit einem mittlerem Jahresniederschlag von 429 mm während der Periode 1901-50 in Aseleben den niederschlagsärmsten Ort Deutschlands auf.

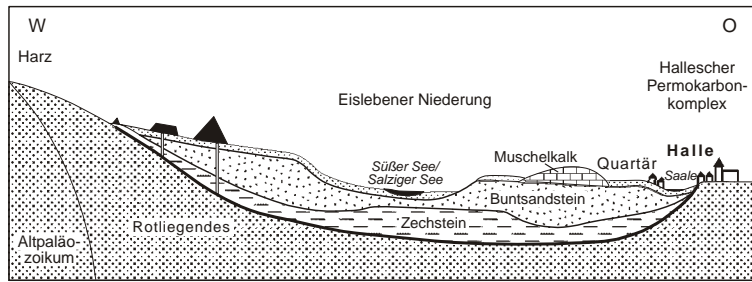


Bild 1. 10: Geologisches West-Ost-Profil durch die Mansfelder Mulde (aus: FRIEDRICH & FRÜHAUF 2002, 257)

Das weithin waldlose Offenlandgebiet ist bereits frühzeitig ackerbaulich und seit dem 12. Jahrhundert durch den Kupferschieferbergbau in der Mansfelder Mulde und seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert durch den Kalibergbau (Unstrut-Saale-Revier) bergwirtschaftlich genutzt worden; der

Kupferschieferbergbau wurde 1970, der Kalibergbau 1993 aufgelassen.

Südlich des Auslaugungsgebietes der Mansfelder Seen wird seit 1959 im Tagebau Amsdorf eine spezielle Braunkohle abgebaut. Die beiden Flöze enthielten $> 10 \times 10^6$ t gewinnbare Vorräte (DEBRIV 2005, 40)

Nördliches Harzvorland

Das nördliche Harzvorland umfaßt die regionalgeographischen Einheiten der Harzrandmulde und das ostbraunschweigische Hügelland im westlichen Teil und das nordöstliche Harzvorland im östlichen Teil, etwa bis zur Saale, es hat nach N Anschluß an die Magdeburger Börde. Als Teil des lößbedeckten Altmoränengebiets gehört es ebenfalls zum mitteldeutschen Schwarzerdegebiet. Es wird im S von der Harznordrandstörung und dem östlich anschließenden Halle-Hettstedter Sattel (mit dem Saaledurchbruch zwischen Friedeburg und Rothenburg am Rand des halleschen Prophyorkomplexes) begrenzt und umfaßt im N die Halberstadt-Blankenburg- und die Oschersleben-Bernburger Scholle. Letztere schließt den Egelner und Staßfurter Sattel ein, die nördlich anschließende Weferlingen-Schönbecker Scholle liegt bereits außerhalb des Exkursionsgebiets. Besonders interessant ist der Übergangsbereich zwischen dem besonders im W stark herausgehobenen und überschobenen Harz und dem dadurch steilaufergerichteten, teilweise überkippten triassischen und kretazischen Schichtenverband, der in der sogenannten Aufrichtungszone zu petrographisch bedingten Schichtkämmen bzw. -rippen, z.B. der Teufelsmauer, geführt hat.

EXKURS:

Teufelsmauer - Nordharzrandaufrichtungszone

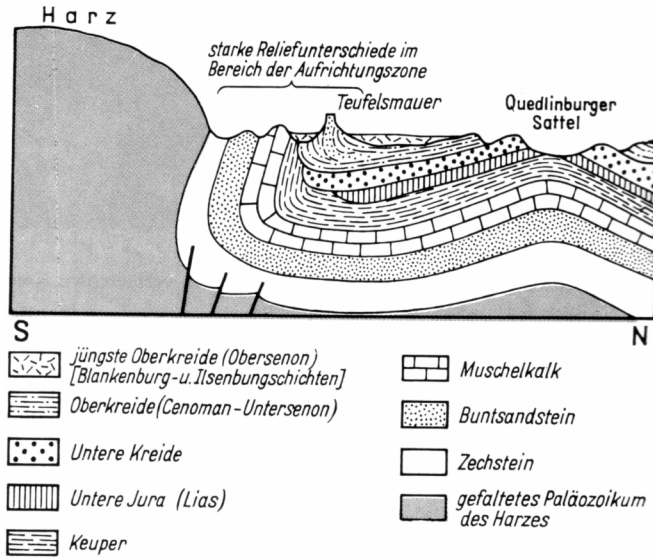


Bild 1. 11: Geologisches Profil durch die Nordharzrandaufrichtungszone (aus: WAGENBRETH & STEINER 1990, 62)

solche Schichtrippe stellen steilgestellte Schichten aus verkieselten Sandsteinen der Oberkreide dar, welche die Teufelsmauer bei Neinstedt aufbauen.

Die Horstscholle des Harzes wurde gegenüber ihrem nördlichen Vorland derartig stark herausgehoben, dass die umliegenden Gesteinspakete mit mesozoischen Sedimenten fast senkrecht nach oben gebogen und aufgeschleppt wurden. Das gesamte Schichtpaket ist nunmehr steilgestellt, beginnend mit den ehemals am tiefsten liegenden Gesteinspaketen finden sich vom Harzrand ausgehend jeweils schmale Gürtel der immer jüngeren mesozoischen Gesteine.

Dabei wurden die jeweils härten Gesteine so herauspräpariert, dass sie heute markante Schichtrippen bilden. Das bedeutendste Beispiel für eine

Der Raum wird sowohl durch weitgespannte Sattel- und Muldenstrukturen des Deckgebirges als auch herzynisch streichende Salzsättel gekennzeichnet. Die teilweise aufgebrochenen Strukturen, wie z.B. der Egelner und Staßfurter Sattel haben nicht nur zu den weltweit frühesten Kalischächten (Staßfurt 1856), sondern wegen der durch die steileinfallenden Kaliflöze bedingten Abbaumethoden und die damit verbundene montanhydrologische Gefährdung der Grubenbaue zu schweren Subrosionsschäden (Erdfälle und großräumige Subrosionssenken im Stadtgebiet von Staßfurt und der Umgebung) geführt, die z.B. Teile der Stadt Staßfurt unter das Niveau der Bode-Hochwasserführung absinken ließen. Der Kalibergbau ist vollständig aufgelassen worden, nachdem einige Schächte ersoffen, aber auch geflutet worden sind. Im Raum Nachterstedt-Frose-Aschersleben ist eine subrosionsbedingt entstandene Braunkohlenlagerstätte abgebaut worden, deren Tagebaurestlöcher, z.B. im Bereich Königsau, zur Zeit geflutet werden.

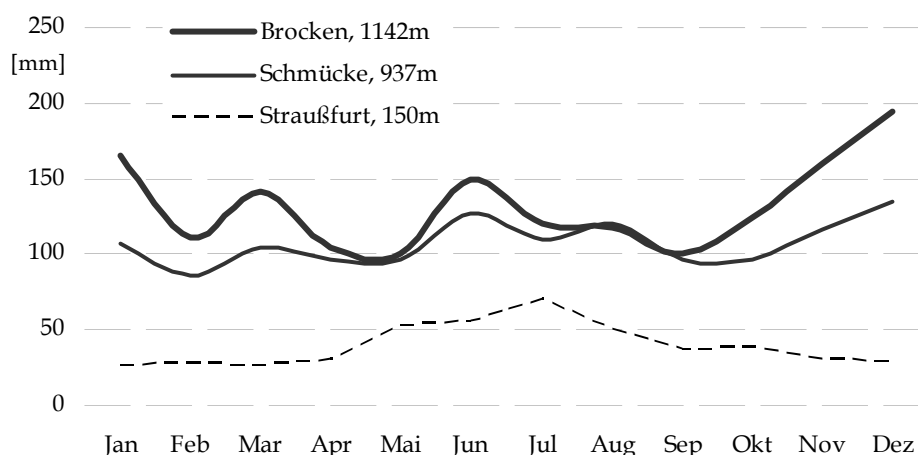
2 Übersicht über die klimatischen Verhältnisse

Das Klima des Exkursionsgebietes wird durch deutliche räumliche Unterschiede von Niederschlag und Temperatur bestimmt. Kühle und niederschlagsreiche Hochflächen- und Gipfellagen wechseln einander mit warmen und trockenen Gebirgsvorlands- und Beckenbereichen ab. Da der Harz das am weitesten nordwestlich vorgeschobene deutsche Mittelgebirge ist, fängt er mit seinen höchsten Erhebungen sehr hohe Niederschlagsmengen der ostwärts ziehenden Tiefdruckgebiete ab. Diese Stauwirkung bringt dem Brocken einen mittleren Jahresniederschlag von 1 814 mm (Quelle: DWD). Ähnlich exponiert gegenüber maritimen Luftmassen liegen die Kammlagen des Thüringer Waldes und des Thüringischen Schiefergebirges, hier übersteigen die Jahresniederschläge ebenfalls die 1 000 mm Marke.

Entgegengesetzt liegen die Niederschlagsverhältnisse im atlantikabgewandten Harzvorland und im Thüringer Becken. Die Regenschattenbereiche des östlichen Harzvorlandes erhalten für das sonstige Mitteleuropa unterdurchschnittliche Jahresniederschlagsmengen von lokal weniger als 450mm, die zentralen Bereiche des Thüringer Becken ebenfalls weniger als 500 mm. Regionen mit Jahresniederschlägen unter 500 mm gelten in Deutschland als Trockengebiete. Lediglich Auftragungen wie der Kyffhäuser können durch Steigungsregen ihre Niederschlagsbilanzen bis auf 600 mm aufbessern. Bis in die Bereiche der Weißen Elster und Saale ist die Leewirkung des Harzmassivs mit subkontinentaler Klimatönung zu beobachten. Während der Niederschlagsmessreihe von 1901-1950 wies das östliche Harzvorland mit Aseleben und einem Jahresniederschlag von nur 429 mm Jahresniederschlag den "trockensten Ort Deutschlands" auf. Die heutige Rekordstatistik der geringsten Niederschläge in Deutschland wird von der Station Atzendorf im nördlichen Harzvorland angeführt. Während der Messreihe von 1960-1990 wurden hier nur mittlere 399 mm Jahresniederschlag registriert. Die beiden deutschlandweit folgenden Stationen der geringsten Jahresniederschläge liegen wieder im östlichen Harzvorland; Rothenburg weist einen Jahresniederschlag von 432 mm, Salzmünde einen solchen von 436 mm auf (Quelle: DWD).

Die Jahresgänge des Niederschlags im Bergland und in den Beckenlagen unterscheiden sich deutlich voneinander. (Bild 1. 12) Während in den Kammlagen der Mittelgebirge die Niederschläge vorrangig in den Wintermonaten fallen und lediglich ein schwaches Nebenmaximum in Sommerhalbjahr existiert, sind die Beckenlagen des östlichen Harzvorlandes und des Thüringer Beckens (im Beispiel die Station Straußfurt) durch deutliche Sommermaxima der Niederschläge gekennzeichnet. Diese treten meist als konvektive Niederschläge auf. Solche Starkniederschläge im Sommer können zu größeren Hochwasserereignissen führen, da der Aufprall der Regentropfen die Lößböden kurzzeitig verdichtet und die hohen Abflussmengen schnell die Bäche anschwellen lassen. Die Böse Sieben im Mansfelder Land verdankt ihren Namen solchen spontan entstehenden Sommerhochwässern.

Für die Temperaturverhältnisse von entscheidender Bedeutung ist das Landschaftsrelief. Dies gilt besonders für den Sommer, weniger während der Hochdruckwetterlagen des Winters. Tab. 1. 4 verdeutlicht die geringeren Jahresmittel der Temperatur in den Hochlagen der Mittelgebirge. Die Harzvorländer und das Thüringer Becken weisen höhere Jahresmitteltemperaturen aber auch größere Spannweiten zwischen Januar- und Julitemperaturen auf. Aufgrund ihrer Lage in den Leebereichen von Harz- und Thüringer Wald ist hier die Wolkenbedeckung geringer. Damit empfangen das südliche und östliche Harzvorland wie auch das Thüringer Becken eine höhere Einstrahlung, welche vor allem im Sommer zu höheren Temperaturen führt.



Station (Höhe in m)	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Brocken, 1142 m	165	111	142	104	101	149	120	118	100	124	160	194
Schmücke, 937 m	107	86	104	96	97	127	110	120	96	97	116	135
Straußfurt, 150 m	27	28	26	31	53	56	70	50	37	38	31	29

Brocken (Hochharz) **1814 mm/a** Mittel 1961-1990
 Schmücke (Thüringer Wald / Hauptkamm) **1288 mm/a** Mittel 1961-1990
 Straußfurt (Thüringer Becken) **476 mm/a** Mittel 1901-1950

Bild 1. 12: Mittlere Niederschlagssummen und Jahresverlauf des Niederschlag an ausgewählten Stationen Mitteldeutschlands (Quelle: BRAMER 1991 und DWD)

Im Harz und Thüringer Wald behindert die längerandauernde Schneelage die Erwärmung im Frühjahr. Hierdurch wird die Temperaturabnahme mit der Höhe modifiziert, welche im Jahresmittel unter feuchtadiabatischen Bedingungen bei etwa 0,6 K je 100 m liegt. Im Frühling lässt sich die stärkste Temperaturabnahme mit der Höhe beobachten. Während die Tiefländer sich im Frühling bereits stark erwärmen, erhöht sich der Temperaturgradient zu

den Hochlagen der Mittelgebirge, welche bis zum völligen Abschmelzen des Schnees noch kühl temperiert verbleiben.

Tab. 1. 4: Mitteltemperaturen einiger Stationen im Exkursionsraum (BRAMER 1991)

Station	Region	Höhe über NN [m]	Mittlere Jahrestemperatur [°C]	Mittlere Januartemperatur [°C]	Mittlere Julitemperatur [°C]	Bezugs- periode
Brocken	Hochharz	1142	2,9	-4,2	10,3	1961-1990
Schmücke	Thüringer Wald Hauptkamm	937	4,4	-4,0	12,8	1961-1990
Artern	Südöstliches Harzvorland	164	8,5	-0,7	17,6	1961-1990
Kölleda	Thüringer Becken	145	8,7	-0,2	17,8	1901-1950

Wie im gesamten Mitteleuropa sind die Witterungsverhältnisse im Süden Sachsen Anhalts und Thüringens durch den Wechsel von zyklonalen Wetterlagen mit mild-feuchten Luftmassen und dem Wirken von kontinental bestimmten Wetterlagen gekennzeichnet. Das Frühjahr beginnt mit einer fortlaufenden Abnahme des Luftmasseneinflusses aus dem Atlantikbereich. Danach häufen sich bis zum Mai Nordwetterlagen. Durch deren Einfluss ist das mitteleuropäische Frühjahr durch schauerreiche, kühle Witterung mit Neigung zu Spätfrösten charakterisiert, eine kontinuierliche Erwärmung ab dem Ende des Winters bleibt aus. Allerdings führen Luftmassen aus dem Osten Anfang März und auch später oft zu Abschnitten erhöhter Tagestemperaturen und längerer Sonneneinstrahlung. Nach einer solchen Erwärmung, meist nochmals Ende Mai, beginnt der mitteleuropäische Sommer recht regelmäßig mit einer Temperaturabnahme im Juni. Der Kaltluft aus nördlichen Bereichen folgen atlantische, regenreiche Luftmassen, welche den kalendarischen Sommeranfang recht unfreundlich gestalten können. War der atlantische Luftmasseneinfluss im Mai auf seinem Jahresminimum angelangt, so dominiert dieser jetzt wieder den Sommer und wird nur episodisch von südlichen und östlichen bzw. Wetterlagen eines Zentralhochs über Mitteleuropa unterbrochen. Diese führen dann zu starker Erwärmung und Trockenheit.

3 Übersicht über die hydrogeographischen Verhältnisse

3.1 Hydrographische Struktur

Die Lagebeziehungen der Hoch- und Tiefschollen zueinander, die durch das Zechstein-salinar bedingten Auslaugungshohlformen und die durch die Reliefverhältnisse modifizierten Klimabedingungen, insbesondere die Niederschlagsverhältnisse, führen zu einer für das mitteldeutsche Gebiet charakteristischen hydrographischen Struktur, die zusätzlich durch menschlichen Einfluss verändert worden ist.

Der heutige Lauf der Fließgewässer hat sich größtenteils mit der Inlandeisbedeckung im Pleistozän herausgebildet. Durch Zertalung und Flußentwicklung seit dem Ende des Drenthe-Stadials der Saale-Eiszeit liegt der dendritische Typ des Fließgewässernetzes vor. Dieser ist durch sich baumartig verästelnde Flusssysteme charakterisiert. Die Fließgewässer des Thüringer Waldes und des Harzes durchfließen eingetiefte Kerbtäler, bisweilen auch klammartige Schluchten (Exkurs Drachenschlucht in Kap 1.1.2), auf der Harzhochfläche bilden sie mäandrierende Wiesenbäche. Zahlreiche Flüsse erfuhren durch die Plombierung ihrer Täler während der Elster - und Saale-Eiszeit eine Verlegung. So durchbrach die Saale bei Halle während des Drenthe-Stadials den Halleschen Vulkanitkomplex und fließt heute im Auslaugungstal der ehemaligen Salza westwärts ihres ehemaligen Bettes.

Die Landschaft des Exkursionsraumes zeigt sich relativ arm an Standgewässern. Durch ehemaliges Gletschereis angelegte Seen sind verlandet und eingeebnet worden so dass die einzigen natürlichen Seen neben Flussaltarmen nur noch die wassergefüllten Auslaugungsbecken der Mansfelder Mulde (Süßer und Ehemaliger Salziger See) und der „Periodische See“ bei Breitung (3,4 ha, 238 m NN) sind. Im Bereich des ausstreichenden Zechstein um den Thüringer Wald finden sich häufiger Auslaugungsseen, so vermoorte Erdfälle wie der Hautsee bei Dönges (1,6 ha, 305 m NN), der Frauensee (3,7 ha, 266 m NN) oder der Burgsee in Bad Salzungen (10,3 ha, 250 m NN) (HIEKEL 1972)

Tab. 1. 5: Flächennutzung im Flußgebiet der Saale (nach BEHRENDT ET AL. 2001, 98 und 100 [1993-1997])

Kriterien	Teileinzugsgebiete der Saale					Saale (gesamt) f
	Obere Saale a	Unstrut b	Weiße Elster c	Bode d	Mittlere Saale e	
Einzugsgebietsgröße [10 ³ km ²]	3,989	6,320	5,003	3,217	5,110	23,640
Abflußspende [ls ⁻¹ km ⁻²]	9,0	5,7	5,8	5,3	3,1	5,6
Landwirtschaftliche Fläche [%]	51,5	69,5	69,0	70,0	77,9	68,2
Waldfläche [%]	43,1	23,5	18,2	22,7	11,8	23,0
Siedlungsfläche [%]	4,5	5,4	9,3	5,8	8,0	6,7
Wasserfläche [%]	0,5	0,2	0,5	0,2	0,3	0,4

a Saale oberhalb Camburg
b Unstrut oberhalb Freyburg
c Weiße Elster oberhalb Ammendorf
d Bode oberhalb Neugattersleben
e Saale-Zwischeneinzugsgebiet
f Saale oberhalb Groß-Rosenburg

Das Gewässernetz des Exkursionsraumes wird durch die Saale und ihre Nebenflüsse geprägt. Mit ihr entwässern große Teile des Thüringer Beckens und der angrenzenden Mittelgebirge in die Elbe. Nur im SW ist mit dem Werra- und dem Hörsel-Gebiet (S- und NE-Abdachung des Thüringer Waldes) eine Entwässerung zum Weser-Gebiet vorhanden.

Das durch die Luvlage des Thüringer Walds hochwassergefährliche Werra-Gebiet (3 047 km² oberhalb des Werra-Kalireviers) wird inzwischen durch die Talsperren Erletor (1968: 0,5x10⁶ m³), Schönbrunn (1979: 23,9x10⁶ m³) und Ratscher (1983: 4,9x10⁶ m³) sowie das Rückhaltebecken Grimmshausen (1991: 1,8x10⁶ m³) mit insgesamt 31,1x10⁶ m³ geschützt; der HW-Schutz kann durch die geplanten Talsperren Eisfeld (6,1x10⁶ m³) und Kloster Veßra (12,1x10⁶ m³) auf dann 49,3x10⁶ m³ erhöht werden (Thüringer Talsperrenverwaltung 1993).

Das Einzugsgebiet der Saale umfasst bei einer Lauflänge von 427 km eine Fläche von 24 079 km² (LAU Sachsen-Anhalt, 2002). Nachdem sie das Thüringisch-Vogtländische Schiefergebirge verlassen hat, durchfließt die Saale den Ostrand des Thüringer Beckens und das südliche Sachsen-Anhalt als Tieflandsfluss. Mit 6 343 km² bildet die bei Naumburg in die Saale mündende Unstrut das größte Teileinzugsgebiet der Saale. Die bei Kefferhausen im Eichsfeld entspringende Unstrut durchfließt das innere Thüringer Becken in einem nach Norden offenen Bogen. An der Sachsenburger Pforte durchbricht sie die äußeren Muschelkalkschichtstufen des Thüringer Beckens und bildet hier ein markantes Durchbruchstal, die Sachsenburger Pforte oder porta thuringica..

Durch die radial angeordneten Zuflüsse der Unstrut (Gera, Helbe, Wipper und Helme) im Zentrum des Thüringer Beckens können unter bestimmten meteorologischen Voraussetzungen durch die mögliche Überlagerung von Hochwasserwellen extreme Hochwässer auftreten. Die auf -rieth endenden Ortsnamen deuten diese Überschwemmungsgefährdung an. Diese Hochwassergefährdung wird noch dadurch verstärkt, dass nach dem Verlassen des zentralen Thüringer Becken durch die Sachsenburger Pforte die Unstrut in ein sowohl auslaugungsbedingt als auch durch die östlich anschließende Buntsandsteinschwelle verursachtes gefällearmes Teilstück (oberhalb Memleben ca. 0,33 ‰ und unterhalb ca. 0,30 ‰) eintritt.

Zwischen 1888 und 1950 traten im zentralen Thüringer Becken insgesamt 303 Hochwässer, davon 225 ausufernde, auf. Die untere Unstrut, die bereits in den Jahren 1791-1795 schiffbar gemacht und zwischen 1857-1865 begradigt (Laufverkürzung 3,2 km) worden ist, ist durch einen 19,4 km langen, unstrutparallelen Flutkanal zwischen Bretleben im W und Memleben im E, mehrfach anthropogen verändert worden. Dadurch erfolgte nicht nur eine Erhöhung der HW-Scheitelwasserstände um 0,9 m, sondern auch eine Verkürzung der HW-Scheitellaufzeiten zwischen der Sachsenburger Pforte und Freyburg/ Unstrut von 110 auf 80 Stunden; deshalb wurde 1957-1963 die HW-Durchlasskapazität auf 240-250 m³ s⁻¹ erhöht. Später sind sowohl im Bereich der Unstrut (HW-Rückhaltebecken Straußfurt mit 26,0x10⁶ m³ seit 1959) als auch ihrer Nebenflüsse (z.B. in der Helme die Talsperre Berga-Kelbra mit 35,6x10⁶ m³ seit 1969) Speicherräume zur HW-Rückhaltung errichtet worden.

EXKURS:

Hydrolabor Schleusingen

Das Labor für hydraulisches Versuchswesen, Gewässerschutz und Ökologie Schleusingen gehört zur Bauhaus-Universität Weimar und wurde 1969 vor dem Hintergrund häufig wiederkehrender, ausufernder Hochwässer im Werra-Gebiet in ebendiesem Raum (Schleusingen/ Schleuse-Werra) errichtet und später (1973 und 1980) erweitert. Zunächst gehörte es als "Untersuchungsstelle Werra" zur Wasserwirtschaftsdirektion Werra-Gera-Unstrut (Erfurt) und gelangte mit deren Zuordnung zur Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra (vormals Saale-Weiße Elster mit Sitz in Halle/ Saale). Während dieser Zeit (1970-1972) war es dem dortigen Wissenschaftlich-Technischen Zentrum (seit 1971: Büro für Forschung und Entwicklung) angegliedert, das durch Dr. Aurada (seit 1964 als Hydrologe, seit 1967 als Chef-Hydrologe tätig) seit 1969 geleitet wurde. Interessanterweise arbeitete diese Forschungseinrichtung mit insgesamt 105 Mitarbeitern (Halle, Erfurt, Magdeburg) im Rahmen einer haushaltsfinanzierten Behörde als sogenannter selbstfinanzierter Bereich, also nach quasi-marktwirtschaftlichen Prinzipien, der 1972 aber bereits wieder aufgelöst worden ist.

Zwischen 1975 und 1990 gehörte das Labor zur „Projektierung Wasserwirtschaft“ (Erfurt bzw. Halle) bzw. zum Institut für Wasserwirtschaft (Berlin), ehe es 1991 zur Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar gelangte. Zunächst der Fakultät Bauingenieurwesen zugeordnet, gehört es seit 1999 zum Institut für Wasserwesen (Lehrstühle für Wasserbau [Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Hack] und Strömungsmechanik [Prof. Dr.-Ing. Jörg Kranawetter]). Mit 720 m² Hallenfläche und ca. 2 000 m² Freifläche, Büro-, Labor- und Werkstatträumen dient es sowohl als Versuchseinrichtung als auch als Ausbildungsstätte der Bauhaus-Universität.

Die ursprünglich dominierenden hydraulischen Untersuchungen sind im letzten Jahrzehnt auch auf gewässerökologische Fragestellungen ausgeweitet worden. Die hydraulischen Aufgaben, die häufig auf strömungsmechanisch komplexen und damit auch rechentechnisch nur teilweise zugänglichen Systemen aufbauen, werden im Rahmen physikalisch definierter (Verkleinerungs-) Maßstäbe (Topologie, Rauigkeitswerte von Gewässersohle und -ufer, Gefälle, Fließgeschwindigkeit, Durchflussmenge, Wellenhöhe u.a.) mit Hilfe sowohl gegenständlicher als auch numerischer Modelle gelöst. Solche Aufgaben sind beispielsweise die Analyse von Strömungs- und Sedimentationsprozessen in Fließ- und Standgewässern, die Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen in Wasserkörpern, der Nachweis von Retentionsräumen und Überflutungsflächen oder Anlagen des Hochwasserschutzes.

Die gewässerökologischen Untersuchungen beziehen sich vorwiegend auf Auswirkungen von technischen Eingriffen auf die ökologische Durchlaßfähigkeit von Gewässern. Dazu gehören u.a. die Konzeption und Beurteilung von Fischwander-, -auf- und -abstiegsanlagen bei Wehr- und Absperrbauwerken, der Schutz der Fische vor Turbineneinläufen in Wasserkraftanlagen oder Untersuchungen des kritischen Niedrigwasserdurchflusses bzw. des Restwasserabflusses aus Speicherräumen; für Fischwanderhilfen steht auf der Freifläche des Labors eine Demonstrationsanlage im Maßstab 1 : 1 in sechs unterschiedlichen Varianten zur Versuchsdurchführung zur Verfügung. Die methodisch-maßstabsgebundene Vorgehensweise sowohl der hydraulischen als auch gewässerökologischen Untersuchungen ist in verallgemeinerter Form durchaus mit den ebenfalls maßstabsabhängigen Dimensionsstufen der naturwissenschaftlichen Geographie bzw. Geoökologie vergleichbar.

Die bei Naumburg in die Saale (11 449 km²) mündende Unstrut nahm auch die während der Existenz des Kalibergbaus im Südharz- und Unstrut-Saale-Revier (1893-1991) eingeleiteten Salzabwässer der Kaliindustrie sowie die salzhaltigen Grubenwässer des Kupferschieferbergbaus in der Sangerhäuser Mulde auf; die ebenfalls salzhaltigen Grubenwässer des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde gelangten bis 1879 über die Salza unterhalb Halle in die Saale, ab 1879 (Fertigstellung des die gesamte Mansfelder Mulde entwässernden Schlüssel-Stollen) über die Schlenze bei Friedeburg in die Saale. Um einerseits die negativen Auswirkungen der Salzabwassereinleitungen aus dem Unstrutgebiet und andererseits die Kaliproduktion überhaupt zu ermöglichen, wurde bereits frühzeitig (1937) und später (1963) regelmäßig, seit 1976 rechnergestützt, mit Hilfe der Salzlaststeuerung aus dem Saaletalsperrensystem (Exponat als Fließgraphik im Wasserkraftmuseum Ziegenrück) eine Vergleichmäßigung der Salzmineralisation im Bereich der mittleren Saale (Saale zwischen der Unstrut-Mündung und der Einmündung der Weißen Elster oberhalb Halle mit 1 065 km²) mit einem Wirkungsgrad von 0,72-0,83 durchgeführt; mit dem Erlöschen des Kalibergbaus und der Flutung des Sangerhäuser Bergbaus ist seit 1998 nur noch eine vergleichsweise geringe Verdünnungswasserabgabe erforderlich (vgl. Spezial Steuerung der Salzabwässer).

Die derzeit ab Halle schiffbare Saale (17 979 km²) tritt nach Aufnahme von Salza (565 km²) bei Salzmünde und Schlenze (112 km²) bei Friedeburg mit dem Durchbruch durch den Halle-Hettstedter-Sattel in das Subherzyne Becken ein, das sie nach Aufnahme von Wipper (bei Bernburg) und Bode (unterhalb Staßfurt) und einem Gesamteinzugsgebiet 24 079 km² - damit etwa so groß wie die Fläche von Mecklenburg-Vorpommern - mit ihrer Einmündung in die Elbe bei Calbe-Grizelne verläßt.

Große Teileinzugsgebiete zur Saale bilden ebenfalls die aus dem Harz kommende Bode (3297 km²) und Wipper (620 km²). Während die Wipper gemeinsam mit der einmündenden Eine oberhalb Wippa Teile der Unterharz-Hochfläche entwässert, entwässert die Bode große Teile des Ober- (Holtemme) und Mittel-Harzes (Selke). In ihrem ebenfalls hochwassergefährdeten Einzugsgebiet wurde das 6 Talsperren umfassende Ostharz-Talsperrensystem mit der Rappbode-Talsperre (seit 1959: 109x10⁶ m³, mit 100 m Staumauerhöhe zugleich die höchste Staumauer Deutschlands), mit jährlich ca. 91x10⁶ m³ Wasserabgabe an die Trinkwasseraufbereitungsanlage Wienrode auch zur Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz (Fernleitungsnetz 600 km) mit 3,5 Mio Einwohnern, errichtet (KLABUNDE 1994). Auch diese beiden Gewässer, die Wipper zeitweise durch den Kupferschieferbergbau in der Mansfelder Mulde und die Bode durch das Nordharz-Kalirevier, waren durch Wasserentzug (Wipper zwischen Mansfeld und Hettstedt) und Salzabwassereinleitungen (Bode unterhalb Staßfurt) bergbaulich beeinflusst.

Im Einzugsgebiet der Saale werden zahlreiche Tagebaurestlöcher geflutet, unter anderem das Geiseltal bei Halle. Auf einer Fläche von 90 km² wies das Geiseltal eine abbauwürdige

Braunkohlelagerstätte von $1,6 \times 10^9$ t auf, die zwischen 1698 und 1993 (Betriebseinstellung am 30.06.1993) fast vollständig ($1,4 \times 10^9$ t) auf 48 km² abgebaut worden ist. Durch diese Volumenentnahme sowie $1,39 \times 10^6$ m³ Abraumförderung entstand ein Gesamthohlraum von $1,3 \times 10^9$ m³ Volumen (9 Tagebaurestlöcher), der zwischen 2002 und 2008 geflutet wird. Der Geiseltalsee wird bei 98 m NN eine Wasserfläche von 18,4 km² und ein Volumen von 423×10^6 m³ erreichen.

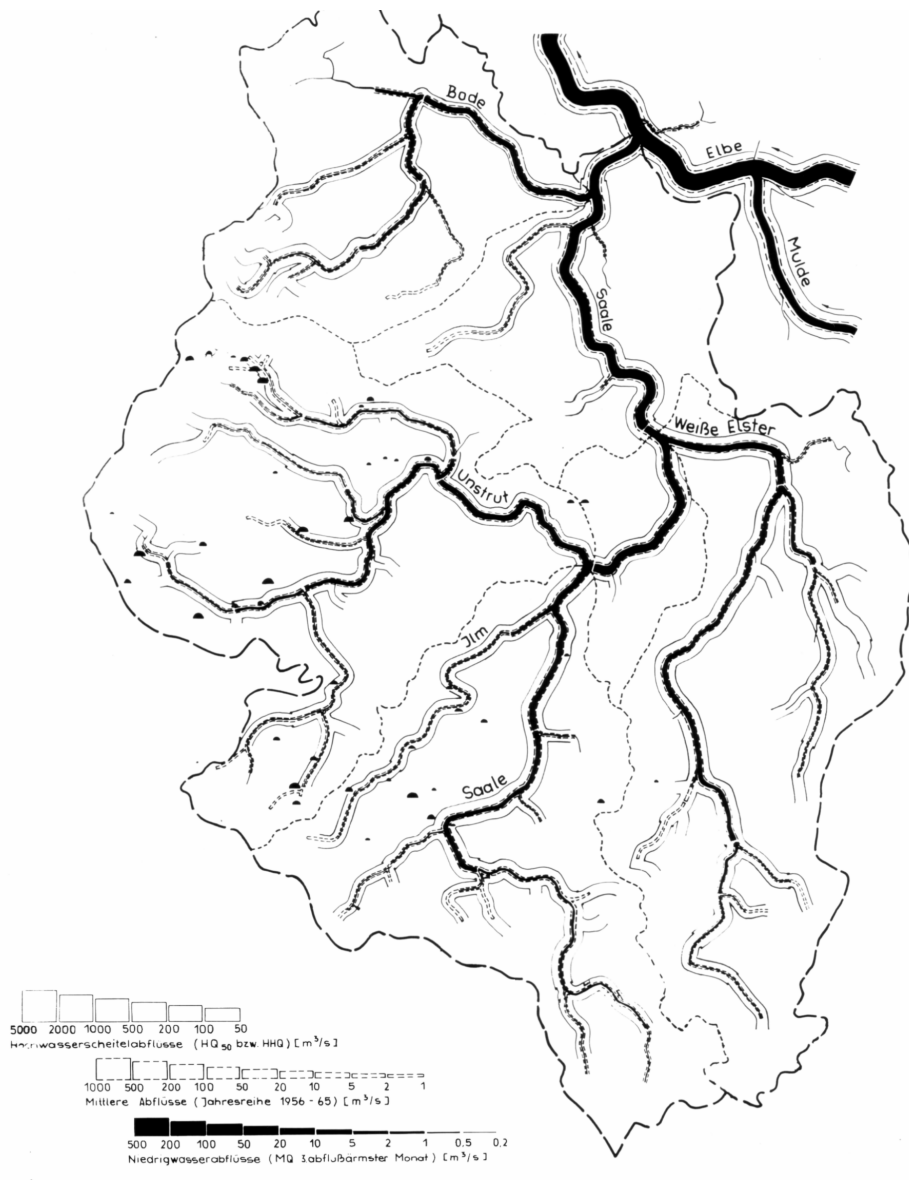


Bild 1. 13: Oberflächenwasserdargebot des Saaleinzugsgebietes
(aus: AdW 1977-81, Karte 11)

Da es manchmal Verwirrung über doppelte Gewässernamen im Exkursionsgebiet gibt, sei angemerkt, dass die Namen Wipper und Bode je zweimal auftreten. Erstens wird die im Ohmgebirge entspringende Wipper, die in ihrem Oberlauf die Eichsfelder Pforte (zwischen

Ohmgebirge und dem Dün) durchquert und die bei Bleicherode das ebenfalls aus dem Ohmgebirge kommende Flüschen Bode aufnimmt, als thüringische Wipper bezeichnet, die oberhalb der Sachsenburger Pforte in die Unstrut mündet. Zweitens existieren die den Harz bzw. Teile des nördlichen und östlichen bzw. nordöstlichen Harzvorlandes entwässernde Harz-Wipper und Harz-Bode, die beide jeweils direkt der Saale zufließen.

3.2 Hydrologische Charakteristik

Als Mittelgebirgsfluss weist die Saale charakteristische Schneeschmelzhochwässer im Frühjahr auf, ebenso traten bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts mehrfach Eishochwässer auf. Eis-Hochwässer entstehen durch einen Eisstau im Flusslauf. Dieser sorgt für einen Anstieg des Wasserstandes. Kommt es dann zu verstärktem Abfluss und übersteigt der Wasserdruck das Haltevermögen des Eisdammes, entstehen sehr plötzlich auftretende Hochwässer mit einer steil ansteigenden Hochwasserwelle. Diese sind besonders durch das mitgeführte Eis gefährlich und können selbst Hochwasserschutzanlagen stark beschädigen.

Tab. 1. 6: Historische Saale-Hochwässer am Pegel Halle-Trotha UP

(zusammengestellt nach ZINKE 1998, 54, ergänzt nach ULE 1909)

Speicherwirtschaftlich unbeeinflusst		Speicherwirtschaftlich beeinflusst		HW-Wasserstände [m NN] (Halle-Mühlportenerbrücke)
Winter-HW (XI-IV)	Sommer-HW (V-X)	Winter-HW (XI-IV)	Sommer-HW (V-X)	
1015 cm	02.03.1595 a			79,89
1012 cm	23.02.1799			79,86 (25.02.)
1010 cm	24.11.1890			
998 cm	21.02.1658			79,73
	975 cm 10.08.1585			79,53
	935 cm 08.08.1661 (02.06.1803)			79,14
				79,04
925 cm	27.02.1830			78,93 (02.03.)
915 cm	13.02.1845			78,88
	910 cm 07.08.1757			78,81 (1737)
903 cm	26.12.1601			78,74
	896 cm 02.08.1752			78,73 (05.08.)
889 cm	16.04.1622			78,67
881 cm	29.02.1784			78,59 (01.05.)
858 cm	02.02.1655			78,46
843 cm	19.01.1682			78,31 (02.01.)
838 cm	05.12.1709			77,18
835 cm	21.03.1651			77,24 (21.05.)
	823 cm 03.08.1831			
	745 cm 03.08.1854			77,04 (05.08.)
735 cm	09.04.1865			
		708 cm 15.03.1947 b		
		683 cm 16.04.1994		
675 cm	14.03.1881			
650 cm	08.02.1909			
		625 cm 13.02.1948		
		613 cm 04.04.1988		
			600 cm 13.06.1961	
		587 cm 30.04.1980		
			580 cm 13.07.1954	
		575 cm 14.03.1981		
		560 cm 31.03.1987		
		542 cm 23.04.1970		
		518 cm 19.03.1979		
22 Hochwässer in ca. 300 Jahren		11 Hochwässer in ca. 50 Jahren		

- a HHW (speicherwirtschaftlich unbeeinflusst)
- b HHW (speicherwirtschaftlich beeinflusst)
- MHW 421 cm (Ausuferungswasserstand: 530 cm)
- MW 208 cm (76,3 m NN) (1955-1980)
- MNW 128 cm

(21 Hochwässer nach historischen Hochwassermarken an der Neumühle (Mühlforte in Halle/ Saale, erbaut 1283; vgl. auch ULE [1909], 10 Hochwässer nach Hochwassermarken an der Kröllwitzer Brücke in Halle/ Saale [erbaut 1926-1928, 1945 zerstört, 1946-1949 wiedererrichtet]). (Historische Nachrichten über NW-Abflüsse im Saalegebiet [1500-1850] existieren für die Jahre: 1534, 1590, 1616, 1705, 1800, 1810 und 1836 [WEIKINN 1965]; in Camburg-Stöben wurde das HHW am 25.11.1890 mit 119,88 m NN erreicht [PÖRTGE & DEUTSCH 2000, 139])

EXKURS:

Schwefelwasserstoffhavarie der Bleilochtalsperre 1976

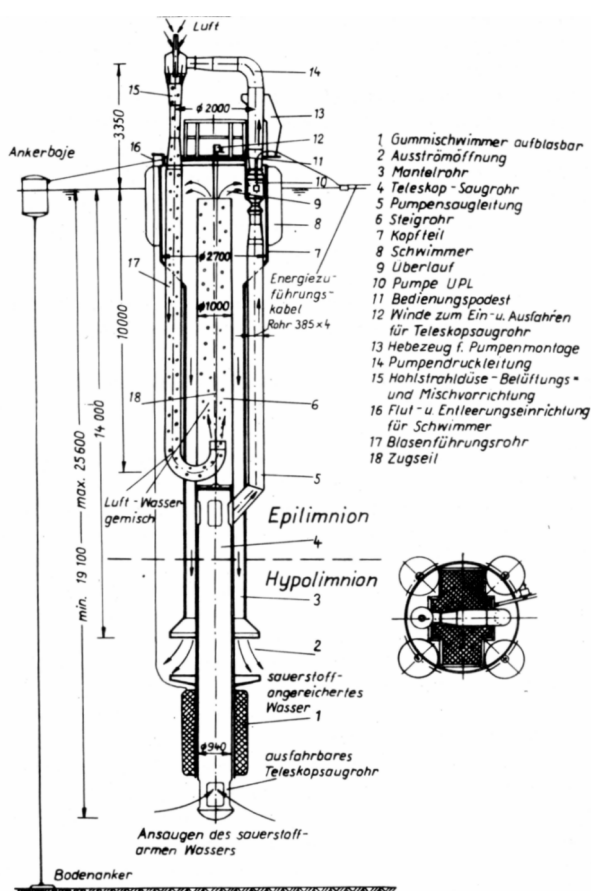


Bild 1. 14: Tiefenwasserbelüftungsanlage (Exponat im Wasserkraftmuseum Ziegenrück)

In Rahmen der Bewirtschaftung des Saaletalsperrensystems ereignete sich im Herbst des Trockenjahres 1976 eine Umweltkatastrophe, als der abgesenkte Wasserkörper der Bleiloch-Talsperre eine solch hohe H₂S-Belastung aufwies, dass eine Entgasung aus dem Wasserkörper in die Atmosphäre einsetzte; der Einsatz von 13 Tiefenwasserbelüftungsanlagen (Typ Schönbrunn mit einem Sauerstoffeintrag von 1200 kg d⁻¹) war Teil einer zwischen 1975 und 1979 konzipierten Sanierung. Ihr Einsatz war zunächst für 10 Jahre vorgesehen, musste aber wegen nicht ausreichender Wasserqualitätsparameter ausgedehnt werden. Der Rückbau der Anlagen erfolgt erst 1990 (1), 1993 (5), 1996 (3) und 1999 (5) (TLUG Jena 2000, 4). 1999/ 2000 konnte durch eine Produktionsumstellung der Zellstoff- und Papierfabrik Blankenstein eine Verringerung der Gewässerbelastung erreicht werden konnte.

Unter Berücksichtigung verschiedener Bewirtschaftungsvarianten unter Havariebedingungen ergaben sich (bei einer geschlossenen Bleiloch-Talsperre) Reichweiten der Bewirtschaftungsmöglichkeiten in der Größenordnung von 203 bis 328 Tagen, allerdings unter Inkaufnahme von Energieeinschränkungen. Auf eine diesbezügliche Gefährdung der Bleiloch-Talsperre durch die Abwassereinleitungen der Zellstoff- und Papierfabrik Blankenstein/ Saale war frühzeitig nach Fertigstellung der Talsperre hingewiesen worden (LIEBMANN 1938, SCHEURING & LIEBMANN 1938).

Um die teilweise verheerenden Hochwässer an der Saale zu reduzieren, wurden zwischen 1919 und 1963 mehrere Talsperren an der oberen Saale errichtet. Auf einer Flusslänge von ca. 80 km stauen die 6 Talsperren Bleiloch, Burgkammer, Wisenta, Walsburg und Hohenwarthe mit dem Unterbecken Eichicht $408,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ Wasser. Die 1932 erbaute Bleilochtalsperre bildet mit einem Stauinhalt von $215 \times 10^6 \text{ m}^3$ heute Deutschlands größten Stausee, 1941 wurde die Talsperre Hohenwarthe mit einem Stauinhalt von $182 \times 10^6 \text{ m}^3$ fertiggestellt.

Zusammen mit den Talsperren im Einzugsgebiet der Unstrut (Gesamtstauraum $75 \times 10^6 \text{ m}^3$) bewirken die Talsperren heute einen ausgeglichenen Jahrgang des Abflusses. Die Hochwässer werden reduziert und die Niedrigwasserabflüsse infolge der Hydroenergiegewinnung aufgehöhht. Bild 1. 15 zeigt das charakteristische Abflussregime der Saale im Oberlauf, Bild 1. 16 das Abflussregime der Saale im Bereich des Thüringer Beckens, nachdem die Staustufe durchflossen worden ist. Die Bilder zeigen, welche Abflussregime im gesamten Zeitraum beobachtet werden konnten.

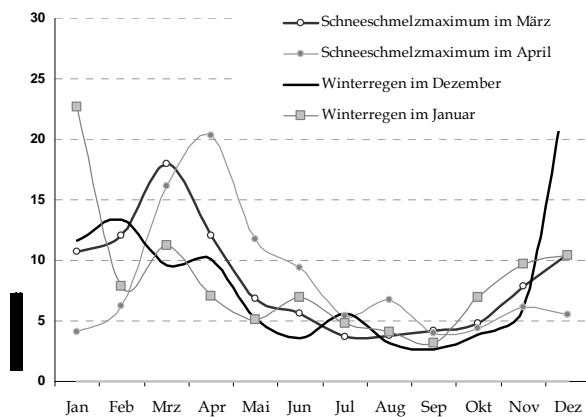


Bild 1. 15: Abflussregime der Saale am Pegel Blankenstein (Reihe 1964-1993, mittlere Monatsabflüsse am Jahresabfluss standardisiert): Schneeschmelzregime bilden den typischen Jahrgang. Das Schneeschmelzregime mit dem Maximum im März tritt in 48 % der Jahre auf, die anderen 3 Regime sind in je 17% der Jahre zu beobachten.

Datenquelle TLUG

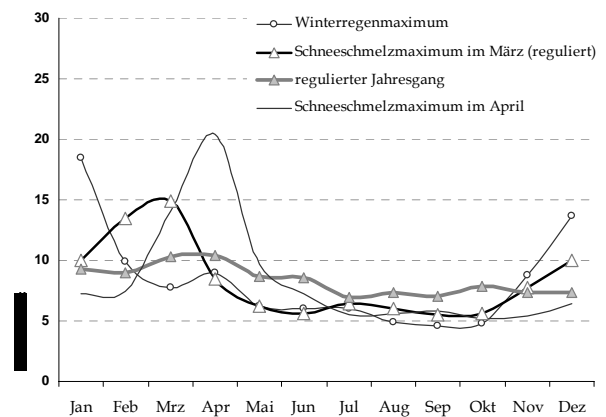


Bild 1. 16: Abflussregime der Saale am Pegel Camburg/Stöben (Reihe 1932-1993, mittlere Monatsabflüsse am Jahresabfluss standardisiert): Deutlich sichtbar ist der vergleichmäßigste, regulierte Jahrgang mit geringerem Maximalabfluss und deutlich erhöhtem Niedrigwasserabfluss. Dieses Regime (regulierter Jahrgang) und ein reguliertes Schneeschmelzregime (um 17% verringertes Märzmaximum gegenüber dem Pegel Blankenstein) treten in 60% der Jahre auf.

Datenquelle TLUG

Am Pegel Blankenstein treten in der Hälfte der Fälle die für die Mittelgebirge charakteristischen Schneeschmelzhochwässer mit einem jährlichen Abflussmaximum im April auf. Daneben können weniger häufig Schneeschmelzhochwässer mit Märzmaximum und Winterregenhochwässer beobachtet werden. Die in Blankenstein noch zu beobachtenden Scheitelabflüsse werden in der Talsperrenkaskade der Saale zwischengespeichert. Im Mittellauf der Saale charakterisiert deshalb ein reguliertes Regime den Jahresgang des Abflusses. Die Hochwasserabflüsse im Winterhalbjahr sind deutlich reduziert und die Niedrigwasserabflüsse im Sommer deutlich erhöht. Allerdings treten in 40% der Jahre noch ein im Maximalabfluss reduziertes Winterregen- und ein Schneeschmelzregime auf. In diesen Jahren wurden die Hochwässer aus dem Oberlauf der Saale nicht vollständig in den Talsperren zwischengespeichert oder durch Hochwässer in den unterhalb der Saalekaskade einmündenden Flüssen (Orla) wieder aufgehört. Im Mittellauf der Saale wechseln damit einander deutlich hochwassergedämpfte Abflussregime mit Abflussregimen ab, welche noch als Berglandregime zu kennzeichnen sind.

3.3 Grundwasserverhältnisse

Im Bereich von Störungszonen der geologischen Beckenstrukturen Mitteldeutschlands treten häufig Solquellen auf. Um zu verstehen, wie Wasser das tiefliegende Zechsteinsalinar erreicht, dort Salze löst und von dort wieder zutage tritt, bietet sich ein Blick in die hydrodynamischen Verhältnisse des Thüringer Beckens an. Aufgrund des allgemeinen Beckenbaus sind hydrodynamische Drucksysteme (DIETRICH 1974) im Mittleren Muschelkalk (DIETRICH 1975), im Mittleren Buntsandstein (MEINCKE 1967 a) und im Staßfurtkarbonat (MEINCKE 1967 b) nachgewiesen worden.

Bezüglich des Chemismus und der ionalen Zusammensetzung lassen sich die Wässer des Thüringer Becken drei Zonen zuordnen, die mit den Zonalgliederung MEINCKES (1967) korrespondieren: die Zone der aktiven Wasseraustauschverhältnisse mit Infiltrationslösungen (nördlich der Gotha-Eichenberger Störungzone), die Zone der erschwerten Wasseraustauschverhältnisse mit Ablaugungslösungen (im Bereich der Gotha-Eichenberger Störungzone und der Fahner Höhe) und die Zone stagnierender Wasseraustauschverhältnisse mit salinaren Reliktlösungen (kleinflächig auftretend) (MÜLLER & PAPENDIECK 1975); das Ansteigen der Alkaligehalte im westlichen und südwestlichen Bereich des Thüringer Becken kann somit auf eindringende Infiltrationslösungen (Salzablaugung durch Oberflächenwässer) zurückgeführt werden. Trotz bekannter Entlastungsgebiete mit einem Übergang von gespanntem zu ungespanntem Grundwasser im Muschelkalk (170-230 m NN) und Buntsandstein (130-140 m NN) läßt sich deren Einfluss auf die ionale Zusammensetzung und die Gesamtmineralisation der Fließgewässer, auch bei punktuellm Auftretens von Solequellen, nicht nachweisen.

Seit dem letzten Jahrzehnt des 19. Jhdts. sind die Fließgewässer des Thüringer Becken (Helbe, Wipper, Helme, Unstrut) und die Saale durch die Einleitung der Grubenwässer des Kupferschieferbergbaus und der Salzabwässer der Kaliindustrie aus einem natürlichen CaHCO_3 - bzw. CaSO_4 - Typ in einen NaCl -Typ verändert worden, wobei dieser Einfluss flussabwärts abnahm (MIRSCH 1966, KAEDING 1963, AURADA 1980, 1982c, 1983, 1992, 1997)

EXKURS:

Subrosion

„Unter Subrosion sind alle natürlichen Vorgänge zu verstehen, die durch das sich im geologischen Untergrund bewegende Wasser infolge physikalischer oder chemischer Auflösung (Korrosion) oder Ausspülen von Feinfraktionen (Suffosion) bzw. Umlagern und Fortführen verschiedener Fraktionen eines nichtbindigen Gesteins (innere Erosion) zu Substanz- und damit Volumenschwund bzw. zur Bildung unterirdischer Hohlräume führen“ (BIEWALD 2001, 7-15/7-16). Dabei wird, wie KNIESEL (1968) feststellte, die Intensität der Subrosion mehr von einer relativ schnellen Grundwasserströmung in der Nähe des Salzkörpers als von der mineralogischen Salzzusammensetzung, der Lösungstemperatur, der Größe der Salzkörperoberfläche oder Klüftigkeit bestimmt. Die begünstigende Wirkung einer bergmännischen Wasserhaltung und Wasserabsenkung bewirkt mit der damit verbundenen Verstärkung der Gefälleverhältnisse eine Beschleunigung der Auslaugungsgeschwindigkeit. Im Bereich tektonischer Störungszonen bzw. am Rand der Salzverbreitungsgrenzen sowohl der Sangerhäuser als auch der Mansfelder Mulde sind bis zu 20 km lange Tiefenkarstgerinne mit Fließgeschwindigkeiten von bis zu 300 m h^{-1} nachgewiesen worden (BRENDEL et al. 1982).

Von der ungefähr 1500 m mächtigen Zechstein-Trias-Abfolge bestehen ca. 13 % aus leicht löslichen Chloriden, ca. 9 % aus löslichen Sulfaten und ca. 15 % aus schwer löslichen Karbonaten. Dabei lassen sich vier „Subrosionshorizonte“ unterscheiden: Zechstein, Oberer Buntsandstein (Röt), Mittlerer Muschelkalk und Gipskeuper (BIEWALD 2001, 7-15).

Obwohl noch in neueren balneologischen Veröffentlichungen die Soleherkunft in Solquellen und Salinen auf Salinarabfolgen im Oberen Buntsandstein (Röt) und Mittleren Muschelkalk hergeleitet wird, kann mit den Ergebnissen von Solebohrungen von Bad Sulza (1984) und Bad Kösen (1985) belegt werden, dass mit der zunehmenden Teufe eine Konzentrationserhöhung eintritt und damit eine Abhängigkeit von der Lage zum Zechsteinsalinar nahe gelegt wird. Für Bad Sulza ist das Leine-Steinsalz, für Bad Kösen, wie auch für Bad Frankenhäusen und Artern ist das Staßfurt-Steinsalz in Betracht zu ziehen (HECHT & MAI 1999, 131).

KAPITEL II

NATURRAUMNUTZUNG

Seit dem Ende der letzten Eiszeit vor ca. 20 000 Jahren beginnt die Menschheit sowohl im Rahmen der klassischen Hochkulturen als auch in Mitteleuropa (verstärkt seit ca. 7 000 bis 5000 Jahren) mit der "neolithischen Revolution" (Viehzucht und Ackerbau) die Natur zu beeinflussen und schrittweise durch die innere und äußere Kolonisation die Landschaft zu gestalten. Im Mittelalter beschleunigt sich die "Agricultural Revolution of the Early Middle Ages" (LYNN WHITES 1962), deren Ergebnisse Dreifelderwirtschaft, Rodungstätigkeit und Siedlungstätigkeit waren; punktuelle Bergwirtschaft (KAPOLYI 1987, FETTWEISS 2004) signalisiert die „...Durchsetzung des Nutzungssystems, als Verdrängungsphase des Bewahrungssystems...“ (BAYERL & VON BORRIES 1998, 8). Die "... Kumulation von Innovationen, eine Verdichtung des technischen Wandels ..." (a.a.O.) mit Schwerpunkten um 800, im 13. Jhdt. und um 1500, der in die historische Periode der Frühen Neuzeit (16.-18. Jhdt.) überleitet, ist für die Umweltgeschichte relevant.

Während zu Beginn dieses Zeitraumes Waldrodung im Rahmen des Inneren Landesausbaus (Kolonisierung) als zivilisatorische Leistung galt, führte eine lokale Übernutzung, insbesondere der bis zum 18. Jahrhundert dominierenden energetischen Holz- und Wasserkraftnutzung, zu reglementierenden und steuernden Eingriffen. Die Überwindung der ausschließlich auf Holz und Wasserkraft beruhenden energetischen Grundlage durch die Einführung der Dampfmaschine führte zur Entwicklung von Energienutzungssystemen auf der Grundlage fossiler Energieträger, deren Vorräte zunächst als unerschöpflich angesehen wurden (WAGENBRETH 1988). Mit der Zunahme des Urbanisierungsprozesses wuchs das Bedürfnis nach einer Regelung der Ver- und Entsorgungsprozesse, die Nutzung des Wasserdargebots wird intensiviert und führt, nach früheren insbesondere bergmännischen Wasserkraftspeichern zu Anlagen einer sowohl gefahrbegrenzenden als auch versorgungsorientierten Speicherwirtschaft.

Die industrielle Revolution als Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft und somit von der Manufaktur- und Handwerkproduktion zur Fabrikproduktion (die Steigerung der Industrieproduktion als Indikator), setzt in England in den 80er Jahren des 18. Jahrhunderts, in Deutschland in den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts ein. Sie ist als revolutionierender Umgestaltungsprozeß in Deutschland etwa 1870 abgeschlossen.

"Ein Grundsignum der Industrialisierung ist, daß ehemals dezentrale, vereinzelte und lokale Ver- und Entsorgungsvorgänge, Produktions- und Verbrauchsverläufe immer mehr in voneinander abhängige Gesamtsysteme gebracht werden" (BAYERL & VON BORRIES 1998, 13), die als **co-evolvierende** Systeme gekennzeichnet werden können (AURADA 2003). Es kommt dadurch zu zeitlichen Diskontinuitäten zwischen Funktionsfähigkeit und Nutzungsfähigkeit des physiogenen Systems. Ein technischer Ausgleich ist an den Schnittstellen "Entnahme" und "Einleitung" möglich und führt zur Entwicklung Zeitdiskontinuitäten ausgleichender Pufferkapazitäten (Wasserwirtschaft: Talsperren; Bergwirtschaft: Halden; Landwirtschaft: Lagerkapazität; Abfallwirtschaft: Deponien usw.), die die Diskrepanz zwischen kontinuierlicher und diskontinuierlicher Förderung, Verteilung, Nutzung bzw. Versorgung auszugleichen gestatten und zugleich die Landschaft auch visuell zu formen beginnen. "Die menschlichen Aktivitäten waren immer mit naturgesetzlichen Reaktionen verbunden, die bei Überschreiten eines gewissen Toleranzbereiches bzw. bestimmter Stabilitätsgrenzen den Menschen zwangen, die Handlungen gegenüber der natürlichen Umwelt zu regulieren, um seine Existenz zu sichern" (PAUCKE & STUBBE 1986, 409); die co-evolvierenden Systeme repräsentieren damit **co-respondierende** Systeme..

Der Zeitraum der Industrialisierung, der seine Wurzeln bereits im Bergbau des ausgehenden Mittelalters hat, widerspiegelt sich vor dem Hintergrund der Formierung von wirtschafts- und sozialräumlichen Ballungsgebieten etwa seit 1850-1900 als zunehmende Vernetzung lokaler technisch zuverlässiger Systeme zu regionalen bzw. überregionalen großtechnischen Systemen; auch Wasserversorgungs- und -entsorgungssysteme sowie der Talsperrenbau innerhalb der Gewässernetzstruktur lassen sich in diesen Kontext einordnen. Eingebettet in diese Entwicklung ist die Gewährleistung von Versorgungs- und Schutzfunktionen auf regionalem Niveau mit Hilfe soziotechnischer Systeme einer leitungs- (Wasserver- und -entsorgung) bzw. gewässernetzgebundenen Infrastruktur (Hoch- und Niedrigwasserregulierung) als sozioökonomische Integration zu interpretieren.

Da sich in diesen Systemen der Stoffwechsel Natur-Gesellschaft vollzieht, werden ihre Versorgungs- und Schutzfunktion durch die raum-zeitlich variierende Verfügbarkeit der Wasserressourcen begrenzt; die Systeme erlangen damit die Dimension sozioökologischer Systeme. Die Überlagerung natur-, technik- und sozialgeschichtlicher Entwicklungslinien und als deren historisch entstandenes Ergebnis ihre räumlich organisierte Struktur, die wiederum Träger gegenwärtiger Prozessabläufe ist, legen die Kennzeichnung dieser Systeme als **co-operierende** Systeme nahe (AURADA 2003). Mit der Formulierung eines historisch veränderlichen Versorgungs- und Gefährdungspotenzials wird eine plausible und logisch nachvollziehbare Entwicklung der Veränderung des verfügbaren Wasserdargebots angedeutet, die erst seit dem ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts zu einer quantifizierbaren Erhöhung des Versorgungs- und einer Verminderung des Gefährdungspotentials geführt hat.

1 Historischer Hintergrund

Obwohl nur wenige räumlich differenzierende Übersichten für Deutschland vorliegen, lassen sich folgende Entwicklungswege zusammenfassen: Nach der letzten Eiszeit hatte sich in Mitteleuropa zeitverzögert eine fast vollständige Wiederbewaldung eingestellt, von S nach N zunächst in der Reihenfolge Birke, Kiefer, Hasel und Eichenmischwald (Eiche, Linde, Ulme, Ahorn, Esche), später nachfolgend Tanne, Buche, Fichte und Hainbuche (BEHRE 2000, 104).

Die Frage nach dem Ausgangszustand der Kulturlandschaftsentwicklung, die zunächst durch naturraumnutzende (Land-, Vieh- und Waldwirtschaft) und später durch naturraumverändernde (insbesondere bergbauliche) Eingriffe des Menschen gekennzeichnet werden kann, stand zunächst unter dem Einfluss der „Steppenheidetheorie“ ROBERT GRADMANNNS und später unter der darauf aufbauenden „Theorie konstanter Siedlungsräume“ OTTO SCHLÜTERS. Erstere ging davon aus, dass sich die neolithische Besiedlung in von Natur aus waldfreien Landschaften vollzogen habe, die auf Grund einer seither konstanten Besiedlung bis zur Gegenwart waldfrei geblieben sei. Letztere wollte unbesiedeltes Land als bewaldet und besiedeltes Land als Offenland identifizieren (GRINGMUTH-DALLMER 1983). Heute wird allgemein davon ausgegangen, dass im Holozän unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen tendenziell wieder eine mehr oder weniger vollständige Bewaldung des ursprünglich waldfreien Periglazialraumes erfolgt sei. In diesem Rahmen sollte Offenland besser als „Gefilde“ verstanden werden: „Ein Gefilde umfaßt das von Wald umgebene Wohn- und Wirtschaftsgebiet einer Bevölkerung unter Einschluss der ... ökonomisch genutzten Randzonen der Wälder“ (a.a.O., 10); der Begriff schließt also einen Übergangsbereich zwischen walddosen und waldbedeckten Gebieten ein. Den für die Entwicklung des frühgeschichtlichen Landschaftsbildes wichtigste Vorgang sieht GRINGMUTH-DALLMER (1983), dem hier weitgehend gefolgt sei, im Landesausbau als Summe der Erweiterung alter und der Erschließung neuer Siedlungsräume. In frühgeschichtlicher Zeit dominiert dabei die Waldrodung, erst in späteren Jahrhunderten kam die Entwässerung häufig auch waldbedeckter Niederungsgebiete hinzu.

Nach zunächst nur punktueller Naturnutzung im Jungpaläolithikum und Mesolithikum setzte mit dem Übergang zur bäuerlichen Wirtschaftsweise, der "neolithischen agrarischen Revolution" (BAYERL & VON BORRIES 1998, 5), ein in Europa 7 - 5 000 Jahre, in Deutschland (südnord-verzögert) 6 - 5000 Jahre umfassender Zeitraum (BERNHARDT & JÄGER 1985, JÄGER & BERNHARDT 1987) der agraren Landnahme ein. Er ist dadurch zu kennzeichnen, dass aus einer frühen Landwirtschaft (Brandrodungsfeldbau und Feldgraswirtschaft) aus Siedlungskammern empirisch erschlossene Gunstgebiete mit zunehmend intensiver Veränderung des Wald-Offenland-Verhältnisses (Rodungsperioden: 500-800, 800-1100, 1100-1300) das mittelalterliche Agrarsystem entsteht. Dabei ist bedeutsam, dass mit der nun einsetzenden Vorratswirtschaft (HENNING 1991, 5) ein Ausgleich zwischen naturraum-

nutzenden jahreszeitlich-variierenden und jahresübergreifenden Nutzungsansprüchen und daraus resultierenden Speicherfunktionen der Beginn einer Kolonisierung markiert wird.

Territorialgeschichtlich ist das Exkursionsgebiet in den Rahmen des Kerngebiets des Thüringer Königreichs (400: "Toringi") eingeordnet, das im N von der Ohre, im E von der Weißen Elster und im S vom Main begrenzt war. 531 wurde das Thüringer Reich durch die Schlacht an der Unstrut (Burgscheidungen ?) zerstört. Die darauf folgende fränkische Herrschaft war wohl erst 741 etabliert; erst seit dieser Zeit wurde wohl die Saale endgültig zur Grenze zwischen dem westlich gelegenen germanischen und dem östlich gelegenen slawischen Siedlungsgebiet.

Das Siedlungsgebiet dieses Raumes, nun östlich durch die Saale-Elbe-Linie begrenzt, kann auch mit Hilfe historischer Ortsnamen charakterisiert werden. Deren Darstellung, noch auf SCHLÜTERschen Vorstellungen aufbauend, erfolgte in SCHLÜTER & AUGUST 1959, Karten 12 - 14) und nimmt eine schematische Zuordnung von einzelnen Ortsnamentypen zu Siedlungsperioden (vor 300, 300-531, 531-800, 650-900) vor. Demgegenüber stellt GRINGMUTH-DALLMER (1983) nach Prüfung der Ortsnamen auf -leben, -ingen, -stedt, -heim und -hausen fest, dass nur die -leben-Namen für die Kennzeichnung der Offenlandbesiedlung bis etwa 531 geeignet sind (vgl. Bild 2. 1); als jünger erkannte Ortsnamen (- feld, rode, -rieth, -hagen, -schwende und -burg) fallen für diese Beweisführung ohnehin aus (a.a.O., 27).

Im Exkursionsgebiet ist mit einer durchgehenden germanischen (thüringisch-fränkischen) Besiedlung seit etwa der späten Völkerwanderungszeit zu rechnen. Zur späten Kaiser- und frühen Völkerwanderungszeit (200-450) ist unterhalb etwa der 300 m-Isopyse, die zugleich den Beginn der Mittelgebirgserhebungen markiert, von einer relativ dichten Besiedlung auszugehen. Unbesiedelt sind neben Thüringer Wald und Harz, der Kyffhäuser, Schmücke, Finne, Hainleite, Hainich und Fahner Höhe. Während in der Völkerwanderzeit Höhen von 300m nur selten überschritten wurden, wurden in der Karolingerzeit 400 m, im Thüringer Wald sogar 500m erreicht. Allerdings sind gerade in den Hochlagen in den nachfolgenden Jahrhunderten besonders viele Siedlungen wieder wüstgefallen (a. a. O., 95) Auffällig ist, dass auch gerade die Schwarzerdegebiete, möglicherweise wegen Wasserarmut, nicht oder nur dünn besiedelt waren. Dazu gehören Teile des Thüringer Becken und Teile der südöstlichen (Querfurter Platte) und nordöstlichen bzw. nördlichen Harzvorländer.

In diesem räumlichen Rahmen vollzieht sich nun die Entwicklung in den folgenden Jahrhunderten. Während in der späten Völkerwanderungszeit die Gebiete besiedelt waren, die auch in den vorhergehenden Jahrhunderten besiedelt gewesen sind, ist nun mit einer erheblichen Bevölkerungsverminderung zu rechnen. Sie spiegelt sich gegenüber den großen Siedlungsräumen der späten Kaiserzeit in nun kleineren, unzusammenhängenden Siedlungskammern in ausgedehnten Waldgebieten wider. Im 7. Jhdt. wird der Siedlungsraum nochmals kleiner und die Gebiete östlich der Saale-Elbe-Linie verlassen.



Bild 2. 1: Siedlungsgebiete im Saale-Unstrut-Gebiet (GRINGMUTH-DALLMER 1983, Karte 12 [verändert]) und Ortsnamen auf -leben (schwarz) im Mittel- elbe-Saale-Gebiet (a. a. O., 25)

EXKURS:

Pfalzen in Mitteldeutschland

Pfalz Memleben an der Unstrut: Die Lage der Pfalz Memleben ist nicht genau bekannt. Ausgegraben wurden Grundrissreste einer ottonischen Kirche, die mit einer Grundfläche von 82 x 28 m in Deutschland nur noch durch die Dome in Magdeburg, Fulda, Köln und Trier übertroffen wird. Sie wurde ab 942 durch Otto I. (+ 973 in Memleben) in Andenken seines Vaters Heinrich I. (+ 936 in Memleben) errichtet.

Die als Ruine erhaltene romanische Klosterkirche gehört zu einer Benediktinerabtei, die durch Otto II. (973-983) gestiftet und 1525 durch Bauern erstürmt worden ist. Die Überreste der Pfalz Memleben werden jenseits der Unstrut, also unweit der Burg Wendelstein, vermutet (MENCHÉN & LEIBLING 1987, 28-39). Beide Autoren (a.a.O., 39) haben der ehrenamtlich arbeitenden „Klosterfrau“, Frau DITTRICH, die auch unsere Exkursionsgruppe über viele Jahre kenntnisreich und charmant geführt hat, ein literarisches Denkmal gesetzt.

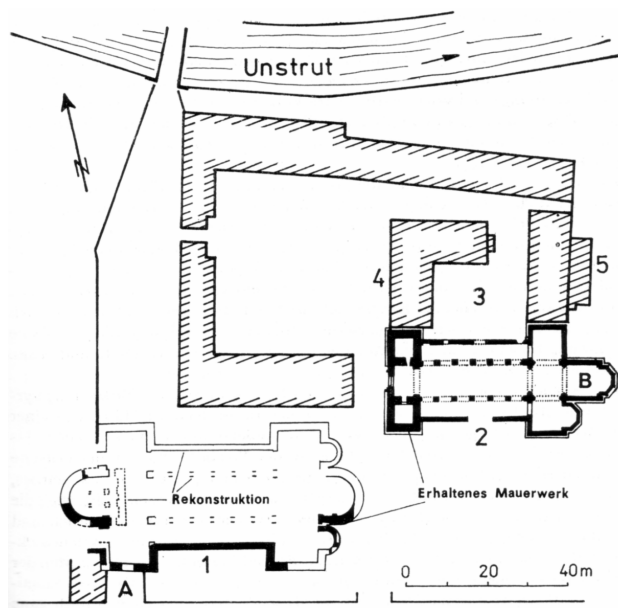


Bild 2. 2: Grundriß der Klosterbauten in Memleben (nach KUGLER & W. SCHMIDT 1988, 65)

- A - Kaisertor
- B - Krypta
- 1 - Klosterkirche des 10. Jhdt.
- 2 - Klosterkirche des 13. Jhdt.
- 3 - Klausur
- 4 - Ehemaliges Abtshaus
- 5 - Sogenanntes Mönchshaus

Die ottonische Pfalz Tilleda, in Spornlage auf dem Pfingstberg östlich des Kyffhäusers gelegen, wird 972 erstmals urkundlich erwähnt, geriet aber bereits seit 1187 in Verfall, wurde im 15. Jhdt. aufgegeben und geriet dann in Vergessenheit. Sie wurde erst 1871 durch KARL MEYER wiederentdeckt und durch PAUL GRIMM in den Jahren 1935-39 und 1958-78 ausgegraben. Sie umfasst mehrstufige Abwallungen und weist erst im Sicherheitsbereich Steinbauten auf.

Im Bereich des Exkursionsgebietes gehört sie zu einer Reihe von Pfalzen (Memleben, Allstedt, Nordhausen, Wallhausen, Merseburg, Quedlinburg), die durch die Hervorhebung der Pfalz Magdeburg durch Otto I. später in den Hintergrund getreten sind. Der Pfalz Tilleda waren die Wirtschaftshöfe Berga, Kelbra und Roßla zugeordnet (ZÜHLKE 1976, 111-115, MENCHÉN & LEIBLING 1987, 28-39; BÖHME ET AL. 1999, I, 118).

Der bisher als dominierend germanische gekennzeichnete Siedlungsraum westlich der Saale-Elbe-Linie trägt insofern der historischen Realität nicht vollständig Rechnung, als im thüringisch-fränkischen Gebiet dieses Raumes auch seit spätestens 750-780, möglicherweise auch schon um 650, ein slawischer Einfluss aus den östlich gelegenen Gebieten festzustellen ist: zunächst eine bis zu 25 km tiefe Zone westlich der Saale mit geschlossenen Einheiten slawischer Besiedlung, eine bis zu 30 km tiefe Zone mit Gemengelagen von thüringisch-fränkischen und slawischen Siedlungen und schließlich eine breitere Zone zwischen Harz, Thüringer Wald und Rhön, in der slawische Siedler nur isoliert im germanischen Siedlungsgebiet Fuß fassen konnten. Damit waren die slawischen Siedler aber insgesamt am Landesausbau im germanischen Siedlungsgebiet beteiligt.

Bereits im 8. Jhdt. wird ein deutlicher Ausbau der Siedlungsgebiete von N (Altsiedelraum Gotha-Arnstadt) und S (Flussgebiet der oberen Werra) in den Thüringer Wald und von der Goldenen Aue in Richtung Harz erkennbar. Spätestens im 9. Jhdt. vereinigen sich die bisher noch relativ isolierten völkerwanderungszeitlichen Gefilde zwischen Thüringer Wald und Harz zu einem mehr oder weniger geschlossenen Siedlungsraum. Er nimmt das Gebiet zwischen der Saale im E und der Eichfeldschwelle im W ein und wird nur durch die bewaldeten Höhenzüge von Dün, Hainleite, Schmücke, Finne, Kyffhäuser, Hainich, Fahner Höhe und Ettersberg unterbrochen; allerdings wird die 400 m-Isohypse selten erreicht. Sinngemäß gleiches gilt für das Werra-Gebiet südlich des Thüringer Waldes, ohne dass es hier zu dieser großen geschlossenen Siedlungsfläche kommt. Ähnliches dürfte sich in den östlichen und nördlichen Harzvorländern vollzogen haben.

Eine territoriale Abgrenzung dieser Siedlungsgebiete wird in einer künstlichen Abgrenzung nach W, dem „Sachsengraben“ (Harz-Martinsrieth-Edersleben-Riethnordhausen-östlicher Kyffhäuser-Unstrutaue), gesehen, der als 531 errichtete Grenze zwischen dem fränkischen (ehemals thüringischen) und sächsischen (?) Herrschaftsgebiet interpretiert wird. Er findet möglicherweise seine spätere (8. Jhdt.) Entsprechung in der Begrenzung der „Germar-Mark“ (Meißner, westlich der Werra bis Bad Tennstedt östlich der Unstrut). Im E wurde diese Mark durch die Burgbezirke des „Hasegaus“ im „Unstrut-Saale-Bogen“ weitergeführt.

SPEZIAL: Burgenentwicklung

Die Burgenforschung kennt drei Etappen der Burgenentwicklung im germanischen Raum, den frühmittelalterlichen Burgenbau (6. bis 10. Jhdt.), den hochmittelalterlichen Burgenbau (10. bis Mitte des 12. Jhdt.) und die klassische Epoche des mittelalterlichen Burgenbaus (Mitte des 12. bis 13. Jhdt.) (BÖHME ET AL. 1999; BILLER & GROßMANN (2002)). Der frühmittelalterliche Burgenbau kennt merowingische, karolingische und ottonische Bauten, die als relativ große Burganlagen (1-10 ha) sowohl dem Schutz der Bevölkerung als auch als Stützpunkte der fränkischen Herrschaft einer expansiven Raumerschließung und -sicherung dienten, wobei eigenständige Befestigungsbauten allerdings erst seit dem 7./ 8. Jhdt. nachweisbar sind. Als eine typisch ottonische Pfalz im Exkursionsgebiet wird Tilleda angesehen.

Der Unterschied zwischen der Burg und der Pfalz wird in der Dominanz fortifikatorischer Elemente (Burg) und der Dominanz residentialer Funktionen (Pfalz) gesehen (BÖHME ET AL. 1999, I, 109). Der hochmittelalterliche Burgenbau während der Salierzeit (1024-1125) hinterlässt nur relativ kleinräumige (0,04-0,3 ha) Burganlagen. Burganlagen des klassischen mittelalterlichen Burgenbaus, die die Stauferzeit (1138-1254), das Interregnum (1256-1273) und die Zeit der Habsburger (1273-1291) einschließen, hinterlassen im Exkursionsgebiet z. B. die Wartburg. Die Phase des spätmittelalterlichen Burgenbaus führt zu einem deutlichen Rückgang der Zahl neuerrichteter Anlagen während vorhandene aufgegeben werden. Häufig werden ältere Burganlagen auch den veränderten Wohnbedingungen des Adels angepasst, zwischen Burg und Schloss wird erst seit dem 19. Jhdt. unterschieden (a.a.O., I, 148).

Auf der Fläche des Deutschen Reiches waren etwa 10 000 bis 19 000 Anlagen (6 500 Burgen, 6 600 Schlösser, 5 900 verschwundene Burgen), im frühen Mittelalter etwa 3 000-5 000 Grundherrensitze, über 150 Pfalzen und ca. 300 Klöster (nach HENNING 1991, 123 sogar 1254 Klöster) vorhanden. Die jeweils zugehörigen Burgenfläche wird auf < 1000 m² (60,0 %), 1000-2500 m² (31,7 %), 2500-5000 m² (6,1 %) und > 5000 m² (2,2 %) geschätzt (KRAHE 1994, 45). Der Burgenbau hat sich mit unterschiedlicher Intensität vollzogen: 11. Jh.: 4,9 %, 12. Jh.: 25,5 %, 13. Jh.: 44,8 %, 14. Jh.: 18,2 % und 15. Jh.: 4,2 %; die maximal gleichzeitig vorhandene Zahl von Burgen wird für 1300 mit ca. 13 000 angenommen, das entspräche einer Konzentration von einer Burg auf 38 km² (a.a.O., 14 und 16). Ohne auf Einzelheiten der architektonischen Entwicklung eingehen zu wollen, sei festgestellt, dass sich die Entwicklung allgemein von relativ kleinen Holzbauten des 10. und 11. Jhdt. zu Steinquaderbauten (beispielsweise Buckelquader der Burg Kyffhausen, Großquader der Wartburg) des späten 12. Jhdt. vollzog (BILLER & GROßMANN 2002, 55). Ergebnis dieser Entwicklung sind „Burgenlandschaften“ (BÖHME ET AL. 1999); das Exkursionsgebiet hat Anteil an Thüringen (a.a.O., II, 196 ff.) und Sachsen-Anhalt (a.a.O., II, 189 ff.).

EXKURS:

Burgen in Mitteldeutschland

Burg Kyffhausen auf dem Kyffhäuser

Die Burg wurde bereits Ende des 11. Jhdt. durch Heinrich IV. und V. zu einer dreiteiligen Reichsburg ausgebaut. Sie wurde 1118 nach dreijähriger Belagerung zerstört und um 1150 wiedererrichtet, verstärkt und erweitert. Ein zweiter Ausbau, vor allem zum Schutz der Pfalz Tilleda, erfolgte unter Friedrich I.; 1220 wird sie als „Cuffese“ urkundlich erwähnt. Nach verschiedenen Belehnungen (1378, 1407) würde sie bald ein „wüstes Schloß“. Eine Mühlsteingewinnung im 17. und 18. Jhdt. sowie der Einbau des Kyffhäuser-Denkmals haben große Teile der Burg völlig zerstört.

Ausgrabungsarbeiten durch GOTTHARD NEUMANN (1934-38) und HERMANN WÄSCHER (1954) haben die Ruine der Burg wieder sichtbar werden lassen. Eine Abschätzung des Bauaufwandes (21 000 m³ Erdbewegung, 65 000 m³ Steinmaterial, 51 000 m³ weiteres Material, 7 000 m³ Holz, ca. 71 000 Transportfahrten, 500 Arbeitskräfte mit einem 12 Stunden-Werktag) haben zu einer Bauzeit von 13 Jahren geführt (ZÜHLKE 1976, 88-91, MENCHÉN & LEIBLING 1987, 77-91).

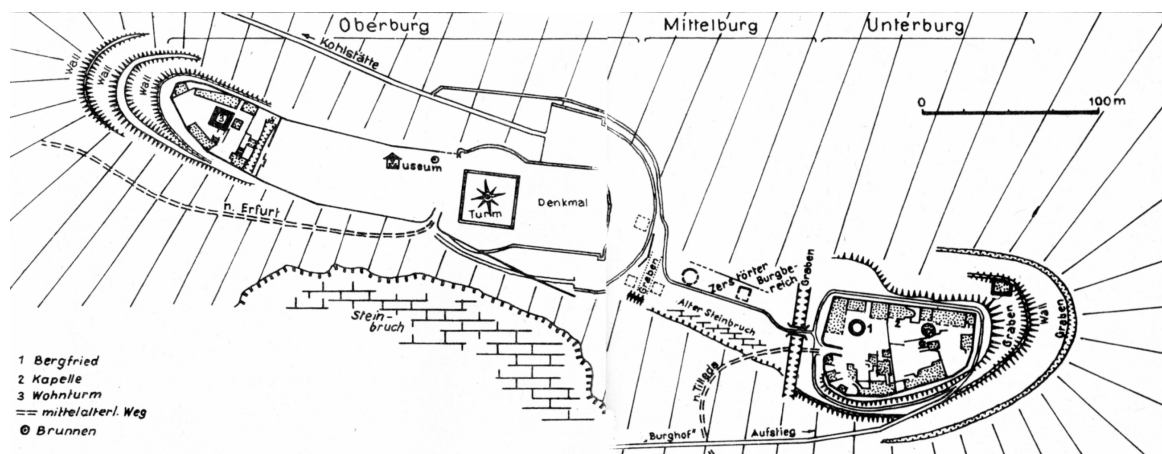


Bild 2. 3: Grundriss der Burg Kyffhausen (nach KUGLER 1970 in ZÜHLKE 1976, 98/ 99)

Wartburg bei Eisenach

Die Wartburg wurde, durch die Ludowinger errichtet, 1080 erstmals erwähnt, hatte ihre Hauptbauzeit aber erst im 12. und 13. Jhdt. und musste schon 1319 nach einem Unwetterschaden wiederhergestellt werden. Nach mehreren Besitzwechseln (1255, 1423, 1547) gelangte die Burg 1741 an die Herzöge von Sachsen-Weimar. 1477 wurde sie nach N (Ritterhaus und Vogtei) vergrößert und durch Fachwerkwehrgänge ergänzt, um 1500 wurde eine neue Toranlage errichtet. Seit 1785 fanden bereits Erhaltungsmaßnahmen statt. Zwischen 1838 und 1890 erfolgte ein umfassender Wiederaufbau. 1859 wurde durch WALLASCH das seither als Wahrzeichen der Burg fungierende vergoldete Wartburg-Kreuz errichtet.

Auf der Wartburg übersetzte 1521-22 MARTIN LUTHER als „Junker Jörg“ das Neue Testament. 1854-55 entstanden durch MORITZ VON SCHWIND mehrere Freskenzyklen, u.a. der „Sängerkrieg auf der Wartburg“ (1206). 1817 fand ein Burschenschaftstreffen aller protestantischen Universitäten

Deutschlands statt, an das das gegenüber der Wartburg liegende Burschenschaftsdenkmal, 1883 durch DONNDORF entworfen, erinnert. Das Wartburg-Hotel entsteht 1903 (BODO EBHARD) (MRUSEK 1965, 44, MENCHÉN & LEIßLING 1987, 323-340).

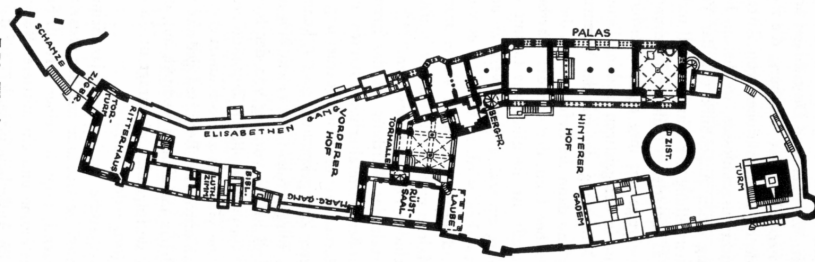


Bild 2. 4: Grundriß der Wartburg (nach HOTZ 1965, 135)

Burg Saaleck und Rudelsburg bei Bad Kösen

Die Burg Saaleck, eine Zweiturmburg, wird 1140 erstmals als „Saleke“ erwähnt. 1344 gelangt die Burg an den Bischof von Naumburg, im 16. Jhdt. an den Kurfürsten von Sachsen, war seitdem aber dem Verfall preisgegeben, so dass sie nur als Ruine erhalten geblieben ist. Die Rudelsburg wird 1171 erstmals als „Ruthelesburch“ erwähnt und, wie Saaleck, durch die Markgrafen von Meißen erbaut. 1348 Belagerung (im thüringischen Raum wird erstmals der Einsatz von Feuerwaffen erwähnt) und Zerstörung, 1450 erneute Zerstörung. Ende des 19. Jhdt. erfolgen entstellende Einbauten.

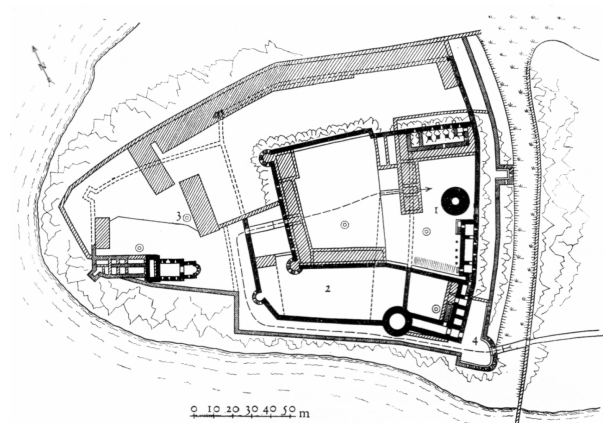
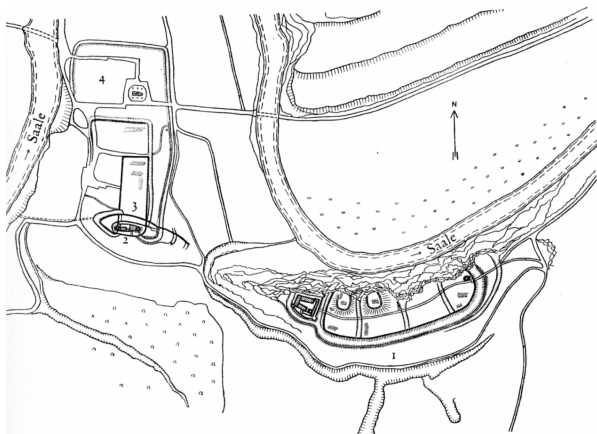


Bild 2. 5: Lageplan der Burgen Saalburg und Rudelsburg (nach MRUSEK 1965, 37)

- 1 - Rudelsburg, 2 - Burg Saaleck, 3 - Vorburg Saaleck
- 4- Dorf Saaleck

Bild 2. 6: Grundriss der Burg Seeburg (nach MRUSEK 1965, 28)

- 1 - Hauptburg mit Bergfried, 2 - Innerer Zwinger mit Witwenturm, 3 - Vorburg mit Stiftskirche, 4 - Torburg mit äußerem Zwinger

Seeburg am Süßen See

Die Seeburg wird bereits im Hersfelder Zehntverzeichnis (880-899) als „Seobure“ erwähnt, 980 als „Seburg“ bezeichnet. Erst etwa 1036 setzte die Bauzeit der Steinburg ein. 1287 wurde sie an die Grafen von Mansfeld verkauft, die sie bereits zwischen 1450 und 1518 zum Wohnschloss umbauen ließen. Weitere Um- und Ausbauten erfolgten im 19. Und 20. Jhdt. (NEUß & ZÜHLKE 1982; 176, MENCHÉN & LEISSLING 1987, 7-15).

Aus der Zeit des Thüringer Reichs bis in das 6. Jhdt. sind bislang keine festen Burganlagen bekannt. König und Adel lebten in unbefestigten Höfen bzw. nutzten Pfalzen. Mit dem Eindringen der Franken nach Thüringen im 7. Jhdt. setzt der Ausbau des mittelalterlichen Burgensystems ein, zunächst wohl mit dem Ausbau von Höhenburgen (z. B. der Sachsenburg in der Sachsenburger Pforte des Exkursionsgebiets). Sie sind zwar über ganz Mitteldeutschland verteilt, häufen sich aber, beginnend in den Siedlungskammern der alten Siedlungsgebiete und dann in die Kolonisationsgebiete hineinreichend, westlich der „Saale-Elbe-Linie“; allein im Saaltal existieren 60 Burgen (MENCHÉN & LEIBLING 1987). Im östlich dieser Linie gelegenen slawisch dominierten Siedlungsgebiet ist ihre Zahl deutlich geringer.

Der zweite Teil des Hersfelder Zehntverzeichnisses (zwischen 880 und 899 für den Raum zwischen mittlerer Saale, Unstrut und Harz aufgezeichnet) führt 18 Burgen an, die alle im „Hasegau“ liegen: Beyernaumburg, Allstedt, Bornstedt, Helfta, Seeburg, Schraplau, Kuckenburg, Querfurt, Spielberg, Vitzenburg, Burgscheidungen, Mücheln, Lettin, Holleben, Merseburg, Burgwerben, Markwerben und Goseck (GRINGMUTH-DALLMER 1983, 137). Da für das Zehntverzeichnis eine Gültigkeit bereits für 780 wahrscheinlich gilt, dürften auch die genannten Burganlagen bereits zu diesem Zeitpunkt existiert haben.

Möglicherweise ist hierin ein in einer Tiefe von 40 km von E nach W gestaffeltes Verteidigungssystem zu sehen (mit Bezug auf P. GRIMM a.a.O., 56): 1. Linie: an der Saale in Abständen von 3,2 bis 11 km: Goseck-Markwerben-Burgwerben-Korbetha-Merseburg-Schkopau-Holleben-Halle-Lettin; 2. Linie mit Abständen von 6 bis 8,5 km: Burgscheidungen-Vitzenburg-Querfurt-Kuckenburg-Schraplau-Seeburg; 3. Linie: Allstedt-Beyernaumburg-Bornstedt-Helfta. Neben dieser militärischen Bedeutung haben die Burgen aber auch siedlungsgeschichtliche und verkehrsleitende Bedeutung, so sei z.B. an die strategische Bedeutung der Sachsenburg (Sachsenburger Pforte) an der alten thüringischen Nord-Süd-Verbindung erinnert. (a.a.O., 57).

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist in diesem Burgsystem aber auch ein fränkisches Burgbezirkssystem zu sehen, das auf eine durchgängige vorhandene Landeseinteilung schließen ließe, die allerdings mehr auf eine administrative (Erhebung von Zehnten) als auf eine wirtschaftliche Funktion hinweisen. Durch das Burgensystem wurde auch ein Teil des Verkehrsnetzes kontrolliert, bei dessen Herausbildung die Barrieren des Thüringer Waldes und des Harzes eine W-E-Richtung des Durchgangsverkehrs bewirkten und seine S-N-Ausdehnung beeinträchtigte. Die einzige bedeutende S-N-Verbindung führte aus dem Thüringer Wald über die Sachsenburger Pforte (Thüringer Pforte) in Richtung Goldene Aue.

Das Exkursionsgebiet ist bereits in vor- und frühgeschichtlicher Zeit besiedelt und damit auch landwirtschaftlich genutzt worden (SCHLÜTER & AUGUST 1959; GRINGMUTH-DALLMER 1983). Dabei haben zunächst weniger die klima- und bodengeographisch ungünstigeren Hochschollen als vielmehr die Tiefschollenbereiche eine Rolle gespielt. Im Frühneolithikum wird mit einer Entwaldung von 5 % in den Lößgebieten und 3 % in Mitteleuropa zu rechnen sein (BEHRE 2000, 106). In diesem Zusammenhang sei auch auf die überregional bedeutsamen Ausgrabungs- bzw. Fundstätten in Bilzingsleben (MANIA 1966), jüngst des steinzeitlichen Familiengrabs (über 4 000 Jahre) in Eulau bei Naumburg und der bronzezeitlichen „Himmelscheibe“ (3 600 Jahre) bei Nebra (VAAS 2004, 247) sowie des „Sonnenobservatoriums“ bei Goseck (a.a.O., 251) erinnert; die Luftlinienentfernung zwischen Eulau und Goseck beträgt nur 2 km, die nach Nebra 23 km. Um das Jahr 0 wird mit einem Anteil des offenen Siedlungs- und Kulturlandes in Mitteleuropa zwischen 10 und 20 % gerechnet (BEHRE 2000, 109); erst ab dem 4. Jahrhundert nahm die Bewaldung im Ergebnis der Völkerwanderung wieder zu. Zwischen 800 und 1150 ist mit einer Verdreifachung der landwirtschaftlich genutzten Fläche zu rechnen (HENNING 1994, 34).

Die Ausweitung der landwirtschaftlich genutzten Fläche zwischen dem 12. und 14. Jahrhundert führt etwa 1350 zu einer Größenordnung der Landwirtschaftsfläche, die so groß ist, wie nie zuvor (HENNING 1994, 163). Die darin integrierten Randbedingungen, wie die Dreifelderwirtschaft und der sie begleitende Flurzwang sowie die mittlerweile begrenzten Rodungsmöglichkeiten führen zu einem weitgehend ausgewogenen Verhältnis der Bodennutzungsformen mit einem relativ hohen Waldanteil (a.a.O., 221). Da die Bevölkerungszunahme jedoch nicht kontinuierlich erfolgte, sondern aus sowohl epidemischen als auch ökonomischen, vielleicht auch klimatischen Gründen auch diskontinuierliche Phasen aufwies, sind auch Wüstungsprozesse (partiell als Flur- oder Ortswüstung oder total) für den Raum des Exkursionsgebiet nachgewiesen.

In einer historischen Zusammenschau hat GLASER (2001) versucht, die Klimageschichte Mitteleuropas zwischen 1000 und 2000 AD zu rekonstruieren. Nach einem mittelalterlichen Wärmeoptimum (mit einem Höhepunkt zwischen 1250 und 1300) folgt nach einer längeren Übergangsphase (1350 - 1550) die „Kleine Eiszeit“ (1550 - 1750) mit dem Maunder-Minimum (1675-1700), die innerhalb einer kurzzeitigen Klimaumstellung (1700 - 1800) in das moderne Klimaoptimum einmündet; die nachweisbaren Temperaturänderungen bewegen sich dabei in der Größenordnung von ca. 1,5 °C, die als moderate Schätzung auch bei zunehmenden Treibhauseffekt (Verdopplung CO₂-Gehalt) nicht überschritten würden. Die Niederschlagsverhältnisse wiesen bis etwa 1600 eine übernormale Höhe (10-20 mm) bei relativ unbedeutenden Veränderungen der mittleren Verhältnisse auf, während sie seit 1600 einen deutlich größeren Schwankungsbereich aufwiesen und etwa zwischen 1750 und 1950 unternormale Höhen (bis ca. -10 bis 12 mm) aufweisen. Im Zusammenhang mit der Kleinen Eiszeit wird auf eine auffällige Zunahme von Hochwasserereignissen in fast allen mitteleuropäischen Flußgebieten zwischen 1500 und 1800 hingewiesen.

EXKURS:

Kyffhäuser-Denkmal

Die Grundsteinlegung des Kyffhäuser-Denkmal (ZÜHLKE 1973, 101-104) erfolgte am 10. Mai 1892, die Einweihung des insgesamt 81 m hohen Denkmals am 18. Juni 1896. Der Entwurf der riesigen Anlage aus rotem Sandstein (insgesamt sind 25 000 m³ Gesteinsmaterial verbaut worden) erfolgte durch BRUNO SCHMITZ. Der auf drei Terrassen aufgesetzte Turm wird von einer 6,6 m hohen Nachbildung der wilheminschen Kaiserkrone abgeschlossen. Zwischen der ersten und zweiten Terrasse ermöglicht eine Öffnung zu einem Felsenhof einen Blick auf die Gestalt des erwachenden BARBAROSSA (Gestaltung: NICOLAUS GEIGER). Über ihr erhebt sich vor dem Turm das auf einem hohen Sockel errichtete, aus Kupferblech bestehende, fast 9 m hohe Reiterstandbild von WILHELM I. (Entwurf: ERICH HUNDRIESER); als Bildhauer wirkte ferner AUGUST VOGEL mit.

Nach dem Tod Kaiser FRIEDRICH II. im Jahr 1250 führte, in Thüringen noch durch das Erlöschen des Landgrafenhauses 1247 verstärkt, das Fehlen einer starken Reichsgewalt zu langwierigen politischen und kriegerischen Auseinandersetzungen, durch die die Bevölkerung stark belastet wurde. Der Wunsch nach Ordnung und Sicherheit verdichtete sich zur Sage von der Wiederkehr des letzten Stauferkönigs, die sich schließlich auf die Ruine der Reichsburg Kyffhausen bezog. Da FRIEDRICH II. nach Auseinandersetzungen mit dem Papst in kirchlichen Kreisen als Ketzer galt, wurde sein Andenken ab 1519 (Erscheinen eines Volksbuches) durch die um ein Jahrhundert ältere Gestalt FRIEDRICH I. (BARBAROSSA) (1152-1190) verdrängt, der während eines Kreuzzuges 1190 ertrunken war; der „wandernde“ Kaiser wurde durch einen „erwachenden“ Kaiser abgelöst, dessen Bart durch den Tisch gewachsen ist, während die Raben den Berg umkreisten. Die sich in der Sage widerspiegelnde Wunschvorstellung von der Wiederkehr eines „Reiches Herrlichkeit“ führte zur Symbolisierung des Monarchen als Träger eines politischen Fortschritts. Mit der Reichsgründung 1871 wurde der Kyffhäuser (1865 wurde die 24 000 m² große spätere Barbarossa-Höhle entdeckt) zum Sinnbild dieser nunmehr als erfüllt scheinenden staufischen Kaiserträume. Vor diesem Hintergrund entstanden Bestrebungen, den Berg mit einem Denkmal für den Hohenzollernkaiser WILHELM I. zu krönen. In der Grundsteinurkunde heißt es: „Auf dem Kyffhäuser, in welchem nach der Sage Kaiser Friedrich der Rotbart der Erneuerung des Reiches harret, soll Kaiser Wilhelm der Weißbart erstehen, der die Sage erfüllt hat“ (SCHARF 1984, 224).

SCHARF (1984) zählt das Kyffhäuser-Denkmal zu den Denkmälern des imperialistischen Zeitalters (Kaiser-Wilhelm-, Bismarck- und Krieger-Denkmäler) in Deutschland (a.a.O., 217-266). Die großen Kaiser-Wilhelm-Denkmäler wurden aus Anlass des 100. Geburtstages von WILHELM I. im Jahr 1897 errichtet. Dazu gehören neben dem Kyffhäuser-Denkmal das Denkmal an der Porta Westfalica (1896), am Deutschen Eck (1897) und auf der Hohensyburg bei Dortmund (1902) sowie das kriegszerstörte „Kaiser-Wilhelm-Nationaldenkmal“ (1897) in Berlin.

In gewisser Beziehung zum ursprünglichen Anliegen der Barbarossa-Sage steht auch das 1975 erbaute Museum auf dem 265 m hohen Schlachtberg bei Bad Frankenhausen am Kyffhäusersüdrand, das mit einem Wandgemälde von WERNER TÜBKE an die Zeit des Großen Deutschen Bauernkrieges erinnert, der für ca. 4 000 thüringische Bauern unter THOMAS MÜNTZER mit der Schlacht am 15. Mai 1525 hier sein blutiges Ende fand.

Mit der vollen Durchsetzung des Feudalismus im 9. Jhdt. werden die Grundlagen des zukünftigen Landschaftsbildes gelegt, von denen viele (Offen-/ Wald-Land-Verhältnis, Siedlungs- und Verkehrsnetz) nicht nur den Rahmen der zukünftigen Entwicklung bildeten, sondern sich teilweise auch bis in die Gegenwart erhalten haben. Bis in das Mittelalter besteht ein eng korrelierter Zusammenhang zwischen Bevölkerungszunahme, Nahrungsmittelbedarf und einem von einem bestimmten technologischen Niveau (Feldgraswirtschaft, Dreifelderwirtschaft) abhängigen Flächenbedarf (KNAUER 1995). Daraus lässt sich eine grobe Abschätzung von Bevölkerungszahl und -dichte herleiten. GRINGMUTH-DALLMER (1983) kommt im Kernraum des Thüringer Reiches auf 45 000 bis 290 000 Einwohner bzw. 2 bis 13 E/km².

Die Formierung der ländlichen Bevölkerung in Dörfern (zunächst wohl in Weilern, dann in größeren Haufendörfern) dürfte sich frühestens im 7. Jhdt., im wesentlichen zwischen dem 9. und 13. Jhdt. vollzogen haben. In den Altsiedelgebieten Thüringens herrschen dabei Großgemarkungen mit verschiedenartig parzellierten Gewinnfluren vor, die das Endstadium einer längerfristigen Entwicklung (Block- bzw. Blockgemengeflur der vorgermanischen und Breitstreifenflur der karolingischen Zeit) markieren und aus immer wiederkehrende Teilungen der ursprünglichen Besitzeinheiten hervorgegangen sein dürften (GRINGMUTH-DALLMER 1983, 59).

Die in der Völkerwanderungszeit einsetzende Bevölkerungszunahme wird nicht nur eine Vergrößerung der Gefilde, sondern auch der Ortschaften bewirkt haben. Allerdings führt die erste mittelalterliche Wüstungsperiode im Gegensatz zur spätmittelalterlichen Wüstungsperiode durch Bevölkerungskonzentration ebenfalls zur Ortsvergrößerung (POHLENDT 1950).

Die Naturraumnutzung dieses Gebietes wird in der ersten Hälfte des 1. Jahrtausends in Mitteleuropa durch die Viehzucht dominiert, erst in der 2. Hälfte herrscht Ackerbau vor. Dabei wird hinsichtlich Kontinuität und Umfang des Ackerbaus kein grundsätzlicher Unterschied zwischen dem germanischen und dem slawischen Siedlungsgebieten gesehen. Lediglich für den Zeitraum 1000-1250 wird eine stärkere Zunahme der kontinuierlich genutzten Ackerfläche im germanischen Raum angenommen. Dort, wie auch in Thüringen, wird seit dem 8./ 9. Jhdt. bereits eine bestimmte Fruchtfolge eingehalten: entweder ein Vierjahreszyklus (Weizen/ Gerste-Roggen-Hirse-Brache-Weizen/ Gerste) oder ein Dreijahreszyklus (Weizen/ Gerste-Roggen-Hirse-Weizen/ Gerste), die schließlich zur Herausbildung der Dreifelderwirtschaft führen.

Im frühen und hohen Mittelalter kommt es im Gefolge der Bevölkerungszunahme, der Zunahme der Siedlungsdichte und des steigenden Nahrungsmittelbedarfs sowohl im Rahmen der Landwirtschaft (Übergang von der Feld-Gras-Wechselwirtschaft zur Dreifelderwirtschaft mit naturgebundener Düngung) als auch der Holznutzung für die Hausbrandversorgung aber auch zunehmend der frühindustriellen Nutzung (Bergbau, Verhüttung, Salinenwirtschaft, Glasproduktion) zu einer deutlichen Erweiterung der Landwirtschafts- und einer Verringerung der Waldflächen. Damit führen im Zeitraum des komplexen Land-

ausbaus seit ca. 1000 Jahren sowohl die innere Kolonisation (Waldrodung, Heide- und Moor-kultivierung, Eindeichung, Entwässerung) als auch die äußere Kolonisation (Ostkolonisation seit ca. 1200 mit einer Neugestaltung der Wirtschafts- und Sozialstruktur östlich der Elbe-Saale-Linie; HENNING 1994, 182) vom frühen Mittelalter (6.-9. Jhdt.) bis zum Spät-Mittelalter (13.-15. Jhdt.) zu einer Verringerung der Waldfläche von ca. 90% auf ca. 30 % zugunsten der Offenlandfläche. In den Bergbaugebieten war insofern neben der Wasserlösung und Wasserhaltung eine ausreichende Holznutzung das größte Problem (GLEITSMANN 1984).

Vor diesem Hintergrund wird Ende des 13. bzw. Anfang des 14. Jhdt. eine ökologische Krise glaubhaft gemacht (BAYERL & VON BORRIES 1998), die möglicherweise verstärkt durch das überregionale Hochwassereignis 1342, einen Nährboden für die Hungersnöte und Pest-epidemien vor 1350 gelegt haben könnte. Jedenfalls leitet eine Agrarkrise seit 1375 mit einem auch dem Bevölkerungsrückgang geschuldeten Niedergang der Agrarwirtschaft eine mittelalterliche Wüstungsperiode ein, die regional unterschiedlich (Alpenvorland: 10-20 %, NW- und NE-Deutschland: < 20 %, N-, Mittel- und S-Deutschland: 20-40 %), zur Aufgabe von schätzungsweise 40 000 Siedlungen (23,5 %) von ca. 170 000 selbständigen Siedlungen führt (POHLENDT 1950, BURGGRAAFF & KLEEFELD 1998). ABEL (1978) berechnete für Deutschland in den Grenzen von 1933 für den Übergang vom Hoch- zum Spätmittelalter einen durchschnittlichen Wüstungsquotienten von 26,1 %, für den Ostharz werden 53%, für das Eichsfeld 55% angegeben (Gringmuth-Dallmer 1983, 95). Der Wald breitete sich in den 20er Jahren des 15. Jahrhunderts auf etwa 45 % der Gesamtfläche Deutschlands aus (BORK ET AL. 1998, 179).

Gleichwohl ist mit der Anlage des mittelalterlichen Siedlungs- (im Gesamtgebiet Haufen- und Haufenwegdörfer als Ortsform dominierend) und Wegenetzes eine landschaftliche Struktur entwickelt worden, die sich in ihren Grundzügen bis in die Gegenwart erhalten hat. Innerhalb dieser Strukturen haben sich natürlich Veränderungen ergeben. Diese Veränderungen sind lokal auf das Entstehen von Bergbaustädten, insbesondere im Harz- (Erz-Bergbau) und Vorharz-Gebiet (Kupferschieferbergbau), zurückzuführen, werden jedoch insgesamt von einer Zunahme der städtischen Bevölkerung gekennzeichnet.

Im Exkursionsverlauf werden Orte berührt, deren Stadtgeschichte unterschiedlichen Gründungsperioden zuzuordnen ist. Zu ihnen gehören insbesondere auch die durch Stadtmauern befestigten Städte. Vor 1200 sind dies: Eisenach, Vacha, Saalfeld, Naumburg, Eisleben, Nordhausen und Quedlinburg. Dem Zeitraum 1200 – 1250 gehören an: Meiningen, Jena, Freyburg, Bad Frankenhausen, Wernigerode und Blankenburg. Seit 1250 – 1300 existieren Schleusingen, Kahla, Nebra, Sangerhausen, Hettstedt, Aschersleben und Staßfurt. Im Zeitraum 1300 – 1450 kommen hinzu: Bad Salzungen, Wasungen, Themar, Bad Blankenburg, Rudolstadt, Orlamünde, Dornburg, Bad Sulza, Laucha, Artern, Sondershausen, und Mansfeld. Um 1550 erreichen Eisenach, Saalfeld, Jena, Mansfeld und Aschersleben bereits 2 000 bis 5 000 Einwohner, Naumburg, Eisleben, Nordhausen und Quedlinburg sogar 5 000 bis 10 000 Einwohner.

EXKURS:

Soleförderung und Salinen

Ein Teil der mitteldeutschen Salinen (z.B. Artern und Kösen 1731) geht auf die Tätigkeit von JOHANN GOTTFRIED BORLACH (1687-1768) zurück. Im Auftrag von AUGUST II. (August der Starke: 25.06.1723) aktivierte er in Artern die Solquelle im „Salzthal“ und teufte in Kösen Solschächte. Diese zunächst kursächsischen Staatssalinen wandelten sich im Zuge der Beschlüsse des Wiener Kongresses 1815 zu Königlich-preußischen Salinen. Um den Salinenbetrieb effektiver zu gestalten, wurden im 19. Jahrhundert Solebohrungen ausgeführt, so für die Saline Bad Frankenhausen 1854 und 1867 (WIRTH 1972) und für die Saline Artern zwei Bohrungen (zwischen 1831 und 1841) und ein Soleschacht (zwischen 1841 und 1845). Eine größere Anzahl von Schächten und Bohrungen wurden für die Saline Bad Sulza niedergebracht, von denen die bei Darnstedt geteufte Bohrungen als Heinrichsquelle (1891-1896) und Carl-Elisabeth-Quelle (1937) besonders erfolgreich waren. Kösen stellte 1859 den Betrieb ein. Nachdem JOHANN ERHARD TRAMPEL und GIRAULT 1801 auf die Analogie zwischen Meerwasser und Sole hingewiesen hatten, setzte die balneologische Nutzung der Solen ein, die Bad Frankenhausen(1977), Bad Kösen(1985) und Bad Sulza(1984) bis in die Gegenwart zu wirtschaftlichem Erfolg verhalfen.

Tab. 2. 1: Salinen und Solquellen in Mitteldeutschland (Auswahl nach HECHT & MAI 1999, ergänzt nach JORDAN & WEDER 1995)

Ort der Saline	Betriebsdauer von	Betriebsdauer bis	Nutzung für Heilzwecke	Geologische Situation	Quellschüttung	Anmerkungen (S. – Sole)
Bad Frankenhausen	vor 998	1945	seit 1808	Sole an Kyffhäuser S-Randstörung gebunden		Soleschwimmbad
Elisabethquelle				Erdfallquelle/ Stollenfassung	ca. 33 l s ⁻¹	Na-Ca-Cl-SO ₄
Schütttschachtquelle				Erdfallquelle/ Schachtfassung	ca. 22 l s ⁻¹	9 bis 10%ige S.
Salinenbohrung F I	1854	1857		Zechstein bei -202 m		12 u. 27,5%ige S.
Salinenbohrung F II	1866	1867		Zechstein bei -385 m		7 bis 28%ige S.
Artern	1728	1964	seit 1824	Sole an Kyffhäuser S-Randstörung gebunden		Soleschwimmbad
Friedhofsquelle	(Ersterwähnung:		1450)	im Hauptanhydrit austretend	28-73 l s ⁻¹	3%ige Sole
Steinsalzbohrung A I	1831	1837		Zechstein bei -314 m		
Steinsalzbohrung A II	1831	1841		Zechstein bei -332 m		
Sole-Schacht Artern	1841	1848		Zechstein bei -266 m		8,9%ige Sole
Bad Kösen	1731	1859	seit 1825	Sole im Kreuzungsbereich NW-SE-streichender Bruchstrukturen der Hermundurischen Scholle mit der NE-SW-streichenden Naumburger Mulde (Saaletal als Entlastungsgebiet fungierend)		Gradierwerk
Unterer Schacht	1681	1687	(1731 Endteufe)	Ob. Buntsandstein bei -163 m	1,4 l s ⁻¹	4,35%ige Sole
Oberer Schacht	1731	1735	(1849 Endteufe)	Mittl. Buntsandst. bei -212 m	3,6 l s ⁻¹	5,26%ige Sole
Neue Quelle (Quellen Saaleflußbett)	1985	1985		Mittl. Buntsandst. bei -334 m	2,2 - 4,5 l s ⁻¹	7%ige Sole
Bad Sulza	vor1064	1967	seit 1839	Sole im Kreuzungsbereich NW-SE-streichender Finnestörung mit SW-NE-streichender Apolda-Naumburger Mulde		
Carl-Alex.-Sophien-Quelle	1870			Mittl. Buntsandstein bei -336 m	0,3 - 0,4 l s ⁻¹	4,35%ige Sole
Kunstgrabenquelle	1886		(1998 verwahrt)	Mittl. Buntsandstein bei -433 m	0,8 l s ⁻¹	8 bis 10%ige S.
Carl-Elisabeth-Quelle				Zechstein bei -881 m	2,2 - 3,0 l s ⁻¹	26%ige Sole

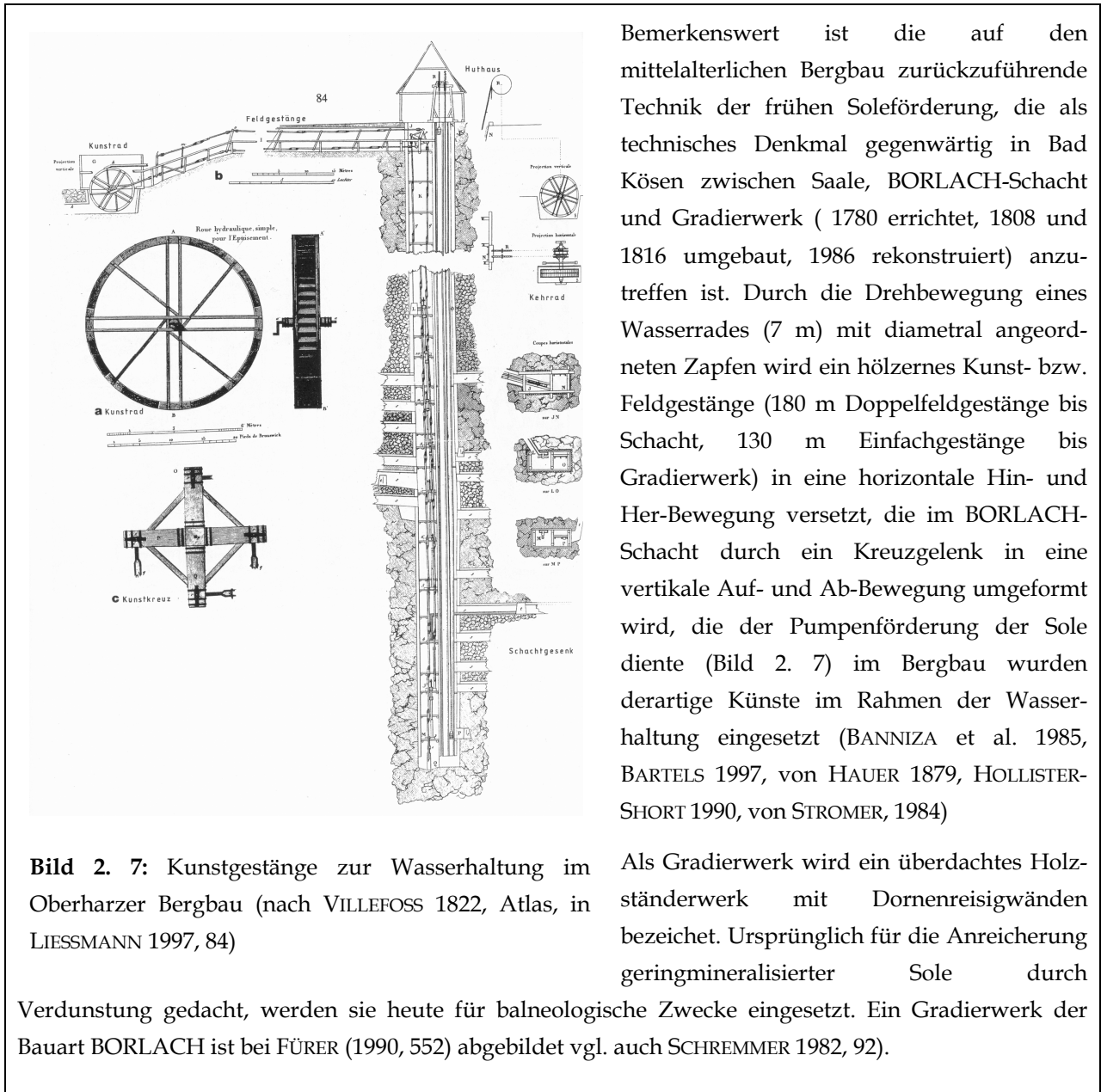


Bild 2. 7: Kunstgestänge zur Wasserhaltung im Oberharzer Bergbau (nach VILLEFOSS 1822, Atlas, in LIESSMANN 1997, 84)

Verdunstung gedacht, werden sie heute für balneologische Zwecke eingesetzt. Ein Gradierwerk der Bauart BORLACH ist bei FÜRER (1990, 552) abgebildet vgl. auch SCHREMMER 1982, 92).

Bemerkenswert ist die auf den mittelalterlichen Bergbau zurückzuführende Technik der frühen Soleförderung, die als technisches Denkmal gegenwärtig in Bad Kösen zwischen Saale, BORLACH-Schacht und Gradierwerk (1780 errichtet, 1808 und 1816 umgebaut, 1986 rekonstruiert) anzutreffen ist. Durch die Drehbewegung eines Wasserrades (7 m) mit diametral angeordneten Zapfen wird ein hölzernes Kunst- bzw. Feldgestänge (180 m Doppelfeldgestänge bis Schacht, 130 m Einfachgestänge bis Gradierwerk) in eine horizontale Hin- und Her-Bewegung versetzt, die im BORLACH-Schacht durch ein Kreuzgelenk in eine vertikale Auf- und Ab-Bewegung umgeformt wird, die der Pumpenförderung der Sole diente (Bild 2. 7) im Bergbau wurden derartige Künste im Rahmen der Wasserhaltung eingesetzt (BANNIZA et al. 1985, BARTELS 1997, von HAUER 1879, HOLLISTER-SHORT 1990, von STROMER, 1984)

Als Gradierwerk wird ein überdachtes Holzständerwerk mit Dornenreisigwänden bezeichnet. Ursprünglich für die Anreicherung geringmineralisierter Sole durch

Die im Vergleich zur flächennutzenden landwirtschaftlichen Produktion nur punktuell nachweisbare nichtlandwirtschaftliche Produktion kann von ihrer Bedeutung her neben Steinbrüchen (Burgbau, Mülsteingewinnung) auf die Nutzung von Raseneisenerzvorkommen und die Salzproduktion konzentriert werden.

Auf die frühe Salzproduktion (im Exkursionsgebiet) weisen Ortsnamen sowohl vor 900 (Salzungen, Langensalza, Sülzfeld, Salza, Halle, Solz, Sulzbach, Sülzenbrücken) als auch nach 900 (Salzmünde, Sulza, Sollstedt, Sülzingen) hin (GRINGMUTH-DALLMER 1983, 148). Für die ältere Salzgewinnung im Rahmen der Salinenwirtschaft und den später, im 12. Jhd., einsetzenden Kupferschiefer- bzw. Erzbergbau spielte die Energiebereitstellung (Holznutzung als Holzkohle und Wasserspeicherung zur Wasserkraftnutzung) eine immer mehr zunehmende Rolle; mit einer Pionierrolle des Bergbaus wird in den darauf folgenden

Jahrhunderten der Übergang von der Naturraumnutzung zur Naturraumveränderung vollzogen, der die Herausbildung technischer Systeme einschließt.

2 Entwicklung von Speicherbau und Energienutzung

Die bergmännische Wasserwirtschaft ist als Kombination eines teilweise über Jahrhunderte entstandenen technischen Systems von Kunstgräben (als Wasserläufe oder Röschen durch untertunnelte Wasserscheiden benachbarter Einzugsgebiete geführt) und Kunstteichen zur Zuführung zur Speicherung energetisch nutzbaren Aufschlagwassers und von Stollen zur Abführung des genutzten Wassers, einschließlich des zuzitenden Grundwassers im Grubengebäude, zu charakterisieren (DUMREICHER 1886). In Mitteleuropa begann der Ausbau dieser Systeme bereits im 14./ 15. Jahrhundert; die Kunstgrabensysteme können als „...Hochspannungsleitungen“ des ausgehenden Mittelalters, der Renaissance, bis hin zu den Jahrzehnten der beginnenden industriellen Revolution (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1986b, 91) aufgefasst werden. Für Deutschland mag folgende Übersicht derartiger Verbundsysteme dienen:

Tab. 2. 2: Übersicht bergmännischer Wasserwirtschaftssysteme in Erzbergbau-Revieren (vereinfacht nach WAGENBRETH 1996, 41)

Bergbaurevier	Freiberg	Altenberg	Marienberg	Ehrenfried.-df.	Clausthal	Andreasbg.	Ilmenau
Bauzeit	1555-1885	1460-1559	1538-1557	1400-1450 (?)	1528-1864	1529-1737	1590-1717
Länge Kunstgräben (oberird.) [km]	163,4	15	20	6	80,8 (198)	32,6	27
Länge Wasserläufe (unterird.) [km]	29	-	-	-	25,3	-	0,2
Zahl der Kunstteiche	22	1	2	3	67	4	5
Volumen der Kunstteiche [10 ⁶ m ³]	5,7	0,3	0,02	0,06	8,8	1,7	1 (?)
Länge des tiefsten Stollen [km]	28,9	1,9	8,4	2,3	15,2	2	7
Länge der Stollenflügel [km]	22	1,0	8	-	10,3	8	-
Höhenlage Kunstgraben a [m NN]	585	865	780	610	805	725	620
Höhenlage Stollenmundloch [m NN]	192	575	490	492	180	430	400
Höhendifferenz [m]	393	290	290	118	625	295	220
Relative Höhe [m km ⁻¹]	10	58	15	30	24	27	18
Nutzbare Fallhöhe [m]	250	160	130	110	365	130	120

a Höhenlage, bezogen auf den Anfang des Kunstgraben

Die Wasserkraftgewinnung, erforderlich für die Wasserhebung und Gesteinsförderung, später auch die Personenförderung, erfolgte durch Wasserräder (mit einseitigem Schaufelkranz) bzw. Kehrräder (mit zweiseitig-gegenläufigem Schaufelkranz), die seit dem 16. Jahrhundert (durch H. ESCHENBACH im Erzgebirge entwickelt) mit einer asymmetrisch angeordneten Kurbelwelle mit Hilfe von Kunst- bzw. Feldgestängen (VEITH 1871, 234, 303) und drehbaren Kreuzgelenken eine horizontale und vertikale Kraftübertragung ermöglichten (HOLLISTER-SHORT 1990). Damit war für mehrere Jahrhunderte sowohl die bergmännische

Wasserhaltung als auch die Grubenförderung gesichert. Diese Form der Wasserkraftnutzung (M. SCHMIDT 1996) wurde im 18. Jahrhundert zunächst durch die Einführung der Wassersäulenmaschine (erste Anfänge durch G. WINTERSCHMIDT 1748 im Harz und J. F. MENDE 1767 in Sachsen, verbessert 1820 durch C. F. BRENDEL [1776-1861] in Sachsen und 1830 durch J. K. JORDAN [1789-1861] im Harz) und bereits 1785 durch die erste Dampfmaschine im Mansfelder Revier abgelöst.

Tab. 2. 3: Historische Speicherräume des Bergbaus in Deutschland

Zeitintervall	Oberharz ^a	Unterharz ^d -	Freib. Revier ^g	Erzgebirge ^h -	Thüring. Wald ⁱ	Bergbaureviere einzelkumulativ	
Anzahl der Speicherräume:							
vor 1500	1		2			3	
1500...1600	6	14	8	4		32	
1600...1700	57	12	2	1		72	
1700...1800	12	32	4	3		49	
1800...1850	(68) b	5	3	1	(319)	9	
1850...1900	2			2			
1900...1950	4			4			
(1980)	(66)	(67)	(13)	(11)	(195)		
Gesamt:	76	69	17	11	319	352^j	
Volumina der Speicherräume [10⁶ m³]:							
vor 1500	0,014			0,160		0,174	0,174
1500...1600	0,390	1,070 e	3,243	0,303		5,006	5,180
1600...1700	6,490	0,504	0,119	0,070		7,183	12,363
1700...1800	3,635	2,330	1,709	0,415		8,089	20,452
1800...1850	(8,859)b	0,142	0,623	0,015	(1,732)	2,512	22,964
1850...1900	0,013					0,013	22,977
1900...1950	0,159					0,159	23,136
(1980)	(8,799)	(4,067)f	(4,945)	(0,963)	(0,677)		
Gesamt:	10,529c	4,218	5,694	0,963	1,732	19,451	19,451

- a nach H. HAASE & LAMPE (1985): 1978: 61 funktionsfähige Teiche (Die Oberharzer Wasserwirtschaft, zwischen 1536 und 1866 angelegt und ausgebaut, umfaßte über 120 Teiche, 500 km Gräben und 30 km Wasserläufe (unterirdische Gräben), von denen gegenwärtig noch 65 Teiche, 70 km Gräben und 20 km Wasserläufe existieren; LIESSMANN [1997, 162])
- b nach FLEISCH (1983): 1980: 66 funktionsfähige Teiche mit 10,647x10⁶ m³ Volumen und 65,0 km² künstlich erweitertem Zuflußgebiet
- c nach M. SCHMIDT (1992): 102 Teiche mit 9,198x10⁶ m³ Volumen (nach HARTMANN, A. in ANONYM [1986, 62] wurde insgesamt ein Volumen von c.a. 10 Mio m³ erreicht)
- d nach KRAUSE (1986) (Die Unterharzer Wasserwirtschaft, zwischen 1703 und 1903 angelegt und ausgebaut, umfaßte 36 Teiche mit 47 Gräben und Röschen [unterirdische Gräben], von denen 26 Teiche gegenwärtig noch existieren, die Gräben jedoch funktionslos sind; LIESSMANN [1997, 263])
- e nach SPANGENBERG (1913 und 1916): zuzüglich 2 Iskerodische Teiche, die 1809...1828 aufgelassen worden sind (AURADA 1964, 54/ 55)
- f nach SCHEIBE (1998): 1,749x10⁶ m³ Volumen und 24,6 km² künstlich erweitertes Zuflußgebiet
- g nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1986a, 65-70) und WILSDORF (1964: Freiburger Revierwasserlaufanstalt) sowie REBOHLE (1994)
- h nach WAGENBRETH & WÄCHTLER (1990, 70-71)
- i nach BAUER, HIEKEL & NIEMANN (1964, 76-83): ohne zeitliche Zuordnung
- j nach SPENGLER (1981) existierten im Oberharz 725 (13x10⁶ m³), im Unterharz 319 (1,8x10⁶ m³) und im Gebiet der Freiburger Revierwasserlaufanstalt 44 (7x10⁶ m³) Bergbauteiche, von denen 300 im Oberharz (6,1x10⁶ m³), 252 (0,9x10⁶ m³) im Unterharz und 32 (6x10⁶ m³) im Freiburger Revier noch gegenwärtig existieren.

Vor dem Hintergrund der Turbinenentwicklung (JOHANN ANDREAS VON SEGNER [1704-1777], CARL ANTON HENSCHEL [1780-1861], JAMES BICHENO FRANCIS [1815-1892], LESTER ALLAN PELTON [1829-1908], VICTOR KAPLAN [1876-1934]) setzte seit etwa 1825 (WAGENBRETH 1996, 35) ein rascher Ausbau der Wasserkraftgewinnung ein; 1929 wurde das erste Pumpspeicherwerk der Welt (Niederwartha/ Elbe) in Betrieb genommen. Interessant ist, dass neben dem ältesten auch die nach der Turbinenleistung größten Pumpspeicherwerke in jüngster Zeit in Ost-Deutschland entstanden sind: Markersbach (1 150 MW)

und Goldisthal (1 060 MW). Eine vollständige Übersicht über alle Wasserkraftanlagen mit einer installierten Leistung von über 1 MW findet sich in HEIMERL & GIESECKE (2004, 32-39).

Im Jahr 2000 hat die Energieerzeugung in Deutschland mit Hilfe von Wasser mit 27 962 GWh 4,9 % Anteil an der gesamten, aber 63,1 % Anteil an der Energieerzeugung mit Hilfe regenerativer Energieträger erreicht. Daran sind Laufwasserkraftwerke mit 20 863 GWh (= 74,6 %), Pumpspeicherwerke mit 3 761 GWh (= 13,5 %) und Speicherkraftwerke mit 3 338 GWh (= 11,9 %) beteiligt; das Gesamtpotential wird für Deutschland mit ca. 25 TWh a⁻¹ angegeben (MEURER 2000, 217). Die Abhängigkeit der Energieerzeugung durch Wasserkraft von den nutzbaren Wasserressourcen ergibt sich aus dem Vergleich des relativ trockenen Sommerhalbjahrs 2003 (24 300 GWh) mit einer verminderten Stromerzeugung von regional 10-20 % unter den Werten von 2002 (27 256 GWh).

Die natürliche Variabilität des Wasserdargebots in Deutschland wird durch Maßnahmen des passiven (9 945 km Deiche) und aktiven Hochwasserschutzes (440 Speicherräume mit >0,3 x10⁶ m³ Inhalt) beeinflusst. Durch die Bewirtschaftung von Talsperren ist im Verlauf des Gewässerlängsschnitts sowohl eine Hochwasser- als auch Niedrigwasserregulierung möglich.

Hochwasserschutzmaßnahmen, insbesondere an den großen Gewässern Deutschlands, haben eine lange historische Tradition (MENDEL, FISCHER & HERRMANN 1997). Waren es zunächst, dem damaligen wasserbaulichen Stand entsprechend, Maßnahmen des passiven Hochwasserschutzes (Deichbau), traten später Maßnahmen des aktiven Hochwasserschutzes (Speicherbau) hinzu.

Der passive Hochwasserschutz führte neben dem Bau von Seedeichen an der Nord- und Ostseeküste, beginnend etwa 1100, seit dem 14. Jahrhundert zu einem in der Gegenwart vorhandenen Deichsystem an den großen Strömen (ECKOLDT 1998). Mit dem Ausbau der Deichsysteme wird einerseits die schadlose Hochwasserabführung angestrebt, andererseits führt die Einengung des HW-Durchflußprofils zur Scheitelaufhöhung, die durch eine zunehmende Überbauung der potentiellen Überschwemmungsgebiete (bereits das Preußische Wassergesetz vom 16.08.1905 enthielt die Verpflichtung zur Freihaltung der natürlichen Überschwemmungsgebiete !) noch verstärkt werden kann.

Der aktive Hochwasserschutz, unter dem die technisch gesteuerte HW-Rückhaltung durch Speicherräume verstanden wird, hat zwar historische Wurzeln (vgl. GARBRECHT 1987, 1991) in Speicheranlagen der bergmännischen Wasserwirtschaft, doch ist die gezielte HW-Beeinflussung erst später, im nennenswerten Umfang seit dem letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts, dann allerdings rasch zunehmend, festzustellen. Dabei spielen sowohl die Häufung größerer Hochwässer in Deutschland seit etwa 1880 als auch die Möglichkeiten der elektrischen Energieerzeugung und ihrer Fernübertragung seit 1891 eine begünstigende Rolle. Dadurch ist eine Kombination sowohl hochwasserrückhaltender als auch energieerzeugender Speicheranlagen präferiert worden, die aber unterschiedlich (gegensätzlich) zu optimierende Bewirtschaftungsstrategien verlangen (AURADA & RÖDEL 2000).

Tab. 2. 4: Entwicklung des Speicherraubaus in Deutschland (Volumen > 0,3 x 10⁶ m³)
(berechnet nach LAWA 1998)

Zeitraum	Donau	Rhein	Maas	Ems	Weser	Elbe	D e u t s c h l a n d		Einz.-gebiet [10 ⁶ km ²]	
							(gesamt)	(kumulativ) ^a	(kumulativ) ^a	(integrativ) ^b
Zahl der Speicherräume:										
Vor 1300					1		1	1	0,00	0,00
1301-1400								1	0,00	0,00
1401-1500						2	2	3	0,26	0,26
1501-1600						4	4	7	0,28	0,28
1601-1700		4			3		7	14	0,32	0,31
1701-1800					5	2	7	21	0,34	0,33
1801-1850						2	2	23	0,39	0,38
Ablösung des historischen Speicherraubaus durch einen modernen Speicherraubau										
1891-1900		6				1	7	30	0,42	0,41
1901-1910		11	1			4	16	46	1,00	0,99
1911-1920	1	6	1		1	3	12	58	4,50	4,48
1921-1930	7	6		1	1	5	20	78	29,05	22,12
1931-1940	1	9	4		3	11	28	106	45,34	16,19
1941-1950		9			1	3	13	119	54,93	26,79
1951-1960	11	22	2	4	2	14	55	174	68,80	35,04
1961-1970	18	32		2	6	17	75	249	82,15	43,96
1971-1980	18	43		4	8	31	104	353	103,25	58,47
1981-1990	3	30	1	3	9	17	63	416	114,52	66,80
nach 1991 ^c	1	10		1	3	7	22	438	118,89	70,53
(ohne Jahr)	2								118,98	70,62
Gesamt:	62	188	9	15	43	123	440	118,98	70,62	
Volumenentwicklung der Speicherräume [10⁶ m³]:										
(integrativ) ^b (HW-Raum)										
vor 1300					0,31		0,31	0,31	0,31	0,08
1301-1400								0,31	0,31	0,08
1401-1500						3,10	3,10	3,41	3,41	0,08
1501-1600						3,40	3,40	6,81	6,81	0,08
1601-1700		5,30			1,52		6,82	13,63	12,93	0,28
1701-1800					3,36	1,50	4,86	18,49	17,09	0,28
1801-1850						3,90	3,90	22,39	20,99	0,28
Ablösung des historischen Speicherraubaus durch einen modernen Speicherraubau										
1891-1900		5,42				0,30	5,72	28,11	26,71	0,28
1901-1910		35,20	45,50			8,02	88,72	116,83	115,43	20,32
1911-1920	3,50	154,75	3,67		202,40	28,10	392,42	509,25	504,95	85,02
1921-1930 ^d	21,00	58,75		5,20	20,05	26,10	131,10	640,35	643,95	113,54
1931-1940	3,50	220,25	207,56		62,91	284,09	778,31	1 418,66	975,56	200,87
1941-1950		14,45			13,27	189,27	216,99	1 635,65	1 191,75	217,68
1951-1960	296,30	173,11	20,06	5,23	63,55	153,59	711,84	2 347,49	1 712,85	361,64
1961-1970	57,10	219,38		0,73	74,29	216,99	568,49	2 915,98	2 061,25	571,81
1971-1980	72,85	136,68		6,13	50,29	360,80	626,75	3 542,73	2 505,81	742,95
1981-1990	50,50	217,39	25,06	61,80	27,33	97,98	480,06	4 022,79	2 766,30	874,26
nach 1991 ^c	7,60	174,44		0,46	40,48	82,41	305,39	4 328,18	3 044,50	954,53
(ohne Jahr)	1,44							4 329,62	3 045,94	955,97
Gesamt:	513,79	1 415,12	301,85	79,55	559,76	1 459,55	4 329,62	955,97	955,97	971,97^e
(integrativ):	381,04	913,26	75,88	35,64	516,45	1 123,67		3 045,94		

a oberhalb von Speicherräumen bzw. TS-Volumina ohne Berücksichtigung der hydrographischen Struktur

b oberhalb von Speicherräumen bzw. TS-Volumina unter Berücksichtigung der hydrographischen Struktur

c einschließlich PSW Goldisthal (am 04.02.2003 in Betrieb)

d ab diesem Zeitraum unter Einschluss von Hochwasserrückhaltebecken (HRB)

 e Erhöhung des HW-Schutzraumes bestehender Anlagen um 16 x 10⁶ m³ im Ergebnis des HW 2002 im Freistaat Sachsen

Der moderne Talsperrenbau in Mitteleuropa seit dem letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts ist (seit 1891 wird von einer „Neuzeit“ des deutschen Talsperrenbaus gesprochen [GIESECKE, GLASEBACH & MÜLLER 2002, 12]), der heutigen Entscheidungssituation vergleichbar, zunächst als Antwort auf die scheinbare Häufung katastrophaler Hochwässer (MUDELSEE ET

AL. 2003) Ende des 19. Jahrhundert konzipiert worden und führte in Deutschland 1890-1910 rasch zu einer Zunahme des Talsperrenspeicherraumes um ca. $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ Volumen (1896-1912).

Die Abflussbildungsfläche Deutschlands, unter Vernachlässigung der Watt- und Ästuarflächen im Bereich der Nordseeküste (= $2\,707,2 \text{ km}^2$) und der Bodden- und Haffgebiete der Ostseeküste (= $1\,584,2 \text{ km}^2$) mit $353,3 \times 10^3 \text{ km}^2$ berechnet, umfasst gegenwärtig 20,0 % Einzugsgebiete von Speicherräumen; bereits 1960 werden mit $35,04 \times 10^3 \text{ km}^2$ Einzugsgebietsfläche von Speicherräumen fast 10 % der Abflussbildungsfläche Deutschlands in gewissem Umfang regulierbar (AURADA 2005). Ohne Berücksichtigung der Integration späterer TS-Bauten in Einzugsgebietsflächen schon jeweils existierender, früher errichteter, Speicher nehmen die indirekt steuerbaren Flächen von $0,39 \times 10^3 \text{ km}^2$ (= 0,11 % im Jahr 1850) auf gegenwärtig $118,98 \times 10^3 \text{ km}^2$ (= 33,7 % der Abflussbildungsfläche) zu. Selbst wenn man später errichtete Speicherräume in Einzugsgebietsflächen älterer Speicherräume berücksichtigt, nehmen die indirekt steuerbaren Flächen gegenwärtig $70,62 \times 10^3 \text{ km}^2$ (= 20,0 % der Abflussbildungsfläche) ein (AURADA 2005).

Mit der Einbeziehung der Energieerzeugung durch Wasserkraft (Turbinen) und die Möglichkeit ihrer Fernübertragung (1891) bzw. ihrer Speicherung in Speicherbecken, die gegenüber ihren mittelalterlichen (Wasserrad und Feld- bzw. Kunstgestänge) und neuzeitlichen Vorläufern (Dampfmaschine und Transmissionsriemen) durch eine höhere Standortvariabilität innovativ wirkte, wurden aber auch gleichzeitig zwei konkurrierende Strategien in die Bewirtschaftungsmöglichkeit des aufgestauten Wasserköpers integriert: Nutzraum versus Schutzraum. Die Wasserkraftnutzung verlangt nach einem möglichst gefüllten Stauraum, um effektiv Energie erzeugen, der Hochwasserschutz erfordert einen möglichst entleerten Speicherraum, um Spitzenabflüsse effektiv zurückhalten zu können; beide Systemzustände sind aus sowohl ökologischen (Durchlassfähigkeit des Unterlaufes des Gewässers) als auch technischen Gründen (Durchlassfähigkeit der Grundablässe der Talsperre) kurzfristig nicht ineinander zu überführen.

Neben der Abgabecharakteristik des Verbundsystems Naturspeicher/ Speicherraum in Form von Höchstabgaben oder Mindestabgaben ist die durch Wasserstände und Durchflüsse zu beschreibende Durchlassfähigkeit im Vorteilsgebiet zu berücksichtigen, die insbesondere an schiffbaren Gewässern durch Ausbauarbeiten zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse beeinflusst worden ist. Obwohl die Wasserbewirtschaftung nur unter diesen Voraussetzungen erfolgreich sein kann und die Steuerung von Talsperrensystemen bzw. von Flusseinzugsgebieten seit den 40er Jahren bekannt ist und seit den 60er Jahren praktiziert wird, ist in Deutschland die Bewirtschaftung von derartigen Verbundsystemen bisher nur vereinzelt realisiert worden, wie z.B. im Saale-Gebiet (für $12\,080 \text{ km}^2$, AURADA 1972; AURADA ET AL. 1976) und im Ruhr-Gebiet (für $4\,420 \text{ km}^2$, MORGENSCHWEIS 1997). Vor diesem

Hintergrund besitzt auch das moderne Flussgebietsmanagement einen historischen Hintergrund.

SPEZIAL: Das Saaletalsperrensystem

Die Talsperren im Bereich der Oberen Saale wurden im Zuge der Realisierung des Südflügels des Mittellandkanals errichtet; die Bleiloch-Talsperre, als größte Talsperre Deutschlands, wurde am 03.03.1932, die Hohenwarte-Talsperre am 03.11.1941 in Betrieb genommen; der Gesamtausbaugrad der Oberen Saale entspricht 87 %.

Tab. 2. 5: Einordnung der Speicherräume im Saale- und Weser-Gebiet in die Rahmenbedingungen des Mittellandkanals (nach Reichsverkehrsministerium 1938, 26/27, ergänzt nach ZÜHLKE 1973)

Kriterien	Rhein-Herne-Kanal	Dortmund-Ems-Kanal	Ems-Weser-Kanal	Weser-Elbe-Kanal	Elbe-Havel-Kanal a
von bis	Duisburg Herne	Herne Bergeshövede	Bergeshövede Minden	Minden Magdeburg	Niegripp Wusterwitz
Länge [km]	48,9	108,6	101,6	223,5	52,5
Höhe von [m NN]	22,65	56,50	50,30	50,30 (65,00)	56,00
bis [m NN]	56,50	50,30 b	(1938 in Betr.)	56,00 c	27,98
Höhe [m NN]			42,20	36,15	41,00
Einbindung			Bervergern	Minden/Weser	Rothensee/Elbe
Gewässersystem			Ems	Fulda/Werra	Saale/Unstrut

(Südflügel Kanal) d

Zuschusswasserzweck	Kanalspeisung e	NW-Aufhöhung Elbe f
Zuschusswasserabgabe [$10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$]	137,7	350,0
Speichereinrichtungen (Fertigst.)	TS Diemel (1923) TS Eder (1914)	TS Hohenwarte (1941) TS Bleiloch (1932)
Speichervolumen [10^6 m^3]	222,9	397,0
Jahreszufluss [$10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$]	672,1	394,2-516,6

a Der eigentliche Mittellandkanal schloß die Lücke zwischen dem Dortmund-Ems-Kanal (1892-1899) und dem Elbe-Havel-Kanal, der den Ihle-Kanal (1865-1872) und den Plauer Kanal (1743-1745) einschloß.

b westliche Scheitelwasserhaltung

c östliche Scheitelwasserhaltung der Variante "Mittellinie": Die 1920 getroffene Entscheidung erfolgte zwischen den Varianten: Nordlinie 151,4 km, 55,00 m NN, Mittellinie 154,9 (161,0) km, 56,00 mNN, Südlinie 153,2 km, 79,00 m NN.

d Der ebenfalls bereits 1920 beschlossene Südflügel des Mittellandkanals umfaßte folgende Teile, die wegen des Krieges unvollendet geblieben sind:

Elberegulierung (Saalemündung bis Niegripp/ Elbe):	50,7 km
Saalekanalisierung (Mündung bis Bernburg):	30,0 km
Anschlusskanal Bernburg-Staßfurt-Leopoldshall:	11,2 km
Saalekanalisierung (Bernburg bis Halle [Kreypau]):	77,5 km
Elster-Saale-Kanal (Kreypau bis Leipzig):	20,0 km
Saaletalsperrensystem (TS Bleiloch und Hohenwarte)	

e Wassereinspeisung ($1,65 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) durch ein Pumpwerk (36,2-50,3 m NN); anfangs aus Harz-TS ab Rintelen mit 5 km Tunnel (Wesergebirge) vorgesehen.

f Niedrigwasseraufhöhung für die Elbe (Saalemündung bis Niegripp) zur Anhebung der Mindesttiefe von 1,60-1,65 m auf eine Tauchtiefe 2,05-2,20 m durch $10,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Bemessungsgrundlage waren die Wasserstände [m NN] Rothensee Niegripp Parey:

HHW (18.02.1941)	45,27	43,83	38,97
MW	41,00	39,18	33,75
NNW	37,83	36,06	32,20

Die Verkürzung der Elbstrecke Magdeburg-Hohenwarte von 24 auf 12 km war bereits 1785-1789 erfolgt (ZÜHLKE 1973, 169). Das Wasserstraßenkreuz mit der Kanalbrücke (918 m), der Schleusenanlage Rothensee und der Doppelschleuse Hohenwarte ist am 10.10.2003 in Betrieb genommen worden.

Dem Niedrigwasserausbau der Saale (seit 1921 Reichs- und seit 1990 Bundeswasserstraße) waren für die Durchführung der Saale-Schiffahrt mit 1 000 t-Schiffen folgende Mindestwassermengen zugrunde gelegt worden (REIMANN & SEIERT 2001,13): $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ am Abzweig des Leipziger Kanals bei Merseburg, $21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ unterhalb der Mündung der Weißen Elster, $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ unterhalb der Mündung der Bode.

Das Katastrophenhochwasser 1890 hat die Vorbereitung der Planung des Saaletalsperrensystems maßgeblich beeinflusst. Aufbauend auf einem Vorhaben LUXENBERGs (1903), der eine Talsperre Neidenberga ($47 \times 10^6 \text{ m}^3$) vorgeschlagen hatte, forderte die Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde (Drucksache 960/ 06) am 21.06.1906 sowohl eine größere Talsperre Neidenberga ($99,3 \times 10^6 \text{ m}^3$) als auch eine Talsperre Hohenwarte ($169 \times 10^6 \text{ m}^3$). Trotz Vorarbeiten SCHADEs (1910-1912) kam die Planung durch den I. Weltkrieg zum Erliegen. Nach abgeänderten Vorschlägen der CARL ZEISS-Stiftung in Jena von zunächst (1917) 3 Talsperren (Neidenberga, Ziegenrück, Saalburg) rückten sowohl die Talsperre Bleiloch (ZEISS-Stiftung 1918: Energiegewinnung) als auch die Talsperre Hohenwarte (Preußische Regierung 1918: Niedrigwasseraufhöhung Elbe im Zusammenhang mit dem Bau des Mittellandkanals) in den Mittelpunkt des Interesses (MITTELSDORF 1990).

Nach zahlreichen Änderungsvorschlägen in den Jahren 1920-1925 wurde 1926 mit dem Bau der Bleiloch-Talsperre begonnen. Als Bemessungsgrundlage wurden die Hochwasserabflüsse 1890 (Standort Bleiloch: $655 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; Standort Hohenwarte: $800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) gewählt. Dem Talsperrenbau mußten 187 Haushaltungen mit 700 Einwohnern (Bleiloch) bzw. 44 Haushaltungen mit 250 Einwohnern (Hohenwarte) weichen; er stieß demzufolge auf eine öffentliche Ablehnung. Interessant ist, dass bereits 1928 ein Pumpspeicherwerk Amalienhöhe, das spätere PSW Hohenwarte II (1963), ins Auge gefaßt worden ist (GÜNTER 1930).

Tab. 2. 6: Technische Angaben zu den Steuereinrichtungen (Durchflussteuerung) im Saale-Gebiet (nach Talsperrenverwaltung Thüringen 1993)

Parameter	Saaletalsperrensystem (Saale-Gebiet)						Unstrut-Gebiet		
	TS Blei- loch	AB Burgk- hammer	TS Wisenta ab	TS Wals- burg	TS Hoh.- warte	OB Hoh.- warte c	AB Eich.	TS Str.- furt	TS Berga- Kelbra
Baubeginn	1926	1930	1933	1938	1935	1956	1942	1952	1962
Bauende	1932	1932	1934	1939	1944	1963	1945	1962	1966
Einzugsgebiet [km ²]	1240	1249	176	1262	1657	0	1665	2037	677
Stauziel [mNN]	410,0	356,0	389,0	339,5	304,4	551,0	244,0	149,8	157,0
Absenkziel [mNN]	398,0	351,5	386,0	336,0	285,0	537,0	236,5	142,4	151,2
Gesamt-Inhalt [10^6 m^3]	217,7	6,4	1,0	2,5	187,0	3,3	5,2	26,0	35,6d
Nutzinhalt [10^6 m^3]	215,0	3,1	0,9	1,4	182,0	3,0	4,5	19,2	6,0
Inst.Leistung [MW]	80,0	2,2	3,8	-	62,8	320,0	2,1	-	-
Energieerzeug. [GWh]	67	7,3	13,5	-	69,7	435,4	7,1	-	-

TS Talsperre

AB Ausgleichsbecken (Unterbecken)

OB Oberbecken

a Seit 1981 existiert aus dem $175,7 \text{ km}^2$ großen Wisenta-Gebiet eine Überleitung aus dem Gebiet der Oberen Saale in das Weida-Gebiet der benachbarten Weißen Elster. Sie erfolgt durch einen $2,3 \text{ km}$ langen Stollen (Kapazität: $7,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) aus der 1984 fertiggestellten Talsperre Lössau/ Wisenta (SCHMIDT, SCHWARTZE & WALOTKA 1988, 38/ 39).

b Nutzung als Speicherkraftwerk seit 1992

c zugleich Unterbecken PSW Hohenwarte II

d Dauerstauanteil bei $147,8 \text{ m NN}$

Bei dem in den Jahren 1926-1945 erbauten und in den Jahren 1956-1963 um das Pumpspeicherwerk Hohenwarte II ergänzten Talsperrensystem der Oberen Saale handelt es sich um eine Mehrzweckanlage.

Mit einem Gesamtvolumen von $494,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ und einem nutzbaren Inhalt von $348,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ dient sie der Elektroenergieerzeugung, der Niedrigwasseraufhöhung (Brauchwasserversorgung, Tauchtiefengewährleistung, Salzlaststeuerung) und dem Hochwasserschutz (HWSchutzraum Sommerhalbjahr: $25 \times 10^6 \text{ m}^3$, Winterhalbjahr: $40 \times 10^6 \text{ m}^3$, zuzüglich des Wasseräquivalents einer im Einzugsgebiet vorhandenen Schneedecke).

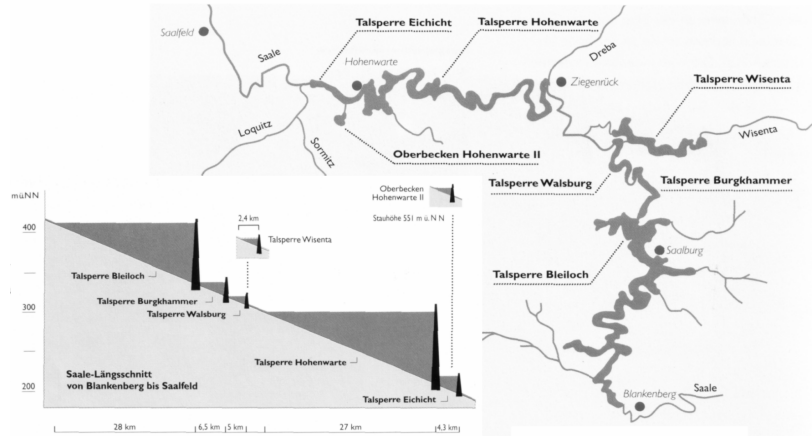


Bild 2. 8: Lageplan und Längsschnitt des Saale-Talsperrensystems an der oberen Saale (nach Vattenfall Generation Europe)

In der Kaskade sind 13,1 (13,8) MW (Grundlastkapazität) und 403,3 (1 463,3) MW (Spitzenlastkapazität) installiert, die jährlich 685 GWh erbringen, wobei das normale Absenkeziel, einem Inhalt von $210,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ entsprechend, nicht unterschritten werden darf. Für den Zweck der Salzlaststeuerung wurde durchschnittlich eine Speicherlamelle von etwa $80 \times 10^6 \text{ m}^3$ benötigt. Für den Hochwasserschutz erlangte zwischenzeitlich (1998) auch die Talsperre Leibis/ Schwarza ($45,8 \times 10^6 \text{ m}^3$) überregionale Bedeutung.

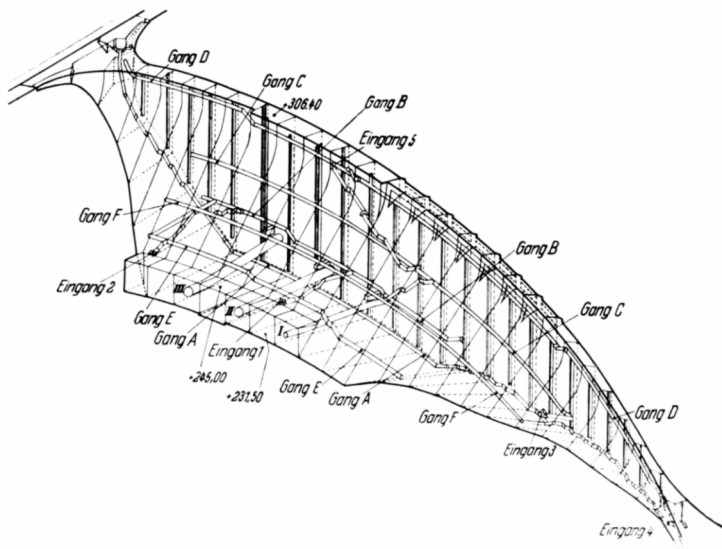


Bild 2. 9: Isometrische Darstellung der Staumauer der Hohenwarthe-Talsperre, in der sich auch die Exkursionsgruppen bewegten (nach PRESS 1958, 29)

Während das in den Jahren 1952-1959 erbaute Rückhaltebecken Straußfurt (Unstrut-Saale) mit einem Gesamtvolumen von $26,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ dem Rückhalt von Hochwässern des oberen Unstrutgebietes dient, besitzt die in den Jahren 1962-1969 mit einem Gesamtvolumen von $35,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ errichtete Talsperre Berga-Kelbra (Helme-Unstrut-Saale) neben der Hochwasserschutzfunktion einen landwirtschaftlich genutzten Dauerstauanteil von $12 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Sowohl die historisch entstandene räumliche Verteilung dieser technischen Steuereinrichtungen mit ihrer Lage mit Bezug auf die Steuerstrecke der mittleren Saale, als auch die davon abhängigen zeitlichen Beziehungen der Früherkennung von Störimpulsen (Hochwasserabflüsse und Salzabwassereinleitungen) und Steuerimpulsen (Wasserrückhaltung im Hochwasserfall, Verdünnungswasserabgabe im Einleitungsfall) repräsentieren eine vorgegebene Raum-Zeit-Struktur. Der zum Ausgleich zwischen räumlich und zeitlich variierenden Nutzungs- und Dargebotsbedingungen erforderliche Pufferungseffekt schließt mit einem

- Aufhöhungseffekt die Verminderung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Niedrigwasserereignissen und zugleich die Erhöhung des Versorgungspotenzials,
- Dämpfungseffekt die Verminderung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen und zugleich die Verringerung des Gefährdungspotenzials

ein. Beide Effekte nehmen flussabwärts in Abhängigkeit von der nicht bewirtschaftbaren Einzugsgebietsfläche relativ schnell ab.

Die flussabwärts abnehmende Speicherbeeinflussung kann durch vergleichende Betrachtung transformierter (speicherwirtschaftlich beeinflusster) Dauerlinien mit unbeeinflussten Dauerlinien ermittelt werden (DYCK & SCHRAMM 1968). Mit Hilfe statistischer Jahres-HQ-Werte ist ein Dämpfungseffekt von Hochwasserereignissen und mit Hilfe minimaler Monats-MQ-Werte ein Aufhöhungseffekt von Niedrigwasserereignissen, jeweils als Quotienten gleichwahrscheinlicher Ereignisse ermittelt worden:

Tab. 2. 7: Ergebnisse der Abflusssteuerung durch die Speicherbewirtschaftung des Saaletalsperrensystems (HW-Dämpfungs- und NW-Aufhöhungseffekt)

Wiederkehrsintervall (n Jahre)	Eintrittswahrscheinlichkeit [%]	speicherbeeinflusste Messstationen im Saale-Längsschnitt				
		Kaulsdorf-Eichicht 1665 km ²	Camburg-Stöben 3977 km ²	Naumburg-Grochlitz 11449 km ²	Halle-Trotha UP 17979 km ²	Calbe-Grizehne 23687 km ²
HW-Dämpfungseffekt a		<u>a b n e h m e n d</u> ⇔				
2	50	0,31	0,44	0,78	0,94	0,97
5	20	0,29	0,46	0,95		
10	10	0,28	0,47			
20	5	0,27	0,48			
50	2	0,26	0,49			
100	1	0,25	0,50			
NW-Aufhöhungseffekt b		<u>a b n e h m e n d</u> ⇔				
2	50			1,25	1,28	1,18
5	20			1,27	1,33	1,19
10	10		nicht untersucht	1,32	1,32	1,20
20	5			1,35	1,34	1,21
50	2			1,36	1,36	1,24
100	1			1,37	1,37	1,24

$$a \text{ HW-Dämpfungseffekt: } D = \frac{HQ_{(1942-67) \text{ [beeinflusst]}}}{HQ_{(1906-31) \text{ [unbeeinflusst]}}} \quad (\text{nach KLEWE 1968, unveröff.})$$

$$b \text{ NW-Aufhöhungseffekt: } A = \frac{NQ_{(1942-65) \text{ [beeinflusst]}}}{NQ_{(1908-31) \text{ [unbeeinflusst]}}} \quad (\text{nach HERMS 1969, unveröff.})$$

KAPITEL III

NATURRAUMVERÄNDERUNG

Das Exkursionsgebiet hat, neben dem Erzbergbau in den Hochschollenbereichen, durch den Kupferschieferbergbau und den historisch bedeutend jüngeren Kalibergbau in den Tiefschollenbereichen intensive und teilweise irreversible Naturraumveränderungen erfahren.

1 Kupferschieferbergbau (Mansfelder Revier)

Vereinfacht kann die geologisch-tektonische Situation im Thüringer Becken, einschließlich der Mansfelder und Sangerhäuser Mulden, durch einen flachwelligen Faltenbau des Suprasalinars mit zahlreichen NW-SE-streichenden Sätteln und Mulden sowie herzynisch streichenden Störungszonen, die als Lineamente deutlich äquidistant vergittert sind, gekennzeichnet werden (JUNG 1965).

Die Kupfererzlagerstätte des Mansfelder Reviers mit den Lagerstätten Mansfeld und Sangerhausen liegt im Kreuzungsbereich der variskischen Suturzonen der Saxothuringischen Zone (Mittleuropäische Kristallinzone) und der Rhenoherynischen Zone (Nördliche Phyllitzone) mit dem NNE-SSW streichenden Rheinsberg-Lineament am Südrand des Zechsteinbeckens. Die an der Basis des mitteleuropäischen Zechstein liegende Kupfererzlagerstätte weist als Bestandteil des bogenförmig von SW-NE bis WNW-ESE verlaufenden, streifenförmigen Mitteleuropäischen Kupfergürtels ($> 600\,000\text{ km}^2$, davon $159\,000\text{ km}^2$ auf deutschem Territorium) einen mittleren Cu-Gehalt von $18,4\text{ kg m}^{-2}$ und maximale Cu-Gehalte von $\sim 100\text{ kg m}^{-2}$ auf (RENTZSCH & FRANZKE 1997, Anonym 1999).

Die Gesamtmetallmenge der Kupferschieferlagerstätte mit einer Flächenausdehnung von 200 km^2 wurde mit $3\,752\text{ kt Cu}$ (Mansfelder Mulde $2\,211\text{ kt}$, Sangerhäuser Mulde $1\,541\text{ kt}$) berechnet. Der Gesamterzgehalt wird mit $5\,335\,500\text{ t}$ angegeben (HARTWIG, KNITZSCHKE & KUYUMCU (1999, 27). Das zwischen $0,30$ und bis $0,40\text{ m}$ mächtige, aus bituminösen, sulfidführenden Mergelschiefer bestehende Kupferschieferflöz (T1) der Mansfelder Lagerstätte fällt vom Ausgehenden im N (Halle-Hettstedter Sattel), im W (Unterharz) und im SW (Hornburger Sattel) zum Muldeninneren bis zu Teufen von -750 bis -800 m NN ein. Durch tektonische Störungen wird dieses generelle Schichteneinfallen modifiziert (JUNG 1965; JUNG & LIEBISCH 1966).

Tab. 3. 1: Metall- und Produktionsbilanz der Kupferschieferlagerstätte des Mansfelder Reviers (verändert nach KNITZSCHKE 1995, 274-280; Anonym 1999, 182, Anlage 19b)

Lagerstättenrevier	Mansfelder Mulde		Sangerhäuser Mulde		Gesamtgebiet	
	Erz (kt)	Kupfer (kt)	Erz (kt)	Kupfer (kt)	Erz (kt)	Kupfer (kt)
Zeitraum						
1200...1699	6800	200	200	5	7000	205
1700...1749	420	12,5	60	1,5	480	14
1750...1799	1070	32	90	2,1	1160	34,1
1800...1849	1020	30,8	270	6,4	1290	37,2
1850...1899	14140	450,5	240	5,8	14380	456,3
1900...1950	41110	1064,1	-	-	41110	1064,1
1951...1990	16200	219,9	27280	598,4	43480	818,3
1200...1990(kt)	80760	2009,8	28140	619,2	108900	2629
1200...1990(%)	74,2	76,4	25,8	23,6	100,0	100,0

Die Lagerungsverhältnisse des Flözes boten wegen des anfangs ohne wesentlichen technologischen Aufwand möglichen Abbaus bereits im Neolithikum Gewinnungsmöglichkeiten. 1346 war das Kupferschieferflöz im ganzen Verlauf des Ausgehenden bekannt (KNITZSCHKE 1995). Nach der (Wieder-) Aufnahme des Bergbaus vor 1233 erreichte der vom Zechsteinausstrich (ca. 300 m NN) ausgehende Abbaustreifen bis 1400 eine Breite von ca. 100 m. Trotz einer Blütezeit des Bergbaus im 14. und 15. Jhdt. konnte, bedingt durch finanzielle Schwierigkeiten und Auswirkungen des Dreißigjährigen Krieges, u.a. wegen fehlender Vorsorge zur Wasserlösung der Grubenbaue bis 1698, der Abbaustreifen bis 1870 nur auf ca. 700 m erweitert werden, das entsprach einer Abbaufäche von 32 km². Nach einer erneuten Krise in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand 1852 durch die Produktionskonzentration zur "Mansfeld'schen Kupferschieferbauenden Gewerkschaft" das größte Industrieunternehmen Mitteldeutschlands. In die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts fällt das Entstehen größerer Tiefbauanlagen.

Das Grubengebäude wurde vom N, W und SW auch unterhalb des Schlüssel-Stollen-Niveaus (74,8 m NN) aufgefahren (die Unterfahrung des jeweiligen Stollenentwässerungsniveaus erfolgte in der Mansfelder Mulde seit 1864 und in der Sangerhäuser Mulde seit 1875; Anonym 1999, 54). Bis 1914 wurde die Abbaufäche um 66 km², bis 1930 um 29 km² erweitert. 1921 erfolgte die Konzernbildung zur "Mansfeld AG"; bis 1945 hatte die Abbaufäche um 17 km² zugenommen. 1951 wurde der VEB Mansfeld-Kombinat "Wilhelm Pieck" gegründet. 1970 wurde der Kupferschieferbergbau in der Mansfelder Mulde aufgelassen, die Abbaufäche hatte um weitere 20 km² zugenommen; insgesamt waren 750 km Strecken aufgefahren worden. Gleichzeitig wurde der Bergbau in der Sangerhäuser Mulde, der 1885 zunächst aufgelassen, 1944 jedoch mit dem Abteufen der Schächte Sangerhausen (1952) und Niederröblingen (1952) wieder aufgenommen worden war, intensiviert. Nach erhöhten untertägigen Zuflüssen aus dem Bereich der Talsperre Berga-Kelbra seit 1983 kam der Bergbau in der Sangerhäuser Mulde 1990 ebenfalls zum Erliegen; hier waren insgesamt 250 km Strecken aufgefahren worden.

Tab. 3. 2: Wichtige Schachtanlagen in der Mansfelder und Sangerhäuser Lagerstätte des Mansfeld-Reviers (nach HARTWIG, KNITZSCKE & KUYUMCU 1999, 31; ergänzt nach LÖFFLER 1962, MIRSCH 1995, BERGBAUMUSEUM 1996, Anonym 1999 und HARTMANN et al. 2003, 115)

Schachtanlage	Neubenennung	Zahl d. Schachtanlagen	Abteufung von bis	Füllort	Endteufe (m)	Prod.-zeitraum	Verwahrung	System der Grubenwasserhaltung
Mansfelder Lagerstätte								
Theodor	(1.Schachtreihe [Auswahl])		1873 1878	S-St.	178	1878-1898		
Hövel			1861 1866	S-St.	138	1865-1899		
Sander			1845 1861	S-St.	169	1861-1894		
Martins			1837 1840	S-St	124	1840-1909		
Glückhilf	(2. Schachtreihe)	3	1872 1877	3. TS	327	1877-1909		
Niewandt		2	1866 1892	5. TS	459	1892-1913		W 5. TS-SS
Eduard		2	1864 1868	3. TS	328	1868-1910		
Freiesleben		3	1868 1877	2. TS	259	1877-1917		
Lichtloch 81 F		3	1857 1861	2. TS	300	1861-1888		
Ernst	Walter-Schneider	4	1864 1875	3. TS	365	1875-1924	1966	W 3. TS-SS
Otto		4	1865 1868	4. TS	370	1868-1911		
Zirkel	(3. Schachtreihe)		1891 1895	5. TS	480	1895-1927		
Hohenthal	Hans-Seidel		1887	5. TS	466	1877-1927	1958	W 5.-3. TS
Clotilde	Max-Lademann		1879 1902	4. TS	456	1902-1964	1964	
Hermann		2	1899 1901	5. TS	380	1901-1924		
Paul	Otto-Brosowski		1900 1906	11. TS	830	1906-1969	1969	W 7.-5. TS
Vitzthum	Ernst-Thälmann		1906 1915	10. TS	745	1915-1962	1962	
Wolf	Fortschritt I	a	1906 1909	7. TS	572	1909-1967	1967	
Dittrich	Fortschritt II	a	1907 1910	8. TS	621	1910-1960	1967	
Untersuch.-sch.	Friedeburgerhütte	b	1952 1953		120		1953	
Untersuch.-sch.	Wettin	b	1952 1953		56		1953	
Sangerhäuser Lagerstätte								
Röhrig	(Wettelrode)	d	1871 1878	1. TS	295	1878-1885 1923-1930 1942-		
Sangerhausen	Thomas-Müntzer	b e	1944 1947 1949	5,6,7	52 456			
			1950 1953		686	1951-1990	1993	W 7. TS-SG
Niederröblingen	Bernard-Koenen I	b e f	1952 1956	8. TS	693	1952-1990	1993	
Nienstedt	Bernard-Koenen II	b f	1956 1959 1960 1961	8. TS 10. TS	683 871	1956 1990	1993	1993 (Bohrschacht)
Brücken I (Bohrschacht)		c	1969 1972		552	1991		
Brücken II (Bohrschacht)		c	1969 1975		557	1992		
Mönchpiffel (Bohrschacht)		c	1975 1979		687	1992		
Holdenstedt		c	1986 1988		(311 nicht vollendet)	1992		

Schachtreihen nach EINBECK (1931, 1933) und SCHUBERT (1953 und 1954)

W Schacht der Grubenwasserhaltung (TS: Tiefbausohle, SS: Schlüssel-Stollen, SG: Segen-Gottes-Stollen)

a zeitweise als Wolfshall und Dittrichshall sowie den Schächten Wachler/ Paulshall (1913-1925), Kurt/ Johannashall (1900-1922) und Wils (1908-1922) als Kalischächte abgeteuft bzw. genutzt (LÖFFLER 1962), die 1926 als Kalischächte eingestellt worden sind (1930: stillliegende Schächte).

b bergmännisch 1945-1990 geteufte Schächte nach HARTMANN et al. (2003, 115)

c als Bohrschächte 1945-1990 geteufte Schächte nach HARTMANN et al. (2003, 118)

d als Besucherbergwerk erhalten

e 1961 : Durchschlag zw. den Schachtbaufeldern Münzer und Niederröblingen im Bereich der 6. Tiefbausohle (4,1 km)

f 1959: Durchschlag zwischen den Schächten Niederröblingen und Nienstedt im Bereich der 8. Tiefbausohle (3,4 km)

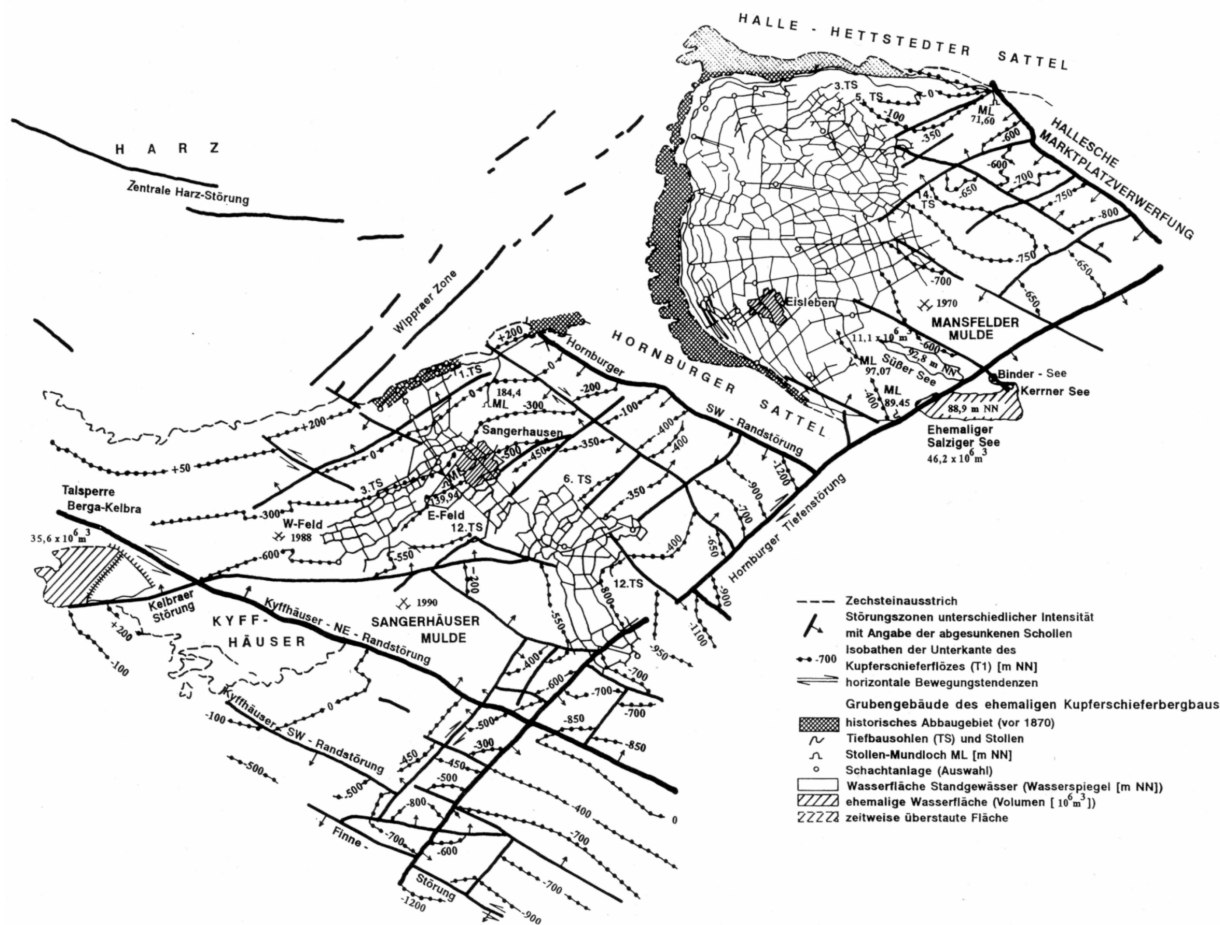


Bild 3. 1: Einordnung der Grubengebäude des Kupferschieferbergbaus in die geologische und tektonische Situation der Mansfelder und Sangerhäuser Mulde (AURADA 1997, 38; Tektonik nach JUNG, 1965, 261)

Tab. 3. 3: Entwicklung der Abbaufächen des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde und Sangerhäuser Mulde

Zeitraum	Abbaufeld Mansfelder Mulde			Abbaufeld Sangerhäuser Mulde		
	[km ²]	[%]	[km ² a ⁻¹]	[km ²]	[%]	[km ² a ⁻¹]
	Historische Abbaufäche			Historische Abbaufäche		
vor 1870	32,00	19,4	0,048	(vor 1850 nicht bekannt)		
1871...1914	66,43	40,4	1,510	(Auffahrung/ Abbau 1.TS) a		
1915...1930	28,93	17,5	1,121	(Erkundung unterhalb 1.TS) b		
1931...1945	17,20	10,4	1,147	(geflutetes Grubengebäude) c		
1946...1960	17,90	10,9	1,193	2,71 d	12,1	0,246
1961...1970	2,36 e	1,4	0,393	9,77	43,6	0,977
1971...1980	a u f g e l a s s e n			8,58	38,3	0,858
1981...1990	a u f g e l a s s e n			(1,34) f	6,0	(0,141)
1991...2000	a u f g e l a s s e n			a u f g e l a s s e n		
gesamt	164,82	100,0	1,342	22,40	100,0	0,546

a 1874...1884 (Röhrig-Schacht)

b 1922...1930 (Röhrig-Schacht)

c 1933...1942

d seit 1950

e Auffassung am 01.07.1970 (9. TS) bzw. 01.07.1970 (Schlüssel-Stollen)

f Auffassung am 10.08.1990

EXKURS:

Aufschluss/ Bergwerk „Lange Wand“ (Ilfeld)

Westlich des bekannten Mansfelder Reviers des Kupferschieferbergbaus (Grubenfelder der Mansfelder und Sangerhäuser Mulde) sind auch am Südharrstrand nördlich und nordöstlich von Nordhausen auf einer Länge von ca. 16 km Relikte des Kupferschieferbergbaus anzutreffen, die den Bergbau seit dem Mittelalter bis ins 19. Jahrhundert belegen. Das westlichste Bergbaugebiet liegt im Südteil des Ilfelder Rotliegendebcken und wird durch die „Lange Wand“, einen etwa 500 m langen und etwa 30 m hohen Steilhang am Fuß des Hasenkopfes, etwa 1 km südlich der Ortsmitte von Ilfeld (Gebäude der Grubensicherung Ilfeld) am südöstlichen Ufer der Bere, markiert. Im dort befindlichen Aufschlußprofil sind über rotliegenden Porphyriten die tiefsten Zechsteinglieder sichtbar.

Es ordnet sich in den Übergang von bis zu 800 m mächtigen, nach S abtauchenden Sediment- und Eruptivserien des Rotliegenden ein, die mit ihrer Überdeckung von Tonen, Mergeln und Salinargesteinen des Zechsteins folgend zur Triasabfolge im Harzvorland überleiten (FEHLING & GROSS 2003).

Gesteinsfolge	Mächtigkeit [m]	Ausbildung der profilbildenden Schichtenfolge
Zechsteinkalk	> 6,30	3,00 Kalkstein, dunkelblaugrau, plattig bis dünnbankig
		1,45 Kalkstein, mergelig, dunkelblaugrau, plattig
		0,45 Mergelkalkstein, schwarzblau, dünnplattig
		1,40 Mergelkalkstein, dunkelblaugrau, schiefrig bis dünnplattig
Kupferschiefer	0,45	0,30 Mergelschiefer, schwarzblau, dünnplattig spaltend
		0,15 Mergelschiefer, schwarzblau, mild, schiefrig spaltend
Zechsteinkonglomerat	0,70	0,70 Sandstein, mittel- bis grob-, z.T. auch feinkörnig, geröllführend, grau bis gelblichgrau

(nach POHL, GARLEB & REINBOTH 1994, 12)

Als unterste Einheit steht der Porphyrit des Ilfelder Rotliegenden an, ein Ergebnis vulkanischer Tätigkeit, die einen bis zu 300 m mächtigen und über 50 km² großen Deckenerguß hinterließ. Seine terrestrische Oberfläche bildete bis zum Beginn der Zechstein-Transgression die permische Landoberfläche. Durch die erste Zechstein-Transgression sind die obersten 0,15 m des dunkelrotbraunen Porphyrits gebleicht worden. Die Zechstein-Ablagerungen setzen mit Konglomerat ein, das als Transgressionssediment sehr ungleichkörnig, aber dominierend als fein- bis grobkörniger und geröllführender Sandstein ausgebildet ist. Darüber setzt unvermittelt der Kupferschiefer ein, der durch eine Schwermetallanreicherung, insbesondere mit Sulfiden von Kupfer, Blei und Zink, gekennzeichnet ist. Auf den Spaltflächen des Kupferschiefers (auch im aufgehaldeten Material) sind häufig Überreste, meist Schuppen, von Ganoidfischen zu finden; selten ganz erhaltene Fische. Profilaufwärts leiten die obersten plattigen Partien zum Zechsteinkalk über, der plattig bis bankig ausgebildet und intensiv geklüftet ist. Mit ihm endet das an der Langen Wand aufgeschlossene Profil.

Über die Entwicklung des Kupferschieferbergbaus an der „Langen Wand“ existieren nur wenige Informationen. Älteste Archivalien, die als Mutungen aus den Jahren 1698 und 1701 vorliegen, lassen nicht eindeutig auf älteren Bergbau schließen; 1750 waren jedoch bereits zwei und 1755 fünf Stollen aufgeföhren. Nach 1760 kam das Bergwerk zum Erliegen, wurde aber 1846 bis 1860 mit Unterbrechungen wieder betrieben und 1979-1982 gesichert (FEHLING & GROSS 2003).

Die bergmännische **Wasserwirtschaft** unterscheidet bei der Entwässerung von Tiefbaugruben zwei miteinander in Verbindung stehende und meist kombiniert angewendete Arten der Wasserfreihaltung des Grubengebäudes, die ab etwa 1500 (Erreichen der Grundwasseroberfläche durch Tiefbaue) im Mansfelder Bergbau zunehmend an Bedeutung erlangten: die **Wasserlösung** mithilfe von Stollen, die die oberhalb des Stollenentwässerungsniveaus zuzitenden Wasser bis zu einem natürlichen Gewässer ableiten, und die **Wasserhaltung** mithilfe von Pumpen, die die unterhalb des Stollenentwässerungsniveaus im Grubengebäude auftretenden Wasser bis zu einem mit freien Gefälle entwässernden Punkt (Stollen) heben.

Zur Wasserlösung der einzelnen Grubenfelder wurden zunächst einzelne Stollen angesetzt. Nach JANKOWSKI (1995) lässt sich der Zeitraum zwischen der Freierklärung (1671) und der Errichtung der ersten Dampfmaschine im Mansfelder Bergbau (1785) (Einsatz von Wassersäulenmaschinen ab 1840) technikgeschichtlich in zwei Phasen gliedern. Während zwischen dem Ende des Dreißigjährigen Krieges (1648) und dem Beginn der Auffahrung des Froschmühlenstollens (1698) versucht wurde, am Vorkriegszustand anzuknüpfen, verkörpert der anschließende Zeitraum bis zur Fertigstellung des (Tiefen Mansfelder) Schlüsselstollens (1879) die hohe Zeit der Stollenbaukunst. Im Kupferschieferbergbau in der Mansfelder Mulde übernahm ab dem ausgehenden 19. Jahrhundert (Entwässerungsniveau: Wasserspiegel der Saale mit HHW bei 67,7 m NN am 25.02.1799) der schon früher angelegte Friedeburger Erb-Stollen (1751-1758) als Schlüssel-Stollen (1809-1879; 31,1 km) die Gesamtwasserlösung des Bergbaus bis zu seiner Auflassung. Der Schlüssel-Stollen ist mit 31,1 km Länge länger als der 24 km lange Ernst-August-Stollen (1851-1864) des Oberharzer Erzbergbaus und der 26 km lange Roths Schönberger Stollen (1844-1877) des Freiburger Erzbergbaus. Der Plan, die Gesamtwasserlösung mit Hilfe des zwischen 1795 und 1810 auf eine Länge von 4 000 m aufgefahrenen Heinitz-Stollens zu erreichen, wird schon 1830 und endgültig 1856 aufgegeben. Dieser Stollen hätte mit einem bereits nördlich des Halle-Hettstedter Sattels bei 67,50 m NN gelegenen Mundloch bei Gnölbzig eine um 4,10 m unterhalb des Schlüssel-Stollen gelegene Entwässerungsmöglichkeit in die Saale geboten (Acta 1830).

Mit der Fertigstellung des Schlüssel-Stollens waren die Voraussetzungen entstanden, eine, die bisherigen dezentralen Wasserförderungssysteme zusammenfassende, zentrale Wasserhaltung zu konzipieren, um die bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jhdts. aufgefahrenen Tiefbauanlagen planmäßig weiter vorantreiben zu können. Obwohl für die einzelnen Tiefbausohlen eine äquidistante Saigerhöhe von 30 Lachtern (= 62,5 m; 1 Lachter = 2,092 m [Sachsen-Anhalt]; vgl. VEITH 1871, 313) und eine jeweils zwei Tiefbausohlen umfassende, gemeinsame Wasserhaltung vorgesehen waren, bildete sich in der Folgezeit ein im Detail anders strukturiertes Wasserhaltungssystem heraus (KIEL 1958). Die installierte Kapazität der Wasserhaltung betrug in ihrem Endausbau $117,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ unterhalb und $66,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ oberhalb der 5. Tiefbausohle, mit deren Hilfe durchschnittlich $31,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ Grubenwasser

gefördert wurde (AURADA 1979 b). Mit der Einstellung der Wasserhaltung und der Verwahrung des Grubengebäudes wurde der Bergbau in der Mansfelder Mulde 1970 aufgelassen.

Tab. 3. 4: Entwicklung der Stollenbauten des Kupferschieferbergbaus im Mansfelder Revier (nach AURADA 1982, 31, detailliert nach MIRSCH 1995, 315/316)

Zeitraum	Mansfelder Abbaufeld			Sangerhäuser Abbaufeld			Mundloch [m NN]	
	Bezugsniveau [mNN]	Stollen	Bauzeit	Mundloch [m NN]	Bezugsniveau [mNN]	Stollen		Bauzeit
16./17. Jahrhundert.	Wasserspiegel Süßer See (~92,8)	Faulenseer Stollen	1536-1570	135,80				
		Nord-Flügel	1542 (ab1660 Wieder-			Gonnaer	1542-1600?	
		Süd- Flügel	1570 aufwältigung)			Stollen	(ab1675	
		Rißdorfer Stollen b	1511/1546	103,66			Wieder-	
		Froschmühlen-St.	1698-1785	97,07			aufwältigung)	
18. Jahrhundert	Wasserspiegel Salziger See (~88,9)	Erdeborner Stollen	1756-1800	89,45	Wasserspiegel Helme 123,86	Mohrunger Gemeinde-Erbstollen	1700-1756	?
18./19. Jahrhundert	Wasserspiegel der Saale	Joh.-Friedr.-Stollen	1778-1808	151,77	Wasserspiegel	Gonnaer Stollen	1790-1849	182,60
		Zabenstedter St.	1747-1807	96,10	Gonna 135,77	Ost-Flügel	1828	
						West-Flügel	1848	
	HHW 25.2.1799 (~67,7) c	Langenthaler St. (Friedeb. Erb-St.)	1762-1790 (1743-1758)	85,52				
		Schlüssel-Stollen (Heinitz-Stollen) d	1809-1879 (1795-1810)	71,60 (67,50)	Wasserspiegel Helme 123,86	Segen-Gottes-St. -	1830-1855	139,94

a Höhenangaben nach Festschrift 1907

b wahrscheinlich identisch mit dem Roßstollen (KNITZSCKE & JANKOWSKI 1995, 173)

c das höchste bekannte HW 1595 lag in Halle/ Saale nur wenige cm über dem HW 1799 (ULE 1909)

d als tiefster Stollen 1830 und 1856 geplant, jedoch nicht zur Ausführung gelangt

Die Wasserhaltungen waren so dimensioniert, auch plötzlich zusitzende Wassermengen bewältigen zu können. Im Kupferschieferbergbau sind **Wassereinbrüche** aus geschlossenen Zuflusssystemen (subrosiv nicht beeinflusste CaCl_2 - und MgCl_2 -Wässer mit insgesamt begrenztem Zuflussvolumen und damit abnehmender Zuflußtendenz) und aus offenen Zuflusssystemen (subrosiv beeinflusste CaSO_4 -Süßwässer bis NaCl -Salzwässer mit unbegrenztem Zuflussvolumen und damit der Möglichkeit eines permanenten Restzuflusses) möglich. Als typische Reservoirs gelten der Buntsandstein, die Subrosionsflächen des Werra- und Staßfurtsteinsalzes sowie sulfatische und karbonatische Abfolgen des Zechstein 1 und 2, deren Zuflüsse durch die Abbauführung intensiviert werden können (SCHWANDT 1993).

EXKURS:

Mansfelder Seen

In der Mansfelder Mulde kam es in den Jahren 1889, 1892, 1897, 1900, 1907, 1952 und 1958 zu Wassereinbrüchen in das Grubengebäude, die zum Teil zum Wiederanstieg des abgesenkten Grundwassers führten (LORENZ 1962; JUNG 1968). Durch den Wassereinbruch vom 17.10.1907 wurde der südliche Zufließbereich aus dem Gebiet des Ehemaligen Salzigen Sees und durch die Wassereinbrüche am 09.03.1952 und 17.09.1958 der nördliche Zufließbereich aus dem Gebiet der Saale zwischen Trebitz und Friedeburg an das Grubengebäude angeschlossen; für diesen Saaleabschnitt sind für den 18.03.1575, 22.11.1798 und 15./16.12.1799 tagweise auftretende Vollversinkungen der Saalewasserführung historisch überliefert. Der folgenschwerste Wassereinbruch 1892 betraf das Gebiet der Mansfelder Seen (ULE 1892; KEILHACK 1893; THIEM 1893 a, 1893 b, 1893 c).

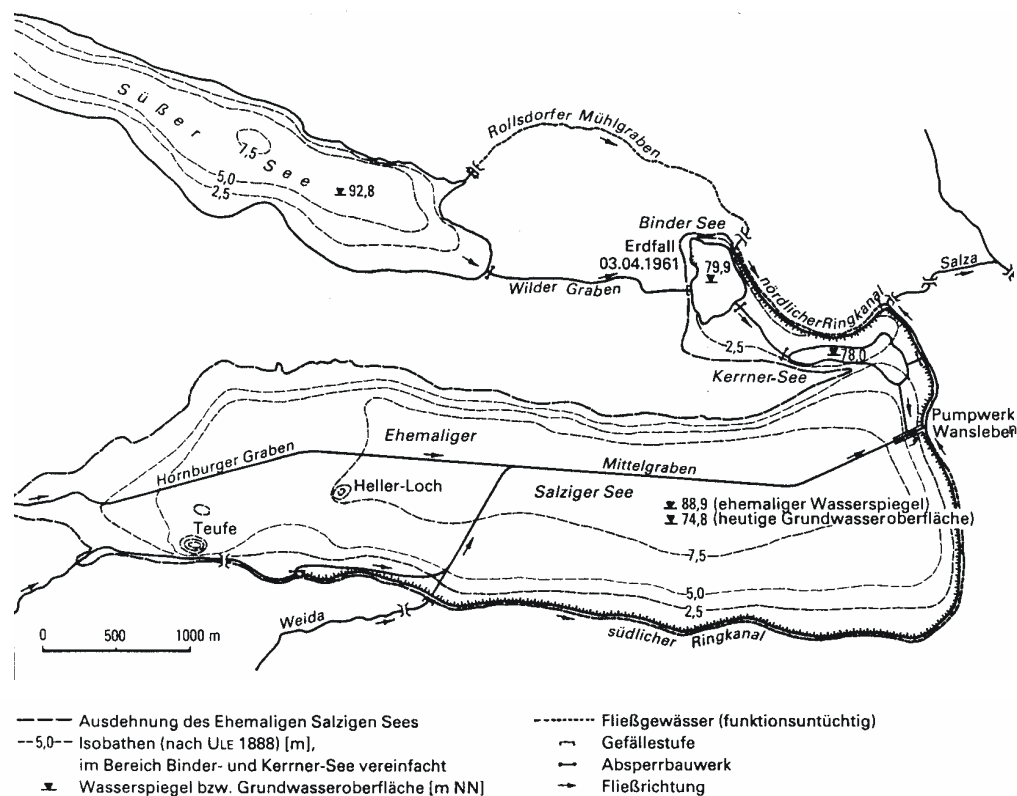


Bild 3. 2: Hydrographische Verhältnisse im Gebiet der Mansfelder Seen (AURADA 1982b, 44).

Während der Süße See (Wasserspiegel bei 92,75 m NN mit 249 ha Fläche und $11,1 \times 10^6$ m³ Volumen) mit einem Gesamteinzugsgebiet von 187,4 km² noch heute existiert, sank der Wasserspiegel des Salzigen Sees (ehemaliger Wasserspiegel bei 87,55 m NN mit 794 bis 841 ha Fläche und $40,9$ bis $46,2 \times 10^6$ m³ Volumen) um 8,72 m bis auf die noch heute vorhandenen Restflächen des Binder-Sees (79,9 m NN mit 20 ha) und Kernner-Sees (78,0 m NN mit 20 ha) ab. Durch die Versinkung bzw. Absenkung des Salzigen Sees in den Jahren 1892 bis 1895 traten Maximalzuflüsse im ca. 13 km entfernten Grubengebäude bis zu 200 m³ min⁻¹ bei -172 m NN am 24.10.1892 auf, die den Wasserstand in den Grubenbauen um 182 m auf 10 m NN ansteigen ließen (LORENZ 1962). Die Salza unterhalb des Salzigen Sees war ab dem 07.05.1892 trockengefallen (WUNDERLICH 1932).

Tab. 3. 5: Hydrographische und hydrochemische Charakteristika der Mansfelder Seen

Kriterien	Süßer See	Salziger See	Restseen des Salzigen Sees	
			Binder See	Kerner See
Wasserspiegel:	92,8 m NN	88,9 m NN a	79,9 m NN	78,0 m NN
Wasserfläche:	249 ha	841 ha	20 ha	24 ha
Wasservolumen:	11,1 10 ⁶ m ³	46,2 10 ⁶ m ³	0,001 10 ⁶ m ³	0,5 10 ⁶ m ³
Einzugsgebiet:	187,4 km ²	398,9 km ²		
Analyse (1887) b	[mg l ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	[mg l ⁻¹]	
Ges.-rückstand	3 080	1 520	1 480	
NaCl	1 750	750	750	A
KCl	550	90	60	k n
K ₂ SO ₄	4	170	190	e g
MgSO ₄	190	150	140	i a
CaSO ₄	390	160	140	n b
Ca(NO ₃) ₂	10	-	-	e e
CaCO ₃	150	180	190	n
CO ₂	100	120	100	

a heutige Höhenlage der Grundwasseroberfläche: 74,84 m NN, Höhenlage der Überlaufschwelle zur Salza: 85,08 m NN

b Analyse 1887 (umgerechnet aus ULE [1895, 48])

Parallel zu dieser Entwicklung traten im Stadtgebiet von Eisleben Senkungsbeträge der Erdoberfläche von 1 m a⁻¹ (1894: Zeißingstraße) bis 1,5 m a⁻¹ (1898: Rammtorstraße) auf; im folgenden Jahrzehnt wurden Senkungsbeträge von jeweils fast 4 m beobachtet.

Die Vorflut des insgesamt 398,9 km² großen Einzugsgebiets musste durch das am 25.01.1894 mit einer Kapazität von 120 m³ min⁻¹ in Betrieb gehende Pumpwerk Wansleben sowie durch dezentrale Pumpstationen mit insgesamt 23,5 m³ min⁻¹ Kapazität gesichert werden. Durch das Abpumpen des ca. 6 km langen Mittelgrabens wurde die Grundwasseroberfläche im Gebiet des Ehemaligen Salzigen Sees auf 74,84 m NN gehalten. Die auch rezent vorhandene Aktivität der die Versinkung des Salzigen Sees begünstigenden Auslaugungsvorgänge wurde durch die Erdfallbildung in der Uferzone des Binder-Sees am 03.04.1961 (KAMMERER 1962) und Wasserspiegelabsenkungen im Dezember 1962 und November 1968 signalisiert (AURADA 1979 b), die zu Zuflusserhöhungen untertage im Bereich der 5. Tiefbausoehle (-235,1 m NN) des Zirkel-Schachtes führten.

Das Pumpwerk Wansleben hebt durchschnittlich 1,42 m³ s⁻¹ Wasser. Da aus dem Einzugsgebiet der Weida 0,73 m³ s⁻¹ und aus dem SW-Teil der Mansfelder Mulde 0,27 m³ s⁻¹ oberirdisch zufließen, muss der Differenzbetrag von 0,42 m³ s⁻¹ als Grundwasser zusetzen. Damit war die Niederhaltung der Grundwasseroberfläche im Bereich des Ehemaligen Salzigen Sees mit der Ausbildung eines Absenkungstrichters verbunden, der eine Erhöhung des Grundwasserzuflusses nach sich zieht (JORDAN & WEDER 1995, 422/ 423). Durch die Auffüllung des Karstwasserreservoirs ist dieser Bereich weitgehend wassererfüllt, so dass sich ein allerdings labiles hydraulisches Gleichgewicht eingestellt hat.

Die zwischenzeitliche Entwicklung hat dazu geführt, dass der Ehemalige Salzige See ab 2006 auf eine Höhe von 84,15 – 86,00 m NN aufgestaut und bei einer Seefläche von 794-845 ha ein Volumen von 38,8-54,3x10⁶m³ erreichen (BERKNER ET AL., 2001, 177; KNAB ET AL. 1999).

Der Kupferschieferbergbau in der Sangerhäuser Mulde entwässerte im 17. bis 19. Jahrhundert mit dem Gonnaer Stollen (1790-1849: 13,4 km), bis der Segen-Gottes-Stollen (1830-1855: 4,9 km) die Gesamtwasserlösung übernahm. Wassereinbrüche in der Größenordnung

des Mansfelder Reviers hat es im Sangerhäuser Revier zunächst nicht gegeben. In den 60er und 70er Jahren war ein technisch beherrschbarer Laugenzufluss von $1\text{-}2\text{ m}^3\text{ min}^{-1}$ bekannt.

Im Bereich der Schachanlage Sangerhausen erfolgte ab 1982/83 im Bereich des Westfeldes (Flügel 63) eine stetige Zunahme der Zuflüsse (Maximalzufluss: $32\text{ m}^3\text{ min}^{-1}$). Ursache der erhöhten untertägigen Zuflüsse waren offenbar Wasserverluste (Versiegen der ca. 15 km entfernten Solquelle Numburg am Kyffhäuser-Nordrand) aus der ca. 15 km entfernten Talsperre Kelbra ($35,6 \times 10^6\text{ m}^3$ Inhalt) bzw. dem Grundwasserreservoir der Goldenen Aue. Als Mindestvolumen des vorhandenen Süßwasserreservoirs wurden $\sim 500 \times 10^6\text{ m}^3$ und ein auf 1990 prognostizierter Zufluss in der Größenordnung $30\text{-}40\text{ m}^3\text{ min}^{-1}$ ermittelt (HEBERT 2001, 8). Trotz der Abriegelung der betroffenen Feldesteile stiegen die Wasserstände in den Grubenbauen sowohl im Westfeld (Kyffhäuser-NE-Randstörung zwischen Tilleda und Artern) als auch im Ostfeld (Harzsüdrand-Störung mit dem Gonnaer Graben) weiter an. Die erhöhten Zuflüsse führten am 27.12.1988 zur Einstellung der Wasserhaltung mit einem Einstau von $1,7 \times 10^6\text{ m}^3$. Danach erfolgte eine stetige Zunahme der Zuflüsse im Bereich des Ostfeldes (Flügel 83), die den Rückbau der Wasserhaltung (14.08.1989: 5. Tiefbausohle; 24.11.1989: 4. Tiefbausohle) und einen Einstau von $0,2 \times 10^6\text{ m}^3$ erzwangen. Der weitgehend abgesoffene bzw. teilgeflutete Bergbau musste am 10.08.1990 vollständig aufgelassen werden.

SPEZIAL: Flutung der Grubengebäude

Während des Betriebes der Wasserhaltung des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde sind den oberirdischen Gewässern im Jahresdurchschnitt (1915-68) $16,083 \times 10^6\text{ m}^3$ Wasser entzogen worden (AURADA 1979 a). Der durchschnittliche jährliche Salztransport der seit 1884 salzhaltigen Grubenwässer lässt sich mit $0,125 \times 10^6\text{ t}$ (natürliche Auslaugung) und $0,860 \times 10^6\text{ t}$ (anthropogen induzierte Auslaugung) berechnen (ALBRECHT 1974). Durch die damit verbundenen Lösungsprozesse entstand als Summe von "bergmännischem" ($43,9 \times 10^6\text{ m}^3$) (Streckenlänge 750 km bei $10\text{-}14\text{ m}^2$ Querschnitt) und "natürlichem" Hohlraum ($171,0 \times 10^6\text{ m}^3$) insgesamt ein unterirdischer Hohlraum von $214,9 \times 10^6\text{ m}^3$ Volumen, der immerhin dem Inhalt der größten Talsperre Deutschlands, der Bleiloch-Talsperre ($215,0 \times 10^6\text{ m}^3$), entspricht. Das untertägige abbaubedingte Hohlraumvolumen im Grubengebäude des Kupferschieferbergbaus in der Sangerhäuser Mulde erreichte bei einer Streckenlänge von 250 km mit ebenfalls $10\text{-}14\text{ m}^2$ Querschnitt $12,9 \times 10^6\text{ m}^3$; die Größenordnung des durch Auslaugung verursachten Hohlraumes ist nicht bekannt.

EXKURS:

Maschinendenkmal

Die zur Abbauführung notwendige Entwässerung des Kupferschieferbergbaus, der zunächst noch vereinzelt Abbauorte bzw. Grubenfelder des sog. Talflanken- und Duckelbaus, die bereits ab etwa 1500 die Grundwasseroberfläche erreichten, wurde anfangs als Gefäßförderung (Taschenhaspeln [1536 Hettstedt] oder Heintzen-Künste [1538 Hergisdorf]) und im 17. und 18. Jahrhundert mit Künsten (Menschen-, Pferde-, Wasserkraft) durchgeführt (1785 waren 76 Schächte in Betrieb). Der technologisch bedingte Teufengewinn betrug bei Handhaspeln 50 m, bei Roßkünsten 50-300 m, bei Radkünsten 250 bis 600 m, und Hilfe von Dampffördermaschinen 250-1000 m (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1986b, 110)

Ende des 18. Jhd. (1881 waren noch 17 Pferdegöpel mit 1 185 Pferden im Einsatz) wurden mit durch Dampfkraft betriebene Wassersäulenmaschinen und -balancen (am 23.08.1785 Einsatz der ersten Dampfmaschine auf dem König-Friedrich-Schacht mit einer Kapazität von $1,0-1,2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$) und im 20. Jahrhundert elektrische Pumpen (am 20.02.1908 Einsatz der ersten elektrisch angetriebenen Pumpe im Hohenthal-Schacht) eingesetzt (SCHITKO 1834; v. HAUER 1879; HIMMELHEBER 1893; KIEL 1958).

Das am 19.08.1890 durch den Verein Deutscher Ingenieure (VDI) eingeweihte und noch heute existierende Denkmal trägt die Inschrift "Am 23. August 1785 kam an dieser Stelle, dem Koenig Friedrich-Schachte, zum ersten Male eine aus deutschem Material und von deutschen Arbeitern hergestellte FEUERMASCHINE in Betrieb zu dauernder gewerblicher Nutzung". Noch 1783 waren auf diesem Schacht 88 Pferde im Einsatz, um mit Hilfe einer Roßkunst die zusitzenden Wässer zu heben.

Nachdem seit 1776 die einfach wirkende WATTsche Kolbendampfmaschine in England zur Wasserhebung eingesetzt worden war, gab es bereits 1769 (SILBERSCHLAG [1716-1791]) und 1770 (HOLSCHKE [1743-1783]) Pläne, derartige Maschinen zur Wasserhebung im Mansfelder Revier einzusetzen. Erst der 1777 durch Friedrich II. berufene Bergbauminister Preußens FRIEDRICH ANTON von HEINITZ (1725-1802) erreichte am 24.03.1778 die Zusage WATTs, gegen eine Gewährung eines vierzehnjährigen Monopols, derartige Maschinen in Preußen errichten zu lassen (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1986b, 116-148). Zur Sicherung autarkischer Betreibungen erkundeten jedoch JACOB SIGISMUND WAITZ von ESCHEN (1698-1776) und CARL FRIEDRICH BÜCKLING (1756-1812) Funktions- und Bauweise der Maschine vor Ort; MATTHEW BOULTON kritisierte 1787 in einem "Statement of facts" diese frühe Form der Industriespionage, auf deren Grundlage Friedrich II. am 01.06.1783 den Bau der Maschine anordnete (WEIRAUCH 1985; vgl. auch MATSCHOSS 1901, 92). Da die Maschinenleistung zunächst unbefriedigend blieb, holte BÜCKLING (inkognito !) WILLIAM RICHARDS nach Hettstedt, um die Maschine umzubauen, die dann bis 1794 in Hettstedt und danach bis 1848 auf dem Hoffnungsschacht bei Löbejün in Betrieb war. 1794 kam in Hettstedt eine größere Maschine gleichen Typs zum Einsatz, die bis 1815 in Betrieb war. Eine dritte Maschine gelangte von 1812 bis 1885 auf dem W-Schacht zum Einsatz (JANKOWSKI 1995).

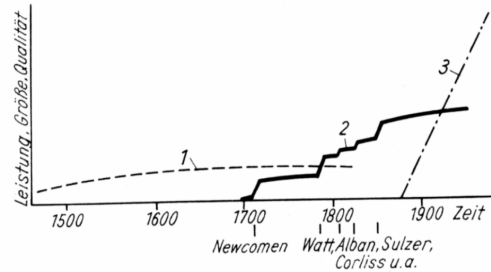


Bild 3. 3: Historische Entwicklung der Kraftmaschinen (1 - Wasserrad, 2 - Kolbendampfmaschine, 3 - Dampf- und Wasserturbinen mit Generatoren zur Erzeugung von Elektroenergie) (aus: WAGENBRETH & WÄCHTLER 1986b, 85)

Die Vorhersage für den zeitlichen und räumlichen Verlauf des Wiederanstiegsprozesses des abgesenkten Grundwassers erfolgte auf der Grundlage eines stochastischen Modellkonzepts. Das Grubengebäude kann auf der Grundlage des vorhandenen geologischen und montanhydrologischen Kenntnisstandes (JUNG 1965; JUNG & LIEBISCH 1966) als näherungsweise isoliertes System mit den stochastischen Ein- und Ausgangsgrößen Wasserzufluss und Wasserförderung aufgefasst werden. Der Wiederanstiegsprozess kann damit als Systemzustandsänderung charakterisiert und bei bekanntem Stauraumvolumen als speicherwirtschaftliches Problem (FULDA 1925) betrachtet und sein zukünftiger zeitlicher und räumlicher Verlauf mithilfe der Monte-Carlo-Methode berechnet werden. Die Berechnung der zum Anstau zur Verfügung stehenden Hohlräume (12 Speicherlamellen des Modells) erfolgte als sog. bergmännischer Hohlraum ($43,9 \times 10^6 \text{ m}^3$) und natürlicher Hohlraum ($171,0 \times 10^6 \text{ m}^3$). Zur Wiederauffüllung bzw. Flutung des Grubengebäudes standen somit insgesamt $214,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ bzw. $213,617 \times 10^6 \text{ m}^3$ untertägiges Hohlraumvolumen zur Verfügung (AURADA 1970), da zwischen dem 01.07. und 01.09.1970 ein Zufluß in der Größenordnung von ca. $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ erfolgte. Die Geschwindigkeit des Wiederanstiegsprozesses nahm von der untersten (-737,7 m NN) zur obersten Speicherlamelle (73,8 m NN) hauptsächlich als Funktion der mit abnehmender Teufe zunehmenden Volumina ab (AURADA 1970).

Der tatsächliche Anstauverlauf verlief wegen zusätzlicher Wassereinleitungen in das Grubengebäude zur Vermeidung von Auslaugungsschäden ($3 \times 10^6 \text{ m}^3$ in der Zeit vom 17.03.1975 bis 22.03.1976) zwar innerhalb der prognostizierten Toleranzbereiche, jedoch zunächst schneller als vorausberechnet (JUNG & SPILKER 1972), so dass der mit IV/1986-VI/1990 ermittelte Erwartungszeitraum mit dem Erreichen des Überlaufpunktes (bei 73,8 mNN) im Schlüssel-Stollen in der Nähe der ehemaligen Glückhilf-Schächte (Welfesholz), etwa 13 km oberhalb des Stollenmundloches, bereits am 21.04.1981 unterschritten erschien. Allerdings lag zu diesem Zeitpunkt der Anstauwasserspiegel im Raum Eisleben-Amsdorf im südlichen Teil der Mansfelder Mulde noch ca. 9 m unter 73,8 mNN. Die Vernässungserscheinungen im Bereich des Ehemaligen Salzigen Sees seit März 1987 (max. 33 ha) belegen jedoch die Richtigkeit der Berechnungen, die IV/1986 - VI/1990 als spätesten Erwartungstermin für übertägige hydrologische Auswirkungen im Raum der Mansfelder Seen benannt hatten (AURADA 1970).

Da die Wasserhaltung des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde seit dem 01.01.1970 eingestellt und der nachfolgend einsetzende Grundwasserwiederanstieg zwischenzeitlich (beginnend am 21.04.1981) abgeschlossen worden war, bestand die Möglichkeit, die Grubenwässer aus dem Kupferschieferbergbau in der Sangerhäuser Mulde vom 13.11.1982 bis 04.05.1983 als Kesselwagentransport zum Schneider-Schacht, ab 05.05.1983 über eine 18 km lange Rohrleitung (zunächst mit einer Kapazität von $6,2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, wegen der Einstellung der Überleitung vom Koenen-Schacht zum Münzer-Schacht am 01.08.1988 ab 26.12.1988 auf $21 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ erhöht) und unter Nutzung des 31,1 km langen Schlüssel-Stollen der Mansfelder Mulde in die Saale bei Friedeburg nördlich Halle

einzuleiten. Insgesamt wurden so bis zur Einstellung der Wasserhaltung im Sangerhäuser Bergbau 1990 $81,8 \times 10^6$ m³ Salzwässer aus der Sangerhäuser Mulde in die Mansfelder Mulde übergeleitet. Vorher flossen sie über die Helme in die Unstrut unterhalb der Mündung der Wipper und waren somit in die Salzbelastung des Unstrut-Saale-Gebietes integriert.

Die nach Auflassung des Bergbaus erforderlichen Verwahrungsarbeiten umfaßten neben der Beraubung der untertägigen Bergbaueinrichtungen insbesondere das Einbringen von Bergeversatz durch Einbringen, meist Verstürzen, von Haldenmaterial in die Schachtröhren. In der Mansfelder Mulde waren neben bereits früher verfüllten 33 Schächten nochmals 33 Schächte zu verwahren (JUNG et al. 1972). Inzwischen ist seit 1990 auch der Kupferschieferbergbau in der Sangerhäuser Mulde aufgelassen worden; insgesamt waren 6 Schächte sowie der unvollendete Schacht Holdenstedt zu verwahren (Anonym 1999, 180). Die Verwahrungsarbeiten wurden mit der Verfüllung der Schachtröhren der Schächte in Nienstedt (Niederröblingen II: 05.03.-24.06.93), Niederröblingen I (19.04.-28.06.93) und Sangerhausen (07.07.92-02.07.93) abgeschlossen.

EXKURS:

Halden im Kupferschieferbergbau

Die Entwicklung des Bergbaus läßt sich im Bereich der Mansfelder Mulde (1233 erstmals urkundlich erwähnt) sehr einprägsam sowohl durch die Entwicklung der Haldenformen als auch der Anordnung von halbkreisförmig angeordneten Schachtreihen von insgesamt 66 Schächten und Lichtlöchern verfolgen, die das Ausstreichen bzw. das muldenförmige Einfallen der Kupferschieferlagerstätte nachzeichnen. Kleinsthalden in der Nahe des Ausgehenden kennzeichnen den Zeitraum bis 1400 (1. Haldengeneration), etwas größere, unregelmäßig geformte Halden den Abbaubereich bis 1670 (2. Haldengeneration). Tafelbergförmige Halden markieren den Abbaubereich bis 1915 (3. Haldengeneration), sie wurden seitdem durch die großen, landschaftscharakterisierenden Spitzhalden der Tiefbauschachtreihen abgelöst (4. Haldengeneration) (EINBECK 1931, 1933; SCHUBERT 1953, WAGENBRETH 1973). Damit korrespondieren vier Schachtreihen, die durch ihre konzentrische Anordnung die Bergbauentwicklung nach 1860 übertage dokumentieren. Während über die Kleinsthalden nur eine ungenügende Übersicht vorhanden ist (Sangerhäuser Mulde > 303 Halden, Mansfelder Mulde > 48 Halden mit <0,5 ha), existieren Flachhalden auf 196,2 ha mit $31,76 \times 10^6$ m³ Volumen (Mansfelder Mulde) bzw. 4,8 ha mit $0,24 \times 10^6$ m³ (Sangerhäuser Mulde) und Kegelhalden der Großanlagen auf 78 ha mit $24,4 \times 10^6$ m³ (Mansfelder Mulde) bzw. 46 ha mit 21×10^6 m³ (Sangerhäuser Mulde) (ANONYM 1999, 164 ff.). Die Spitzhalden der 4. Haldengeneration weisen die grössten Volumina auf. So erreichen die Halden des Wolf-Schachtes bei 149 m Höhe ein Gesamtvolumen von $8,6 \times 10^6$ m³ und ein Kegelvolumen von $6,6 \times 10^6$ m³, des Vitzthum-Schachtes bei 149 m Höhe $9,8 \times 10^6$ m³ und des Paul-Schachtes bei 110 m Höhe ein Gesamtvolumen von 6×10^6 m³ (NEUß & ZÜHLKE 1982, 129, 130, 75; MIRSCH 1995, 2003).

Von Aufstandsflächen sind in der Mansfelder Mulde 8 700 ha und in der Sangerhäuser Mulde 2 200 ha betroffen, in beiden Revieren kommen ca. 60 Großhalden hinzu. Auf die Umweltprobleme aus Bergbau- und Verhüttungsaktivitäten an insgesamt 596 Altlaststandorten hat FRÜHAUF (1995) hingewiesen. G. SCHMIDT (1998) konnte bezüglich der Schwermetalleintragung aus dem Kupferschieferflöz, dem Kupferschieferbergbau und seiner Verhüttung vorhanden ist, dass einerseits ein lokaler Einfluss geogener Schwermetalleinträge aus dem Kupferschieferflöz, dem Kupferschieferbergbau und seiner Verhüttung vorhanden ist, dass aber die Böden, die während des Bergbaus als Schwermetallsenken fungierten, gegenwärtig als Schwermetallquellen wirken; der Schwermetalleintrag aus Haldenkörpern ist lokal begrenzt und als gering einzuschätzen.

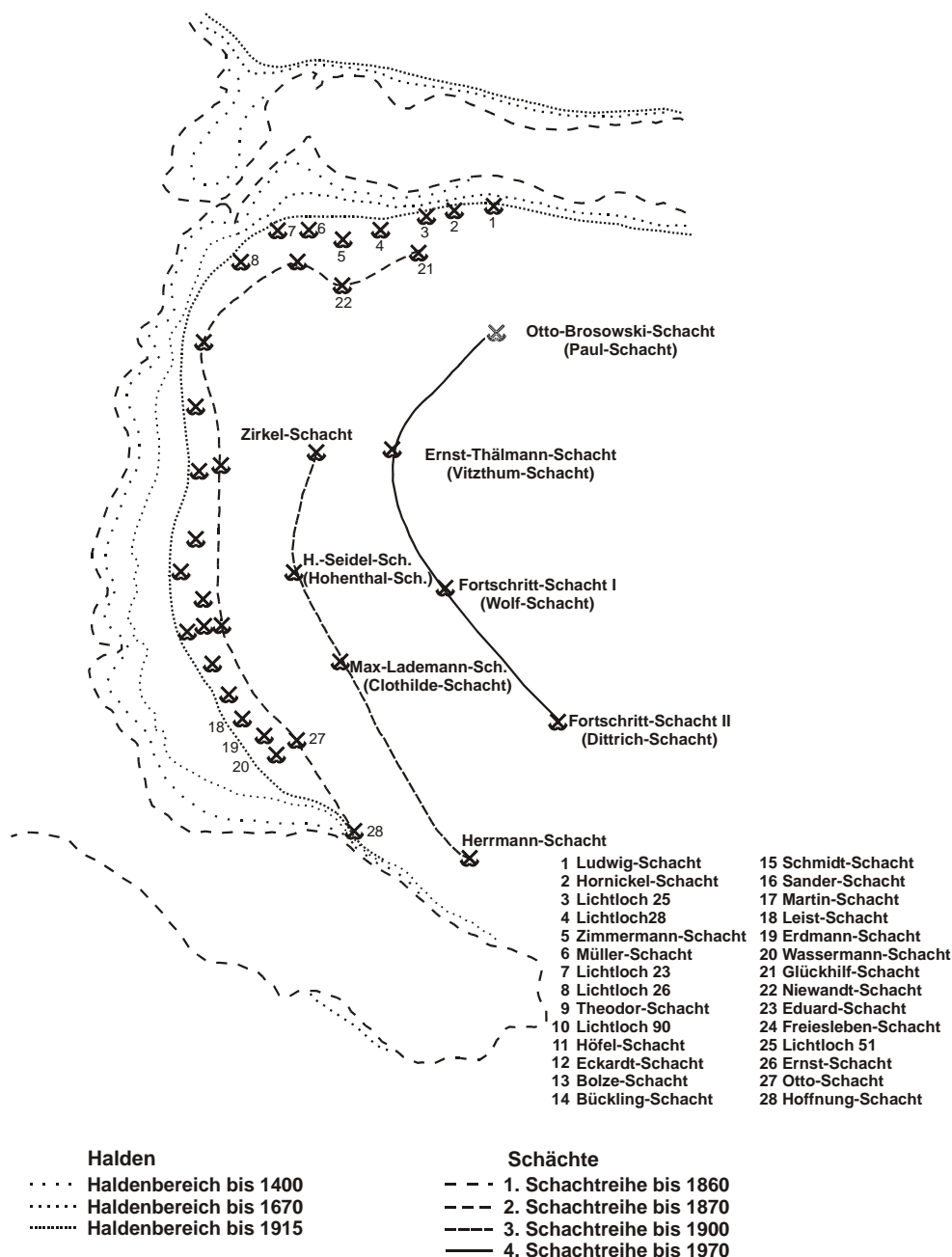


Bild 3. 4: Halden und Schächte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus als Zeugen seiner historischen Entwicklung. (nach EINBECK 1931, 1933 und SCHUBERT 1953)

2 Kalibergbau

Die Kaliproduktion weist eine vorindustrielle Geschichte auf und ist damit erheblich älter als der Kalibergbau (DELHAES-GUENTHER 1974, 12). Vor dem Kalibergbau versuchte man, den Bedarf an chrom- und blausaurem Kali, Alkalium und Soda für die Textil-, Gerberei-, Glas-, Pulver- (Sprengstoff-) und Papierindustrie zu decken. Düngung erfolgte durch Knochenmehl, Guano, Superphosphat und Chilesalpeter; die Produktion von „künstlichem“ Dünger war zunächst (bis etwa 1880) untergeordnet.

Häufig wurde an das Umfeld von bereits seit dem Mittelalter betriebenen (1850 ca. 70 existierenden) Salinen angeknüpft (REMUS & ZIESCHANG 1975; WALTER 1988, HECHT & MAI 1999; Dokumentation a.a.O., 134-144); die Verarbeitung von Salinen-Mutterlaugen, z.B. zu Digestivsalz (überwiegend KCl) oder die Bromgewinnung (in der Saline Artern z.B. vor 1865) gehört zu den ältesten Zweigen einer chemischen Produktion (DELHAES-GUENTHER 1974, 34).

Erste Steinsalzvorkommen wurden in Mitteldeutschland 1735 beim Kupferschieferabbau in Bottendorf/ Unstrut festgestellt. Der planmäßige Aufschluss durch Bohrungen erfolgte erst ca. 100 Jahre später: Buflieben bei Gotha (1827), Langenberg in Thüringen (1831), Artern (1837), Salzungen (1842) und schließlich in Staßfurt (1843). Auch die Abteufung der Schächte von der Heydt und von Manteuffel (1851 bis 1856) war zunächst auf die Steinsalzgewinnung ausgerichtet; die anfallenden „Abraumsalze“ wurden zunächst aufgehaldet bzw. in die Bode verstrützt (BÜSCHENFELD 1997, 290) und erst später (ab 1859) weiterverarbeitet.

Eine Übersicht zu den Volumina halogener Gesteine im paläozoischen Salinarbecken der Mitteleuropäischen Senke gibt Tab. 3. 6.

Tab. 3. 6: Salinarvolumen im Bereich der Mitteleuropäischen Senke (verändert nach ZARKOV, ZARKOVA & MERZLJAKOV 1979, 829)

Evaporit-Folge	Beobachtete bzw. vermutete Volumina [10^3km^3]					Berechnete Volumina [10^3km^3]		
	Gips/Anhydr.	Steinsalz	Kalisalze	Sylvin/Carnallit	Mutterlaugen	Steinsalz	Sylvin/Carnallit	Mutterlaugen
Oberperm	25,8	137,7	1,8	0,54	275	574	4,8	2,2
Zechstein 4	3,36	6,7	0,003	0,001	13,4	74	0,23	0,11
Zechstein 3	4,62	34	0,35	0,11	68	100	1,2	0,56
Zechstein 2	4,7	91	1,4	0,42	182	110	3,2	1,4
Zechstein 1	13,1	6	0,020	0,006	12	290	0,21	0,10
Unterperm	25	8	-	-	16	550	0,26	0,12
Perm	50,8	145,7	1,8	0,54	291	1 124	5,1	2,3

Nachdem ADOLPH FRANK (1834-1916), Chemiker an der Zuckerfabrik der Fa. Bennecke, Hecker & Co. in Staßfurt in einer Denkschrift vom 29.10.1860 und mit Hilfe der Hamburger Fa. Philip & Speier 1861 eine Fabrik in Staßfurt, ein später durch HERMANN JULIUS GRÜNEBERG (1827-1894) verbessertes Verfahren (Chlorkaliumherstellung aus Carnallit) zur Düngerproduktion aus bergmännisch gewinnbaren Kalisalzen entwickelt hatte (SORGE et al. 1953), kam es zu einer stürmischen Entwicklung des Kalibergbaus und der Kaliindustrie.

Obwohl bereits mit der sogenannten lex Gamp (1905, novelliert am 18.06.1907), dem Reichskaligesetz (25.05.1910) und dem Gesetz über die Regelung der Kaliwirtschaft (24.04.1919) versucht worden war, die überbordende privat- bzw. monopolkapitalistische Gewinnung staatlich zu reglementieren, führte erst die sogenannte Stilllegungsverordnung (22.10.1921) zu einer Reduzierung der Kalibergbaubetriebe (Verwahrung für 30 Jahre bis zum 31.12.1953). So existierten 1930 insgesamt 56 Förder-, 52 Reserve und 122 stillgelegte Kali-Schächte (HÜLSEMANN 1930, 333-343); 1935 40 Förder-, 65 Reserve- und 124 stillgelegte Kali-Schächte (SPACKELER 1957, 2).

Von den ursprünglich sieben Kalisalz-Revieren werden gegenwärtig nur noch drei genutzt: das Hannoversche (seit 1884), das Calvörder Revier als Bestandteil des Nordharz-Reviers und das Werra-Fulda-Revier (seit 1895). In fünf Revieren wurde die Kalisalzförderung eingestellt: Nordharz-Revier (1861-1972), Oberrhein-Revier (1912-1973), Saale-Revier (1897-1982), Unstrut-Revier (1902-1991) und Südharz-Revier (1893-1994) (GIMM 1968, 41 und Wirtschaftsvereinigung Bergbau 1994, 224). Die Teufengrenze für die bergmännische Gewinnung von festen Kalisalzen wird derzeit bei 1 200 m gesehen. Die Abbaugrenze aus wirtschaftlichen Gründen ist zwar nicht fixiert, dürfte aber oberhalb dieser Teufengrenze liegen (HARTMANN & SCHÖNBERG 2003, 6).

Während beim Kupferschieferbergbau die Grubenwässer dominieren, sind beim Kalibergbau die Grubenwässer mengenmäßig im Vergleich zu den Salzabwässern aus dem Fabrikbetrieb zu vernachlässigen. Deren Menge ist, bis auf den Anfall von Haldenlaugen und Sielwässern, rohsalz- und verfahrenabhängig (Heißlöseverfahren, Flotation, Elektrostatische Trennung). Im Allgemeinen fallen, bezogen auf 100 % Rohsalzförderung, 12,5 % Produktionsausbeute, 43,5 % Salzabwässer (Endlaugen) und 44,0 % fester Rückstand an.

Die Belastung der Fließgewässer mit salzhaltigen Abwässern ist deshalb seit Beginn des Kali- und Steinsalzbergbaus bzw. der Kali- und Steinsalzverarbeitung ein Maßstab für die Leistungsfähigkeit der Kaliindustrie gewesen und hat daher stets Aufmerksamkeit erfahren (SEIFERT 1953; GREUL 1955; KOHL 1964, KIPPENBERGER ET AL. 1986; CERNY 1993).

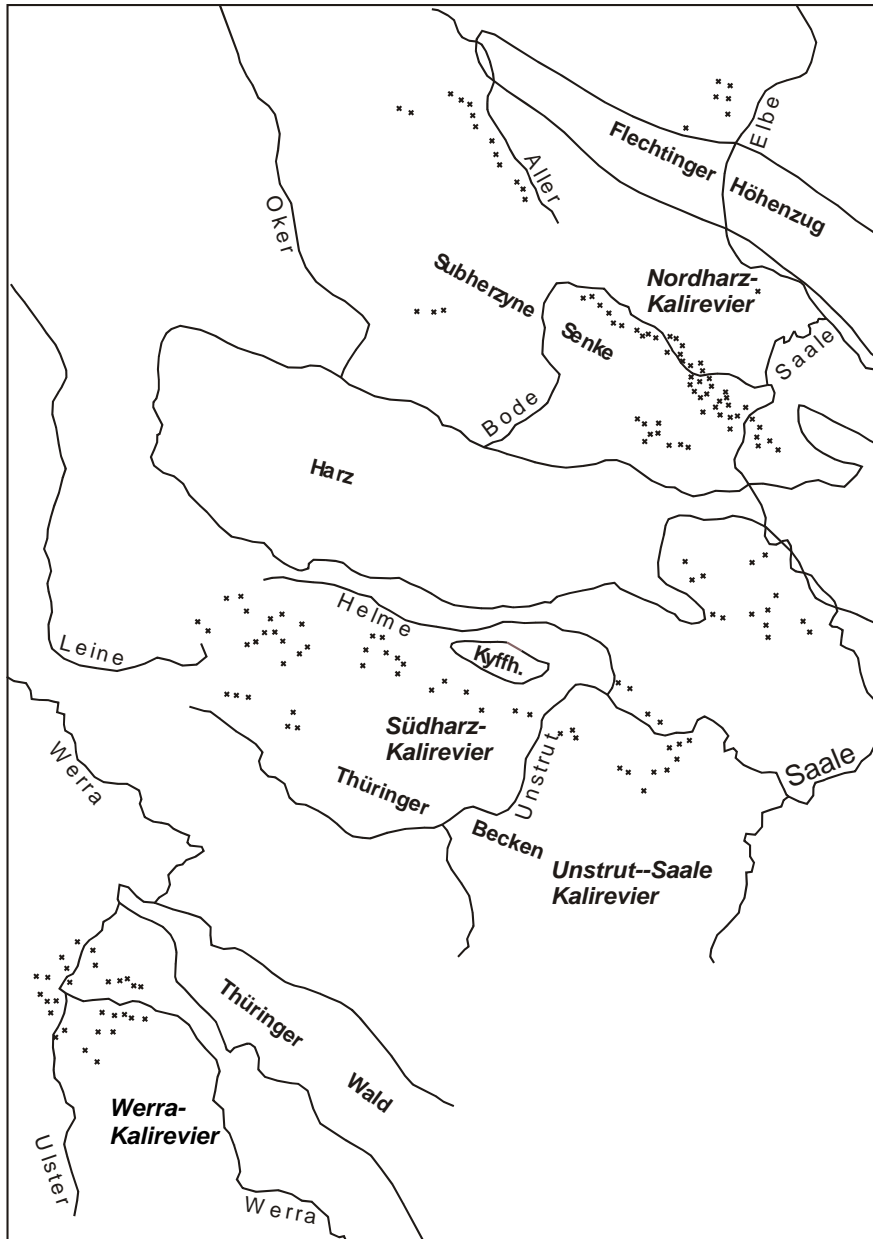


Bild 3. 5: Kali-Schachtanlagen in den mitteldeutschen Kalirevieren
(nach SEIFERT & SCHWANDT 1996, 69)

Die Alkali- und Erdalkalichlorid- und -sulfatwässer bzw. -abwässer entstammen sowohl dem untertägigen Grubenbetrieb (beim Kupferschieferbergbau durch die in Kombination von Wasserhaltung und Wasserlösung erfolgende Entwässerung des Zechsteinsalinars) als auch dem übertägigen Produktionsbetrieb (beim Kalibergbau durch die technologischen Lösungsprozesse des geförderten Zechsteinsalinars). Dabei spielt die hydrogeologische bzw. hydrodynamische Positionierung der Salinarabfolge bezüglich des Sub- und Suprasalinars eine wichtige Rolle. Tab 3.8 gibt eine Übersicht über einige Salinarbecken.

Tab. 3. 7: Historische Entwicklung und gegenwärtiger Zustand der Schachtanlagen des Kali-bergbaus in Deutschland

Kali- Reviere	Norddt.	Hannov.	Nord- harz-	Unstrut/ Saale- e	Süd- harz- e	Werra/ Fulda	Oberrh.	Gesamt
Historische Entwicklung a								
1850-1875	-	-	1 (3)	-	-	-	-	1 (3)
1876-1900	-	8 (2)	30 (3)	-	1	2	-	41 (5)
1901-1925	(2)	68 (12)	30 (2)	31 (7)	31 (5)	22 (5)	1	188 (33)f
1926-1950	-	3	-	-	-	-	1	4
1951-1975	-	1	2	-	-	1	1	5
1850-1975	(2)	80 (14)	63 (8)	31 (7)	32 (5)	25 (5)	3	239 (41)
Synchroner Bestand b								
1850-1875	k A	k A	6 (3)	-	-	-	k A	
1876-1900	e n	e n	29 (1)	1	1	-	e n	
1901-1925	i g	i g	44	32 (3)	31 (2)	24 (4)	i g	
1926-1950	n a	n a	19	7	18	23	n a	
1951-1975	e b	e b	14	8	13	24	e b	
1976-2000	e	e	2	0	0	4	e	
Gegenwärtiger Zustand c								
Bergwerke	8	32	38	15	14	6	k A	113
Schächte	12 (2)	64 (5)	74 (3)	27 (3)	40 (3)	26 (4)	e n	243 (44)
Zustand:							i g	
unbekannt	-	13	-	-	-	-	n a	13
offen	2	3	7	7	7	6	e b	32
ersoffen d	6	16	31	9	7	0	e	69 g
durch ungelenkte Flutung:								49 g
durch teilgelenkte Flutung:								6 g
durch gelenkte Flutung:								1 g
durch unbekannte Ursachen:								3 g

- () Abteufschächte
a korrigiert nach HOFFMANN (1972, 126-137), geordnet nach Ende der Abteufung
b nach DUNCKER (1929), BAUMERT (1932), HOPPE (1960) und LÖFFLER (1962)
c nach SEIFERT & SCHWANDT (1996, 74)
d nach SCHWANDT & SEIFERT (1999, 64)
e Die Abgrenzung zwischen dem Südharz- und dem Unstrut-Saale-Revier erfolgt auf der Grundlage einer unterschiedlichen Ausbildung der Zechsteinabfolge und verläuft zwischen den stillgelegten Schächten Glückauf III und Günthershall (KRÖLL & NACHSEL 1967).
f HULSEMANN (1930) gibt insgesamt 224 Schachtanlagen an, SPACKELER (1957) benennt für 1935 229 "Quotenwerke", davon 40 fördernde, 65 Reserve- und 124 stillgelegte Schächte (a.a.O., 2)
g insgesamt durch $125 \times 10^6 \text{ m}^3$ Salzlösungen, davon ca. $80 \times 10^6 \text{ m}^3$ aus hangenden (offenen) Systemen, ca. $40 \times 10^6 \text{ m}^3$ durch gelenkte Flutung (Salz- und Süßwasser) und ca. $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ aus intrasalinaren (geschlossenen) Systemen (SCHWANDT & SEIFERT 1999, 66)

Tab. 3. 8: Typen hydrogeologischer Positionierung in Salinarbecken
(verändert nach KÄBEL 1982, 53)

Grundwasser- Leiterkomplex	Werra- Kalirevier	Südharz- Kalirevier	Saale- Unstrut- Kalirevier	Nordharz- Kalirevier a	
Suprasalinär	Buntsandstein Leine-Karbonat (Plattendolomit)	Buntsandstein Hauptanhydrit	Buntsandstein Hauptanhydrit	Buntsandstein Hauptanhydrit	a Subherzynes Becken Staßfurtanhydrit: A 2 Hauptanhydrit: A 3 Zechsteinkalk: Ca 1 Staßfurtkarbonat: Ca 2 (Hauptdolomit) Plattendolomit: Ca 3
Intrasalinär	nicht vorhanden (Hauptdolomit)	Staßfurtkarbonat	Hauptanhydrit	Hauptanhydrit	
Subsalinär	Zechsteinkalk	Karbon./Rotl.	Anhydrit	Staßfurtfolge	

Neben Grenzwertfestlegungen für Fließgewässer wurde und wird zur Verringerung bzw. Vermeidung ökologischer und ökonomischer Schäden im allgemeinen eine näherungsweise Wiederherstellung des physiogenen hydrochemischen Typs (Basismineralisation), zumindest eine Vergleichmäßigung der schwankenden Salzbelastung (Ballastmineralisation), angestrebt. Dafür existieren neben einer Umstellung von Produktionsverfahren auf flotative oder elektrische Trennverfahren (im Werra-Gebiet ab 1973) folgende Möglichkeiten, die zugleich auch geowissenschaftlich relevant sind (AURADA 1992, 1999):

- die **Ableitung hochmineralisierter Wässer** mithilfe eines Kanals oder einer Rohrleitung außerhalb der Fließgewässer (siehe SPEZIAL: Ableitung von Salzabwässern),
- die **Versenkung hochmineralisierter Wässer** in den Untergrund (siehe SPEZIAL: Versenkung von Salzabwässern),
- die **Verdünnung hochmineralisierter Wässer** durch Verdünnungswasser aus Talsperren (siehe SPEZIAL: Steuerung von Salzabwässern).

2.1 Nordharz-Kalirevier

Die regionalgeologische Gliederung des Nordharz-Kalireviers folgt der Tafeldeckgebirgsgliederung der Subherzynen Senke und der Calvörder Scholle nach KATZUNG & EHMKE (1993, 111-113). Die ersten Kalischächte der Welt, am 31.01.1852 durch ihre Namensgeber (OTTO THEODOR von MANTEUFFEL [1805-1882] und AUGUST von der HEYDT [1801-1874]) getauft und auf dem Gelände der Saline Staßfurt abgeteuft, gingen 1856 und die erste Kalifabrik 1861 in Staßfurt in Betrieb (HOFFMANN 1972). Wurden zunächst die ersten Schächte an der SW-Flanke des Staßfurt-Egelner Sattels angesetzt, wurde ab 1877 auch die NE-Flanke aufgeschlossen (FULDA 1993).

Von 1875 bis 1904 stieg die Zahl der Kalischächte von 5 auf 28; der Abbau war bis ca. 1900 auf das Nordharz- und Hannoversche Revier beschränkt. Das hatte für die Bergbauentwicklung insofern Bedeutung, als die Lagerungsverhältnisse insbesondere im Staßfurter Revier durch ein steil einfallendes Flöz, daraus resultierende spezielle Abbauverfahren mit wiederum davon abhängiger hydrologischer Gefährdung gekennzeichnet waren; sie stellten somit die Ausnahme von in der Regel horizontal abbaubaren Flözen dar, wie sie später im Südharz- und Werra-Revier vorgefunden worden sind.

Tab. 3. 9: Übersicht über die Schachtanlagen des Kalibergbaus im Nordharz-Kalirevier
nach LÖFFLER 1962; SEIFERT & SCHWANDT 1996; MEYER & SCHÖNBERG 1999)

Schachtanlage	Synonyme Bezeichnung	Abteufung von bis	Teufe [m]	Status 1930	Stilllegung	Ersoffen	Bemerkungen	
Oschersleben-Bernburger Scholle (Staßfurter und Egelner Sattel)								
von der Heydt	Barbara-Schacht	1851	1856 a	387	-	1893	1900	3,195 Mio m ³
von Manteuffel		1852	1856 a	387	-	1893	1900	Volumen
Achenbach-Sch.	(1877 durchschl. zu H/M)	1874	1877	338	-		1900	2,795 Mio m ³
Bodelschwingh-Sch.		1859		12	A		1859	200 Tm ³
Emmerson-Sch.		1866		16	A		1867	250 Tm ³
Köppen-Sch.		1872		46	A		1872	700 T m ³
Leopoldshall I		1858	1861	400	-		1900	5,900 Mio m ³
Leopoldshall II		1858	1861	400	-		1900	Volumen
Leopoldshall III	(Reserve Leopoldshall)	1887	1894	410	S	1916	1922	1,000 Mio m ³
Leopoldshall IV	Friedrichshall I (1895)	1890	1892	374	R	1902	1950	2,000 Mio m ³
Leopoldshall V	Friedrichshall II (1895)	1890	1892	362	F	1902	1950	Volumen
Leopoldshall VI	Güsten	1900	1905	463	S	1922	1922	
Westeregeln I	Douglashall I	1871	1880	380	S		1891	1,700 Mio m ³
Westeregeln II	Douglashall II	1872	1873	313	S		1891	Volumen
Westeregeln III	Douglashall III	1892	1899	871	S	1922	1982	2,800 Mio m ³
Westeregeln IV	Douglashall IV (= Tarthun VI)	1894	1895	308	R	1925		(m. West, V)
				560			1947	(gesprengt)
Westeregeln V	Germerslbn./ Douglash. V	1910	1913	871	S	1922		durchschl. VIII
Westeregeln VI	Douglashall VI (= Tarthun VI)	1909	1911	308	R	1925		0,350 Mio m ³
				410				0,750 Mio m ³
Brefeld I	Tarthun I	1895	1897	226	S	1929		Volumen
Brefeld II	Tarthun II	1902	1906	508	S	1929		Volumen
Ludwig II	Schacht 1/ Riebeck	1873	1877	510	S	1929	(1973-79 pF)b	2,200
Ludwig II	Schacht 2	1886	1888	640	S	1924	(1973-79 pF)b	Mio m ³
Ludwig II	Schacht 3	1912	1914	690	R	?	1995	Volumen
Neustaßfurt I	Agatha-Schacht	1873	1876	750	-		1912	5,900
Neustaßfurt II	Hammacher-Schacht	1881	1883	366	-		1912	Mio m ³
Neustaßfurt III		1888	1890	304	-		1912	Volumen
Neustaßfurt IV		1893	1896	353	S	1924	1958?	0,200 Mio m ³
Neustaßfurt V		1912	1913	464	S	1924	1958?	Volumen
Neustaßfurt VI		1912	1912	690	S	1972	(1973-79 pF)b	1,000 Mio
Neustaßfurt VII		1913	1913	410	S	1972	(1973-79 pF)b	m ³ Volum.
Neustaßfurt VIII		1913			A			
von Berlepsch	Schacht 1	1887	1893	499	F	(1963-72 Sol.)	(1973-79 pF)b	14,3 Mio
von Maybach	Schacht 2	1887	1893	412	F	(1963-72 Sol.)	(1973-79 pF)b	m ³ Vol.
Hadmersleben I		1906	1910	572	F	1941	1941	3,500 Mio m ³
Hadmersleben II		1910	1914	669	F	1941	1941	Volumen
Oschersleben-Bernburger Scholle (Ascherslebener und Schierstedter Sattel)								
Aschersleben I	Schmidtmanshall	1878	1883	311	-		1886	
Aschersleben II		1886	1888	270	A		1888	
Aschersleben III		1886	1888	380	-		1895	0,670 Mio m ³
Aschersleben IV	Zornitz	1890	1895	476	F	1929	1971-72 (pF)	1,900 Mio m ³
Aschersleben V	Großschieferstedt	1895	1896	365	F	1931	1971-72 (pF)	5,100 Mio m ³
Aschersleben VI	Askania	1912	1915	505	R	1925	ersoffen	0,160 Mio m ³
Aschersleben VII	Winningen	1912	1916	505	R	1925	ersoffen	Volumen
Kleinschieferstedt I		1913	1918	420	S	1958	1971-72 (planm. Flutung)	
Kleinschieferstedt II		1913	1918	409	F	1958	1971-72 (planm. Flutung)	
Oschersleben-Bernburger Scholle (Bernburger Sattel)								
Friedenshall I	Ernst Solvay/ Solvayhall I	1884	1889	521	F	1967	1967 Einst.	Wasserhaltung
Plömnitz I	Ant. I/ Alfred Solvay (Solegegewinn.)	1888	1890	451	R	1970	1970-74	(planm. Flutung) b
Plömnitz II	Antoinette II	1898	1900	442	R	1970	1970-74	(planm. Flutung) b

Peißen	Solvay in Preußen	1900	1902	437	R	1936	1970-74	(planm. Flutung) b
Friedenshall II	Solvayhall II	1904	1906	494	F		1967 Einst.	Wasserhaltung
Anhalt		1911	1914	615	S	1924		nicht durchschl.
Ilberstedt	Johanne	1911	1912	576	S	1924	Wetter-Sch.	Steinsalz-
Neuwerk I	Coburg	1912	1914	453	S	(1924)	Wetter-Sch.	gewinnung
Neuwerk II	Erbprinz	1912	1914	465	S	(1924)	Wetter-Sch.	Werk Bernburg
Bernburg		1912	1914	542	R		Förder-Sch.	auf einer Fläche
Gröna		1912	1913	433	R		Seilfahrt-Sch.	von 38 km ² c

Oschersleben-Bernburger Scholle (Huy-Sattel)

Wilhelmshall I	Elisabeth/ Anderbeck	1889	1892	344	S	1926	1974-78 planmäßige Flutung	
Dingelstedt	Wilhelm v. Recklingshn.	1910	1912	611	R	1926	1974-78 planmäßige Flutung	
Wilhelmshall II	Anderbeck	1913	1920	192	R	1926		3,500 Mio m ³ Vol.

Aller-Störungszone

Grasleben	Grubenfeld	1910	1913	600	S	1922	(seit 1957	1962 in Betrieb
Grasleben II	Heidwinkel I	1912	1913	750	S	1922	durchschl.)	1962 in Betrieb
Grasleben III	Heidwinkel II	1937	1939	670	-			1962 in Betrieb
Gerhard	Walbeck	1902	1904	428	S	1924	säuft ab	1946 gesprengt
Buchberg	Lüneburg	1910	1913	522	S	1924	säuft ab	0,310 Mio m ³ Vol.
Marie d		1897	1898	520	S	1924	(durch-	2,500 Mio m ³ Vol.
Bartensleben e	ERA Morsleben	1910	1912	526	F	1969	schlägig)	5,500 Mio m ³ Vol.
Alleringersleben		1908	1914	330	A		1914	0,006 Mio m ³
Belsdorf		1911	?	590	S	1924	ersoffen	0,020 Mio m ³ ?
Wefensleben	Dreileben	1909	1914	820	S	1925	säuft ab	0,470 Mio m ³
Ummendorf		1912	1913	820	A		1913	0,002 Mio m ³

Weferlinger-Schönebecker Scholle

Schönebeck	Graf Moltke (Solegewinn.)	1873	1890	435	S	1967	geflutet	1,200 Mio m ³ Vol.
------------	---------------------------	------	------	-----	---	------	----------	-------------------------------

Calvörder Scholle

Bismarckshall	Samswegen	1906	1913	725	S	1925	ersoffen	0,205 Mio m ³
Moltkeshall	Rheinland	1911	1913	260	A	1913	ersoffen	
Zielitz I	Westfalen	1965	1969	810			Förder-Sch.	Kalisalz-
Zielitz II		1964	1968	740			Seilf.- Sch.	gewinnung
Zielitz III	Ramstedt I (Bohr-		1982	427			Wetter-Sch.	auf einer Fläche
Zielitz IV	Ramstedt II(Bohr-		1985	435			Wetter-Sch.	von 260 km ² g
Zielitz V	Loitsche	f	1990	(229 unvollendet)				

a im Januar 1856 wird bei ca. 245 m Teufe das erste Steinsalz erreicht

b Flutung durch Halbsole (teilgesättigte NaCl-Lösung), die über eine Pipeline aus dem Solfeld Bernburg zugeleitet worden ist (bei der Auflösung von Carnallit gingen MgCl₂, MgSO₄ und KCl in Lösung, während NaCl ausgeschieden worden ist) (SALZER, JOST & LANDSMANN 2003, 9)

c nach BECKER & ZEIBIG (2003, 47)

d Einlagerung cyanidhaltiger Härtereialsalze 1987-90, 1995/ 96 Auslagerung der Altsalze nach Herfa-Neurode (Werra-Gebiet und Zielitz, Einlagerung von salzhaltigem Teufwerk aus Gorleben (2 Schächte 940 und 860 m) 1991-94

e ERA: Endlagerung radioaktiver Abfälle: 1967-1998 Einlagerung radioaktiver Abfälle (bis 1998 >6000 Großcontainer-Transporte) (2004 Stilllegung der Anlage) GRÜSCHOW & RANFT (2003, 36) geben das markscheiderisch ermittelte Volumen beider Grubenbaue mit 6 Mio m³ an.

f nach HARTMANN et al. (2003, 115 und 118)

g ZEIBIG & FELDBERG (1999, 169)

A Abteuf-, F Förder-, R Reserve-, S stillgelegter Schacht

Schon 1880 traten abbaubedingte Erdoberflächensenkungen im Zentrum der Stadt Staßfurt auf, 1883 erfolgte der erste Tagesbruch über dem Grubenfeld des Salzbergwerkes Leopoldshall I/ II. Deshalb wurde bereits 1878 in Preußen und 1884 in Anhalt die Versatzpflicht im Kalibergbau eingeführt (SEIFERT & SCHWANDT 1998). Am 01.09.1884 wurde durch das Oberbergamt Halle verfügt, dass die bestehenden Abbauräume des Kalibergbaus innerhalb von 5 Jahren durch Versatz zu stabilisieren seien (Anonym 1931, 170). Trotzdem treten im Raum Staßfurt Gebirgsschläge 1879, 1880 sowie 1901 und Tagesbrüche 1893, 1898, 1899 sowie 1971 auf, im Bereich Neustaßfurt ein Gebirgsschlag 1959 und ein Tagesbruch 1975, der sich 1998

erweiterte. Die Gruben im Bereich der SW-Flanke des Staßfurter Sattels ersaufen im Zeitraum 1900 bis 1914, die restlichen Schächte werden im Zeitraum 1974-79 geflutet (SEIFERT & SCHWANDT 1996, 75).

Für die Endlagerung radioaktiver Abfälle sind im Werra-Gebiet die Schächte Salzungen, Springen 1-3 und Alexandershall untersucht worden, im Südharz-Revier die Schächte Gebra-Lohra und Glückauf I-VIII, im haleschen Revier die Schächte Halle und Saale, im Nordharz-Revier die Schächte Neuwerk I und II (Bernburg), Brefeld-Tarthun II, Neustaßfurt VI und VII sowie Bartensleben und Marie; seit 1970 in Anwendung unterschiedlicher Ausschlußkriterien nur noch die Schächte Springen 1-3 und Bartensleben und Marie (BLANKE & EBEL 1999, 91).

2.2 Werra-Kalirevier

Das Werra-Fulda-Kaligebiet (Vorratsgebiet) erstreckt sich über eine Fläche von insgesamt 1100 km². Es wird begrenzt durch die Hunsrück-Oberharz-Schwelle (N), die Spessart-Rhön-Schwelle (S), dem Thüringer Wald (NE) und dem Vogelsberg (SW) (BLASIG 1993).

Die Kaliflöze Hessen und Thüringen gehören dem Zechstein 1 an und werden durch das Mittlere Werra-Steinsalz getrennt und das Obere und Untere Werra-Steinsalz geschützt. Sie fallen generell nach SW ein, wobei die Mächtigkeit des Deckgebirges von 500 auf etwa 1 200 m zunimmt. Die großräumigen geologisch-tektonischen Strukturformen des Werra-Gebiets werden im Niveau der Kalilager (450-900 m Teufe) durch eine voneinander unabhängige Spezialfaltung (4. und niedrigerer Ordnung) beider Flöze modifiziert. Häufiger als in anderen Kalirevieren treten im Werra-Revier Bruchverformungen im Salinar auf, da hier im Tertiär eine Neubelebung der Tektonik erfolgte. Im Werra-Kalirevier sind die zum Werrazyklus (Zechstein III) gehörenden Flöze Thüringen (K1 th) und Hessen (K1 H) wirtschaftlich nutzbar, wobei das 50-70 m über dem Flöz Thüringen liegende, schon erheblich abgebaute, Flöz Hessen ein wesentlich kleineres Areal als das Flöz Thüringen einnimmt. Während das untere Flöz Thüringen unterschiedlich als Hartsalz, Sylvinit, Mischsalz und Carnallitit ausgebildet ist und Mächtigkeiten von 2-3 m im Randbereich und im Beckenbereich 20- 80 m erreichen kann, besteht das obere Flöz Hessen vorwiegend aus kieseritischem Hartsalz und erreicht Mächtigkeiten von 2-3 m; zum Teil wird es durch ein Begleitflöz im Beckeninneren ergänzt. Die flache Lagerung beider Flöze ermöglicht den förderungstechnisch und wirtschaftlich günstigen Abbau als Kammer- und Kammerpfeilerbau ohne notwendige Versatzeinbringung mit Abbauverlusten von 24-60%.

Tab. 3. 10: Kaliförderung im Werra-Fulda-Kalirevier (nach KÄDING 2001, 437)

Parameter		Zeitraum 1901-2000	Zeitraum 2001-2050
A-C-Vorräte	[10 ⁶ t] a	1 210	1 200
Lebensdauer	[a]	100	50
Produkte (20% Rohsalz)	[10 ⁶ t]	242	240
Rückstände (gesamt)	[10 ⁶ t]	968	960
Aufhaldung	[10 ⁶ t]	270	620
			362 (Haldenkapazität)
			363
Versenkung	[10 ⁶ m ³]	924	480
			665 (Hohlraumkapazität)
(gelöste Salze)	[10 ⁶ t]	312	155
Gewässereinleitung	[10 ⁶ t]	383	110
Versatz	[10 ⁶ t]	3	75 (Untereibzsch)

a A-C1-Vorräte: sichere bis durchaus mögliche Lagerstättenvorräte

Über die Grundwasserführung der zechsteinzeitlichen bis triassischen Festgesteinsfolgen berichtet HESSMANN (1983), wobei einerseits in bruchlosen Gebieten ihre Funktion als Grundwasserstauer hervorgehoben, andererseits bei ausreichender Dislokationsintensität und Vergitterung von rheinisch, rhönisch bis herzynisch streichenden Störungszonen auf eine kommunikative Verbindung untereinander bzw. bis in die Salinarabfolge, einschließlich des Plattendolomits, aufmerksam gemacht wird. Auf das offenbar den Flußverlauf bestimmende, flach erzgebirgisch streichende Werratal-Störungssystem und die dieses mehrfach kreuzenden und dadurch Auslaugungssenken (HIEKEL 1972) festlegenden, herzynisch bis flachherzynisch streichenden Störungszonen sowie die überregional bedeutsame Tiefenstörung Dankmarshausen-Dippach-Dönges im Norden des Gebietes sei besonders hingewiesen (HESSMANN & RICHTER 1978).

Für die Beseitigung der festen Rückstände stehen im Kalibergbau bzw. bei der Kalisalzverarbeitung die übertägige Aufhaldung (s. Exkurs: Halden) und der untertägige Versatz, für die flüssigen Rückstände die Einleitung in Gewässer (s. auch Exkurs: Steuerung der Salzabwässer) oder die Versenkung in den Untergrund (s. Exkurs Versenkung der Salzabwässer) zur Verfügung. Dafür sind im Werra-Gebiet die Voraussetzungen günstig. Im Werra-Fulda-Gebiet wurden seit Beginn des Bergbaus bis zum Jahr 2000 insgesamt 262x10⁶ m³ (nur auf hessischer Seite) aufgehaldet und 924x10⁶m³ Salzabwässer (gesamtes Werra-Kalirevier) in den Untergrund versenkt (KAEDING 2001, 436). Insgesamt wurden vom 688 km² großen Werra-Kalirevier ~450 km² (150 km² thüringischer Anteil, 300 km² hessischer Anteil) durch die Versenkung beeinflusst.

Tab. 3. 11: Übersicht über die Kaliwerke und Schachtanlagen im Werra-Fulda-Kalirevier
(ergänzt nach HÜLSEMANN 1930, BAUMERT 1932, HORNUMG 1932, HOPPE 1960,
EISENBACH & PAULINYI 1998, HARTMANN ET AL. 2003 sowie KÄDING 2001, 434)

Schachtanlage	Synonyme Bezeichnung	Abteufung von bis	Teufe [m]	Status 1930	Stilllegung	Ersoffen	Bemerkungen
Kaliwerk Merkers * a							
Kaiseroda I	Hämbach	1895 1901	391	R	1966		
Kaiseroda II	Merkers II	1911 1914	529	F	1993		
Kaiseroda III	Merkers I	1911 1914	474	F	1993		
Dietlas	Ghz. v. Sachsen I	1898 1904	560	F	1926/ 1966		
Menzengraben I	Ghz. v. Sachsen II	1911 1915	538	F	1926/ 1966		
Menzengraben II	Ghz. v. Sachsen III	1911 1923	542	R	1926/ 1966		
Bernhardshall	Salzungen/ Heldburg	1896 1899	332	S	1926		
Kaliwerk Dorndorf * b							
Springen I	Heiligenroda I	1908 1909	388	F	1992		
Springen II	Heiligenroda II	1912 1913	356	F	1992		
Springen III	Heiligenroda III	1912 1914	380	R	1992		
Springen IV	H. IV (Dönges I)	1911 1913	435	S	1922		
Springen V	H. V (Dönges II)	1912 1914	411	S	1922		
Alexandershall I	Berka	1899 1902	391	F	1931/ 1967		
Alexandershall II	Abteroda	1911 1915	467	R	1922		
Alexandershall III	Dankmarshausen	1910 1914	434	S	1922	nach 1926	
Kaliwerk Unterbreizbach * c							
Sachsen-Weimar	Unterbreizbach I	1905 1908	722	F			(Werk Werra) Förder- Schacht Wetter- Schacht
Sachsen-Weimar 2 +	Ub. II (= Mühlwärts)	1955 1962	829	-			
Buttlar	Bonifacius	1910 1914	408	A			
Hannover- Thüringen	Heiligenmühle (Sch. I)	1911 1914	566	A		1914	
Hannover- Thüringen	Mariengart (Sch. II)	1911 1914	574	A		1914	
Großherzogin Sophie	Stadtlengsfeld	1912 1914	85	A			
Kaliwerk Wintershall °							
Grimberg	Wintershall	1900 1902	546	F			(Werk Werra) Förder- Schacht Wetter- Schacht
Heringen		1907 1911	470	R			
Herfa		1911 1913	770	S	(1950)		Untert.- Deponie
Neurode		1911 1913	731	S	(1950)		Untert.- Deponie
Kaliwerk NeuhoF-Ellers							
Neuhof °°	W.v. Recklingsn.	1906 1912	560	R	(1927-53)		Förder- Schacht Wetter- Schacht
Ellers °°		1912 1921	522	R	(1927-53)		
Haidkopf		1913 1914	14	A			
Hessenmühle		1914	15	A			
Schacht V		1914	10	A			
Kaliwerk Hattorf °							
Hattorf		1905 1908	711	F			(Werk Werra) Förder- Schacht Wetter- Schacht
Heimboldshausen		1911 1913	809	S			
Ransbach		1909 1915	814	R			Wetter- Schacht

* thüringischer und ° hessischer (°° Fulda-) Anteil des Werrakalireviere

a Kaliwerk "Ernst Thälmann" (1991 stillgelegt)

b Kaliwerk "Wilhelm Pieck" (vormals "Einheit") (1990 stillgelegt)

c Kaliwerk "Marx-Engels" (Unterbreizbach)

A Abteuf-, F Förder-, R Reserve-, S stillgelegter Schacht

EXKURS:

Halden im Kalibergbau des Werra-Kalireviers

Im Kalibergbau entsteht im Durchschnitt durch die untertägige Sprengung aus 1 m³ Salzgestein ein Haufwerk von 1,8 m³, von dem nur 0,3 m³ nutzbar sind; da von den verbleibenden 1,5 m³ im Durchschnitt nicht mehr als ca. 0,7 m³ untertägig wieder als Versatz eingebracht werden können, müssen ca. 0,8 m³ Rückstand übertage aufgehaldet werden. Die im technologischen Prozeß anfallenden Löserückstände können untertage als Versatz in abgebaute Feldesteile des Grubengebäudes eingebracht oder müssen übertage aufgehaldet werden.

Im Werra-Fulda-Kalirevier fielen 1971 53 % feste Rückstände an, von denen 33 % aufgehaldet und 20 % versetzt wurden. Von den flüssigen Rückständen wurden 40 % versenkt und 7 % in das Gewässer eingeleitet (PÖRTGE 1999, 67). Im Jahr 2000 (1973 wurde das elektrostatische Trennungsverfahren ESTA eingeführt) sind aus 22,6x10⁶ t Rohsalz 4,6x10⁶ t Produkte hergestellt worden. Dabei fielen 74 % feste und 26 % gelöste Rückstände an. Von den Rückständen wurden 67 % aufgehaldet, 7 % versetzt, 14 % versenkt und 12 % abgestoßen (KAEDING 2001, 436). Bisher sind im Bereich des hessischen Anteil des Werra-Fulda-Kalireviers insgesamt seit Beginn des Bergbaus bis zum Jahr 2000 262x10⁶ t auf 3 Großhalden (8x10⁶ t entfallen auf kleinere Halden) aufgehaldet worden; die noch verfügbare Haldenkapazität wird mit 362x10⁶ t angegeben (a.a.O.); die Rückstandshalden in Merkers erreichen 11,2 ha, in Dorndorf 6,2 ha.

SPEZIAL: Versenkung von Salzabwässern

Die Versenkung hochmineralisierter Wässer in den Untergrund wurde im Werra-Revier nach frühen Vorschlägen (1881 durch HENOCH-GOTHA und 1917 durch BORNHARDT ; (SPACKELER 1957) trotz fehlgeschlagener Versuche in Vienenburg, Carlsfund und Prinz Albert, zeitlich befristet in Ronnenberg (0,003x10⁶ m³), Achenbach (5x10⁶ m³) und Beienrode (1x10⁶ m³) (1902), einem Vorschlag BEYSCHLAGs & FULDAs (1921) folgend, seit 1924 (versuchsweise) bzw. 1925 (planmäßig in der Werra-Aue nördlich Kieselbach) angewandt (STOLLE 1958) und ist auch für das Südharz-Revier 1924 (Beberstedt) und 1929 (Hüpstedt) erprobt und 1964 nochmals erörtert worden (SEIDEL 1964).

Für die Versenkung sind die geologische Struktur der Versenkräume, die petrographische Beschaffenheit, Klüftigkeit und Porosität der aufnehmenden Gesteinsschichten sowie die Teufe und die Betriebsweise der Versenkbohrungen ausschlaggebend. Als Versenkhorizont war zunächst der Plattendolomit (Ca 3) des Zechstein III vorgesehen, der durch 10 m mächtige Obere Letten gegen den hangenden Unteren Buntsandstein und durch 35 m mächtige Untere Letten gegen das Liegende abgeschlossen erschien. Im Normalprofil befin-

det sich die Unterkante des Plattendolomits ca. 160 m über dem Flöz Hessen und ca. 220 m über dem Flöz Thüringen.

Neben seinem hydrodynamischen Abschluss zum Hangenden und Liegenden erschien der Horizont des Plattendolomits deshalb besonders geeignet, weil er aus plattigen und bankigen Kalksteinen besteht, die bei Bohrungen und Schachtabteufungen oft klüftig und wasserführend waren; Deponiemöglichkeiten im Subsalinar (Rotliegendes) im Raum Frauensee-Dönges und Weilar-Urnshausen wurden nicht in Anspruch genommen (HAASE 1963). Die anfängliche Überbewertung der Aufnahmefähigkeit wurde vor dem Hintergrund fazieller Differenzierungen des Plattendolomits (DEUBEL 1954) korrigiert.

Während des Versenkbetriebs wurde zudem erkannt, dass nicht allein der 20-25 m (Werra-Becken; im Fulda-Becken nur ca. 5 m) mächtige Plattendolomit mit einem Kluft- (maximal 1 %) und Porenvolumenanteil von ca. 10 % (maximal 15 %), sondern auch Auslaugungssenken in Gebieten des Salzspiegels bzw. des Salzhangs mit verbrochenem Deckgebirge bis mehrere 100 m Mächtigkeit im Ergebnis tektonisch begünstigter Subrosionstätigkeit (HAASE & OETTEL 1963, GRUMBT & LÜTZNER 1966, SCHWANDT ET AL. 1986; SCHWANDT 1991) als Deponieräume fungieren müssen; der Durchlässigkeitsbeiwert erreicht im Salzhangbereich und Subrosionssenken mit $10^{-5} - 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ die Größenordnung von körnigem bis feinkörnigem Sand im Lockergesteinsbereich.

Konsequenz dieser Verhältnisse ist, dass die Versenkung bzw. Verpressung nicht in ein hydrogeologisch und hydraulisch geschlossenes, sondern in ein lateral und lokal auch vertikal in das Hangende offenes System bzw. in ein nur quasi-geschlossenes System (FINKENWIRTH & FRITSCH 1993) erfolgt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der durch die Verpressung beeinflusste Druckspiegel $nx10 - nx100 \text{ m}$ über dem Niveau der Oberkante des Plattendolomits liegen kann. In Druckentlastungsgebieten, wie z.B. der Werraue zwischen Widdershausen und Dankmarshausen kann vor diesem Hintergrund die Zunahme der Chloridbelastung ($20-15 \text{ kg s}^{-1} \text{ Cl}$) nicht durch Direkteinleitungen erklärt, sondern muss als "diffuser Eintrag" bzw. Versenkrücklauf gewertet werden. Die Kennzeichnung des Plattendolomits als „weitgehend geschlossenes“ System (KÄDING 2001, 435) ist somit nicht nur unrichtig, sondern irreführend.

Das Gebiet der Werratalaue kann schon für historische Zeiten als geogenes Salzwasser-aufstiegsgebiet (Entlastungsgebiet von Tiefen- bzw. Formationswässern) bezeichnet werden. Durch den Versenkungsdruck erfolgt im Bereich der Werraue ein Druckaufbau um 2-3 bar, der bei einer Dichte von $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ einen Anstieg der Grundwasserdruckfläche von 16-25 m nach sich zieht, die dadurch über den mittleren Werrawasserstand ansteigt. Dadurch gelangen Formations- und gegebenenfalls auch Salzabwässer aus dem Plattendolomit in den hangenden Unteren Buntsandstein bis in das quartäre Grundwasserstockwerk und aus dem Aquifer in die Werra (SKOWRONEK ET AL, 1999).

Als Versenkkräume standen auf thüringischer Seite die Auslaugungssenken Tiefenort-Kieselbach ($\sim 32,5 \times 10^6 \text{ m}^3$), Oberzella-Vacha ($\sim 400 \times 10^6 \text{ m}^3$), Unterbreizbach ($\sim 56,2 \times 10^6 \text{ m}^3$) und Horschlitt ($\sim 310 \times 10^6 \text{ m}^3$) mit einem insgesamt geschätzten Deponievolumen von $\sim 800 \times 10^6 \text{ m}^3$ zur Verfügung, das im Zeitraum 1925-1967 zu über 50 % beansprucht worden sein dürfte (HOPPE 1960; 1962; HAASE 1963; SCHRÖDER 1963). Auf hessischem Gebiet wird mit einem nutzbaren Hohlraumvolumen des Ca 3 von $1\,090 \times 10^6 \text{ m}^3$ gerechnet, das in den Versenkkräumen Hönebach und Philipsthal bis 1992 mit $625,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ zu ca. 57 % beansprucht worden ist (FINKENWIRTH & FRITSCH 1993). Eine Übersicht über die Versenkkräume des Werra-Kalireviers gibt Tab. 3. 12.:

Tab. 3. 12: Betriebszeiten der Versenkkräume des Werra-Kalireviers (nach CERNY 1993, 175)

Thüringischer Anteil		Hessischer Anteil	
Versenkraum	Inanspruchnahme	Versenkraum	Inanspruchnahme
Tiefenort-Kieselbach	1925-1963		
Dankmarshausen	1928-1930	Hattorf	1928-heute b
Springen	1929-1968 a	Heringen	1929-1967
Vacha	1948-1968 a	Bodesruh-Kleinensee	1958-heute b c
Gospenroda-Dippach	1957-1968 a		
Frauensee-Wünschensuhl	1964-1968 a	Eichhorst	1967-heute b c

a die Versenktätigkeit wurde 1968 eingestellt

b die Aufnahmefähigkeit wird auf $400 \times 10^6 \text{ m}^3$ geschätzt

c die Wässer migrieren in Richtung Eiterfelder Mulde

Die anfallenden Salzabwässer des thüringischen Anteils des Werra-Kalireviers wurden mit Hilfe einer Zwischenspeicherung in Erdbecken ($0,145 \times 10^6 \text{ m}^3$) und Stapeltanks ($0,045 \times 10^6 \text{ m}^3$) über ca. 100 km, meist erdverlegte Gußrohrleitungen (NW 300-400 mm mit einem Nenndruck von 10-25 kp cm^{-2}) mit 9 Pumpstationen zu den Versenkbohrungen geleitet (THOMAS 1954; POSCHKE 1965), die bei Versenkdrücken von 490-1 570 HPa (5-16 kp cm^{-2}) Versenkleistungen im allgemeinen zwischen $100\text{-}300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ erreichten; auf hessischer Seite stehen als technischer Stapelraum $0,215 \times 10^6 \text{ m}^3$ zur Verfügung. Die Standorte der Versenkbrunnen war von den geologischen Voraussetzungen abhängig. Bis 1960 wurden in ca. 50 Bohrungen, einschließlich des Schachtes Dankmarshausen, Versenkversuche vorgenommen; 36 Bohrungen wurden mit dem Ziel der Abwässerversenkung niedergebracht. 1967 existierten auf einer Fläche von ca. 150 km^2 20 Versenkbrunnen mit 200-700 m Teufe.

Seit Beginn der Versenkung im Jahr 1925 bis zum Jahr 2000 sind nach offiziellen Angaben insgesamt $924 \times 10^6 \text{ m}^3$ Salzabwässer versenkt worden, davon auf hessischer Seite $688 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Wintershall: $334 \times 10^6 \text{ m}^3$; Hattorf: $354 \times 10^6 \text{ m}^3$) und auf thüringischer Seite $236 \times 10^6 \text{ m}^3$ (KÄDING 2001, 436).

Die für Werra-Teilstrecken berechneten Versenkrückläufe, ausgedrückt als Chloridbelastung [kg s^{-1}], stiegen bei unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Versenkkräume (I, II und III) von 24,3 (1952-1967) auf 35,8 (20,7) (1968-1976) an. Werden nur die Versenkkräume I und III berücksichtigt, betrug der Anstieg der Cl-Belastung 6,1 (1952-1967) auf 20,7 (1968-1976); im

Zeitraum 1968-1994 (RÖDEL 1997) erreichten letztere Werte $23,7 \text{ kg s}^{-1}$, mit allerdings seit Mitte der 80er Jahre abnehmender Tendenz

Zur Verminderung der Salzbelastung wurden deshalb einerseits Vorschläge zur Einrichtung einer Salzlaststeuerung analog der Salzlaststeuerung im Saale-Gebiet ausgearbeitet (AURADA 1977), in deren Rahmen später (1979) als zunächst eigenständige Lösung für den thüringischen Anteil die seit 1979 mit dieser Zielstellung erkundete Gerstunger Mulde als Pufferspeicher (reversible Deponie) und die Horschlitter Mulde als Entlastungsraum als eine Verbundlösung mit einer Kapazität von $1,0\text{-}1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ Volumen und einer Reduzierung um ca. $8 \text{ kg s}^{-1} \text{ Cl}^-$ konzipiert worden sind (HEINZ 1993; STRUBE 1993). Beide Steuerglieder gestatten als bewirtschaftbares Speicher- bzw. Verzögerungsglied eine vorfluter- bzw. wasserführungsabhängige Einleitung von Salzabwässern und sind in dieser Funktion den technischen Steuergliedern des Südharz-Kalireviers im thüringischen Wipper-Gebiet (Südharz-Kalirevier) bzw. einem technisch möglichen Stapelraum Springen ($3\text{-}4 \times 10^6 \text{ m}^3$) vergleichbar. Die Pufferspeicherung in der Gerstunger Mulde (22.06.1999) besteht aus einer Kombination von Versenkung durch muldentiefe Bohrungen, Kontrolle der Druckdynamik und des Auffüllungsprozesses und Rückförderung durch Tiefpumpen bei hoher Wasserführung der Werra (HECHT 2001, 23) und ermöglicht durch diesen Verzögerungs- bzw. Steuerungseffekt überhaupt die Produktion des Kaliwerkes Unterbreizbach (STRUBE 2000 a, b).

Im Zusammenhang mit dem Ausbau von Großschifffahrtswegen zwischen Nordsee und Schwarzem Meer hatte bereits RAGOCZY (1916) in den Einzugsgebieten der Werra 7 Talsperren mit $285 \times 10^6 \text{ m}^3$ Inhalt (u.a. auch die später erreichten Speicherräume Schleusingen und Ellinghausen) und Fulda 5 Talsperren mit $395 \times 10^6 \text{ m}^3$ Inhalt (außer den Talsperren Eder und Diemel) vorgeschlagen. Ausdrücklich wurde in diesem Zusammenhang auch die Beeinflussung der Werra-Versalzung durch die Kaliindustrie berücksichtigt. KAEDING (1955) hielt eine Niedrigwasseraufhöhung von $10\text{-}15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in der Werra für erforderlich, deren Gewährleistung einen Talsperrenspeicherraum von $21\text{-}64 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Durchschnittsjahr) bzw. $60\text{-}145 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Trockenjahr) zur Voraussetzung hätte (a.a.O., 321). Die Fließzeiten für die Fließstrecke Gerstungen-Bremen werden mit 23 - 30 Tagen bei Niedrigwasserführung und mit 10 - 15 Tagen bei Mittelwasserführung angegeben (LÜSSEM 1967). Mit Hilfe der Eder-Talsperre ($202,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ Inhalt) im Eder-Fulda-Weser-Flußsystem könnte bei einer Lauflänge von ca. 88 km bis zur Vereinigung von Fulda ($6\,950 \text{ km}^2$) und Werra ($4\,215 \text{ km}^2$), $70 \times 10^6 \text{ m}^3$ Speicherraum in der oberen Werra und $180 \times 10^6 \text{ m}^3$ Speicherraum in der oberen Schwarza (Überleitung) sowie der weiter unterhalb gelegenen Diemel-Talsperre ($1\,759,3 \text{ km}^2$ und 44,8 km Laufweg) erschiene ein Verdünnungseffekt von etwa 50 % (bei Mittelwasserführung) erreichbar; 1966-1975 wurden aus der Eder-Talsperre $166,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ Zuschusswasser abgegeben (AURADA 1977). Mit $12\,925 \text{ km}^2$ hätte dieses Steuerungssystem die Größenordnung des Saalesteuerungssystems erreicht.

2.3 Südharz-Kalirevier

Entgegen der im späten 19. Jahrhundert herrschenden Lehrmeinung der "Barrentheorie" von CARL CHRISTIAN OCHSENIUS (1830-1906), die später durch die "Durchsickerungshypothese" ERNST FULDAs (1885-1960) begleitet wurde, wurde auch südlich des Harzes nach Kalisalzen gesucht.

Neben über 40 Solquellen (REMUS & ZIESCHANG 1975, 425) waren es auch die Salinen, wie Artern, Frankenhausen, Sulza und Dürrenberg, die ihren Aufstieg JOHANN GOTTFRIED BORLACH (1687-1768) zu verdanken hatten, Ausgangspunkte einer regen Bohr- und Schachttätigkeit im ausgehenden 19. Jahrhundert (1891-1896). Nachdem 1891 eine Bohrung bei Kehmstedt nahe Nordhausen Kalivorkommen nachwies, wurden 1893 (Brügman-Schacht bei Sondershausen) und 1899 (von Velsen I-Schacht bei Bleicherode) Schächte angesetzt. In diesen Zeitraum gehören auch die Kalischächte im Werra-Revier (Kaiseroda 1895 und Dietlas 1898) sowie in der Mansfelder Mulde (Johannashall 1897 und Ernst-Schacht 1898).

Während im W des Südharz-Kalireviers eine weitspannige, annähernd konforme Verfallung des Grund-, Salinar- und Deckgebirges mit den herzynen Strukturelementen Leinefelder Sattel, Ohmgebirgsmulde, Haynröder Sattel und Bleicheröder Mulde herrscht, liegt im E-Teil ein einheitliches, etwa 5 ° betragendes Generaleinfallen des Schichtenverbandes zum Thüringer Becken vor. Nach SE allmählich steiler werdend, leitet es in die ausgeprägte Flexur der Schmücke und schließlich in die Finnestörung über. Im S wird das Kalirevier durch mehrere breitgewölbte herzyne Strukturen flankiert. Im Niveau des Kalilagers (400-900 m Teufe) ist dieser einfache großtektonische Strukturbau durch eine durch fließtektonische Bewegungen der plastischen Salzmassen verursachte Spezialfaltung überprägt.

Die entlang des Ohmgebirges und der Hainleite verlaufende Südharz-Lagerstätte im Staßfurtflöz-Verbreitungsgebiet (K 2) geht südlich des Kyffhäusers nach SE in den Bereich der Fazies des Unstrut-Kaligebiets über.

In seiner Ausbildung variiert das Kalisalzlager im wesentlichen zwischen Carnallit, Hart- und Vertaubung, die vielfach im Flözprofil auch gemeinsam auftreten. Dabei sind Vertaubungszentren sowohl im östlichen Vorfeld der Eichsfeldschwelle (Groß- und Kleinbodungen) als auch im Bereich der zechsteinzeitlichen Kyffhäuserschwelle (nord- und südöstlich Sondershausen) vorhanden; sie führen zu einer engräumigen sowohl vertikalen als auch horizontalen Verzahnung der Salzgesteine. Der Bergbau ging im Südharz-Kalirevier zuletzt in Teufen von 400 bis 850 m (nördlich Dün und Hainleite) bzw. 850-1100 m (südlich Dün und Hainleite) um (HOPPE & SEIDEL 1974; MESSER 1978).

Tab. 3. 13: Übersicht über die Kaliwerke und Schachtanlagen des Kalibergbaus im Südharz-Kalirevier (ergänzt nach DUNCKER 1929; HOFFMANN 1972 und LÖFFLER 1962)

Schachtanlage	Synonyme Bezeichnung	Abteufung von bis	Teufe [m]	Status 1930	Stilllegung	Ersoffen	Bemerkungen
Kaliwerk Sollstedt							
Sollstedt		1902 1904	719	F	1994		
Bernterode I	Preußen	1905 1906	572	R	1931	1957	
Bernterode II	Sachsen	1912 1914	588	R	1931	1957	
Neu-Sollstedt		1910 1912	641	S	1924		
Gebra		1911 1912	665	F	1936		
Lohra		1911 1912	679	F	1936		
Kraja I		1911 1912	569	F	1967		
Kraja II		1913 1915	598	R	1967		
Kaliwerk Bischofferode							
Bischofferode I	Holungen	1910 1912	610	R	1993		Flutung (20-30 Jahre)
Bischofferode II	Weidtmannshall	1909 1913	600	F	1993		von 30 Mio m ³ Hohlraum b
Neu-Bleicherode		1906 1908	672	F	1926		1948
Ferna		1911 -		A	-		1914
Westohm		1911 -		A	-		1913
Kaliwerk Bleicherode							
Bleicherode I	von Velsen I	1899 1901	664	F	1994		seit 1981/ 1988 Solfeld
Bleicherode II	von Velsen II	1902 1904	630	F	1994		Kehmstedt (DEUSA) c
Kleinbodungen I	Althans I	1911 1913	659	R	1932		
Kleinbodungen II	Althans II	1911 1913	638	R	1932		
Kaliwerk Sondershausen							
Glückauf I	Brügman	1893 1895	675	F	1992		Feldesfläche ca. 25 km ² d
Glückauf II	Bebra/ Petersen	1909 1910	793	R	1992		Grubengebäude 51 Mio m ³
Glückauf III	Berka/ Müser	1911 1913	655	S	?		(unversetzt ca. 20 Mio m ³)
Glückauf IV	Gl.-Ost/ Raude	1911 1913	746	R	1924		
Glückauf V	Gl.-Ost/ Esser	1912 1914	752	F	1992		(in allen Glückauf-Sch. d
Glückauf VI	Gl.-Ost/ Nesse	1912 1913	696	F	1992		Verfüllsäulen-Verwahrung)
Ludwigshall		1905 1907	681	R	1926		
Hain I	Wolkrams- hausen I (Nordhäuser Kaliwerke)	1911 1912	600	S	?		
Hain II	Wolkramshausen II	1911 1912	628	S	?		
Immenrode		1905 1908	838	R	?		
Günthershall ^a		1905 1907	621	R	1925	1936	
Schwarzburg ^a		1910 1912	745	S	1926	1925	
Ghz. Wilhelm- Ernst I ^a		1905 1907	593	S	1922		
Ghz. Wilhelm- Ernst II ^a	Haintal	1912 1914	565	S	1922		
Kaliwerk Volkenroda (Menterode)							
Volkenroda	H.z.Karl-Eduard	1906 1909		F			
Pöthen I		1910 1912		R	1994		
Pöthen II		1910 1914		R	1994		
Felsenfest		1909 1912	868	S	1925	1938	
Hüpstedt		1911 1912		S		1938	
Beberstedt		1912 1913		S		1938	
Westohm		1914 -	384	A	-		
Wintzingerode		1914 -		A	-		

(Bleicherode, Sollstedt und Bischofferode sind z.T. mehrfach miteinander durchschlägig [HELLMANN & MARGGRAF 2001].

a Die Abgrenzung zwischen dem Südharz- und dem Unstrut-Saale-Revier erfolgt auf der Grundlage einer unterschiedlichen Ausbildung der Zechsteinabfolge und verläuft zwischen den stillgelegten Schächten Glückauf III und Günthershall (KRÖLL & NACHSEL 1967).

b nach BODENSTEIN (2001)

c nach KRUMBEIN (2001): am 28.11.1981 erste Sonde in Betrieb; seit 1993 als Teil der DEUSA Solbergwerke und Aufbereitungs GmbH.

d nach WEIGERT & ET AL. (2001, 8-2 und 8-7)

A Abteuf-, F Förder-, R Reserve-, S stillgelegter Schacht

SPEZIAL: Ableitung von Salzabwässern

Die Ableitung hochmineralisierter Wässer außerhalb der Fließgewässer lässt sich bereits 1579 (Artern-Naumburg) als Kanal-Projekt nachweisen (Staatsarchiv Magdeburg 1579). Sie wurde im Nordharz-Kalirevier durch eine 24,5 km lange Rohrleitung von den Kalisalzfabriken Aschersleben in die Bode unterhalb von Neugattersleben (LÖFFLER 1962, 90) und im Südharz-Kalirevier seit 1968 als sogenannter Kopfteil eines ursprünglich bis Plötzkau/ Saale bzw. Magdeburg/ Elbe projektierten Salzabwasserkanals praktiziert. Ableitungen hochmineralisierter Wässer mit Hilfe eines Kanals oder einer Rohrleitung waren nach frühen Diskussionen (1888 für das Staßfurt-Revier durch KRAUT & LAUMHARDT; JENDERSIE 1969) und Erprobungen im Kaliwerk Aschersleben (LÖFFLER 1962), vom Werkverbund Wefensleben, Burbach, Walbeck und Braunschweig-Lüneburg und im Werkverbund Bischofferode, Sollstedt und Bleicherode zur Wipper (32,4 km) 1967-1968 bzw. 1969 durch eine gesonderte Anlage für das Kaliwerk Sondershausen ergänzt, realisiert worden.

Diese als sogenannter "Kopfteil" eines Salzabwasserkanals projektierten Steuereinrichtungen, die die Option ihrer späteren Integration in einen solchen Kanal (mit Mündung unterhalb Halle in die Saale bzw. unterhalb der Saalemündung in die Elbe, also unter Umgehung des wasserwirtschaftlich intensiv genutzten Ballungsraumes) offenhielten (KOHL 1964), schließen die Steuerglieder sowohl zur Zwischenspeicherung schwerer Salzabwässer als auch ihrer durchflußabhängigen Dosierung in die Wipper-Unstrut-Saale ein; ihre wichtigsten technischen Parameter enthält Tab. 3. 14:

Tab. 3. 14: Technische Angaben zu den Steuereinrichtungen (Salzlaststeuerung)

Parameter	Verbund Stapelbecken Wipperfurth				Sondershausen	
	Kaliwerk Bischoff. Stapelbecken	Kaliwerk Sollstedt Stapel-tank	Kaliwerk Bleicher. Stapel-tank	Stapelbecken Wipperfurth. a Teilbecken I II	Kaliwerk Sondershausen Stapel-tanks b	
Höchststau [mNN]	-	-	-	222,50	-	-
Normalstau [mNN]	-	-	-	222,40	-	-
Nutzb. Inhalt [m³]	1750	8000	8000	410000 330000	48000	-
Totraum [m³]	-	-	-	9400 21300	-	-
Auslauf [mNN]	314,62	273,00	227,00	-	207,00	-
Anschlußltg. [mm]	200	250	200	500	300	-
Gefälle [‰]	5,55	5,41	1,20	-	-	-
Einlauf [mNN]	-	-	-	224,00	-	-
Inbetriebnahme	10.09.68	05.07.67	19.07.67	10.01.68	17.03.69	-

a Das Stapelbecken existiert als untergrundabgedichtetes, zweigeteiltes Erdbecken als Nebenschlußspeicher. Der ursprünglich erwogene Anschluß des Kaliwerkes Volkenroda mit Hilfe eines 13,5 km langen Stollens (Pöthen-Obergebra) ist nicht zur Ausführung gelangt. Für das Kaliwerk Volkenroda existierte ein Haldenlösungsstapelbecken mit $0,090 \times 10^6$ m³ Volumen, das über den Skornikagraben und Urbach in die Helbe-Unstrut entwässert.

b Nach 1990 ist die Stapeltankanlage aufgelassen worden; aktuell wird ein Haldenlösungsbecken mit einem Volumen von nur noch $0,015 \times 10^6$ m³ betrieben (HARTWIG, SCHOLZ & TSCHERNATSCH 2001, 10).

Ein saaleparallel verlaufender Zuführungskanal zwischen Naumburg und Leuna/ Buna war diskutiert worden (KNOPF 1967); auch für das Werra-Gebiet ist der Bau einer 388 km langen Rohrleitung bis zur Nordsee seit 1911 (TJADEN 1915) und insbesondere zwischen 1977 und 1982 erwogen worden (SINGEWALD 1983).

Mit der Einstellung des Kalibergbaus im Südharz-Kalirevier 1994 ist die Salzbelastung der Fließgewässer Helbe und Wipper zurückgegangen (SCHULZ 2000, WALTER 2002), einen länger anhaltenden Einfluss üben aber die von der Niederschlagstätigkeit gesteuerten Haldenwässer der Rückstandshalden aus (s. Exkurs: Halden)

EXKURS:

Halden im Kalibergbau des Südharz-Kalireviers

Der Kalibergbau im Südharz-Kalirevier hat einen Hohlraum von ca. $150 \times 10^6 \text{ m}^3$ Volumen hinterlassen (STUDE 2001, 7). Neben dem untertägigen Hohlraum existieren 6 großräumige Rückstandshalden mit einer Aufstandsfläche von 310 ha und $167,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Volumen (RAUCHE, THOMA & HARTMANN 2001, 2; LIEBMANN & PARNIESKE-PASTERKAMP 2001, 1; SCHULTZE & KNAPPE 2001, 45).

Tab. 3. 15: Übersicht über Berge- und Rückstandshalden im Südharz-Kalirevier (einschl. Roßleben)

Halde	Inbetr.- nahme	Außerbetr.- nahme	Fläche [ha] a	Volumen [10^6 m^3]
Kaliwerk Sollstedt				
Teufhalde Neu-Sollstedt	1909	1914	0,64	
Teufhalde Gebra	1911	1912	0,53	
Teufhalde Bernterode	1912	1913	?	
Teufhalde Kraja	1913	1914	?	
Rückstandshalde	1942	1952	1,00	
Rückstandshalde Sollstedt	1948	....	52,0 a b	25,0 a b
Kaliwerk Bischofferode				
Teufhalde Neu-Bleicherode	1906	1907	?	
Rückstandshalde Neu-Bleicherode	1908	1926	?	
Rückstandshalde Bischofferode	1920	....	64,0 b	43,0 a b
Kaliwerk Bleicherode				
Rückstandshalde Bleicherode	1899	....	32,0	21,0 b
Rückstandshalde Kleinbodungen	1911	1932	0,90	
Aschehalde Bleicherode			8,22 a b	
Kaliwerk Sondershausen				
Rückstandshalde Sondershausen	1893	....	65,0	27,0 b
Rückstandshalde Ludwigshall	1905	1938	1,70	
Teufhalde Hain	1906	1924	0,10	
Rückstandshalde Sondershausen IV	1911	1924	1,00	
Gesamt: Rückstandshalden			> 198,60	~170,0
Berge-/ Teufhalden			> 1,27	
Aschehalden			8,22	
Haldenaufstandsfläche (gesamt)			> 208,09	
Kaliwerk Roßleben			64,0 b	34,6 b
Kaliwerk Volkenroda			36,0 b	21,5 b

a nach SCHÜRER & KULBE (1997)

b nach PÖRTGE (1999, 69)

In Abhängigkeit von der Stabilität des Produktionsprozesses gelangen zum Teil größere Feuchtigkeitsmengen auf die Halde. Die im aufgehaldeten Rückstand noch vorhandenen löslichen Bestandteile (90 % des unverwitterten Rückstandsalzes; TRAUTVETTER & KOTTMEYER 2001) werden durch atmosphärische Niederschläge aktiviert, fließen als Haldenwässer, gegebenenfalls über die Haldenaufstandsfläche, ab und verursachen bei fehlender Haldenwasserfassung einen nicht beeinflussbaren und damit unerwünschten Salzeintrag in die Gewässer. Die Rückstandshalden des Südharz-Kalireviers geben $4\,150\text{ m}^3\text{d}^{-1}$ Haldenwässer ab (PÖRTGE 1999, 69). Dieser meteorisch ausgelöste Eintrag kann nach einem von AURADA (1978) entwickelten Verfahren aus Niederschlägen vorhergesagt werden. Die mineralogische Zusammensetzung der vier im Wipper-Gebiet vorhandenen und auch nach der Auflassung (1994) des Kalibergbaus bzw. der Kalisalzproduktion im Südharz-Kalirevier auslaugungsaktiven Rückstandshalden ist in Tab. 3. 16 wiedergegeben.

Der Zugang an "Frischrückstand" (aktiver Haldenanteil) wurde für die in der Tab. 3. 16 aufgeführten Halden auf ca. $5\text{-}8\text{ ha a}^{-1}$ geschätzt; in gleicher Größenordnung wird der "Frischrückstand" in "Altrückstand" (passiver Haldenanteil) überführt. Der jährliche Haldenzuwachs für das gesamte Südharz-Kalirevier wurde mit $2,2 \times 10^6\text{ t a}^{-1}$ angegeben. Es wird versucht, die Rückstandshalden systematisch zu begrünen (SCHMEISKY, KUNICK & LENZ 1993)

Tab. 3. 16: Übersicht über die mineralogische Zusammensetzung von aufgehaldetem Fabrikrückstand im thüringischen Wipper-Gebiet

Kaliwerk	Sollstedt	Bischoferode	Bleicherode	Sondershausen	Summe bzw. Durchschnitt
Inbetriebnahme Halde	1948	1920	1899	1893	-
Haldenuntergrund a	sm	sm	sm	sm	sm
Flächenentwicklung [km²]					
1975 b	0,34	0,37	0,29	0,54	1,54
1980 b	0,40	0,40	0,30	0,55	1,65
1985 b	0,51	0,48	0,31	0,59	1,89
1985 b	0,52	0,62	0,32	0,65	2,11
Volumen [10⁶ m³]					
1995 c	25,0	42,0	17,0	27,0	111,0
Mineralog. Zus.-setzung [%]					
	d	d	d	d	e
NaCl	81,4	70,5	69,2	71,1	65,0-82,0
CaSO ₄	13,1	21,3	23,0	17,0	13,0-22,0
MgSO ₄	1,3	2,5	1,7	1,7	1,0- 6,5
KCl	2,1	3,6	2,4	1,8	1,5- 2,7
MgCl ₂	0,5	0,6	1,1	1,3	0,2- 1,8
K ₂ SO ₄	0,2	0,4	n.u.	0,3	0,3- 0,6
MgO	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	0,5- 6,0
Fe ₂ O ₃ und Al ₂ O ₃	n.u.	n.u.	0,4	0,2	n.u.
Unlös. Material	0,2	1,2	0,6	0,3	0,1- 0,5
Wasseranteil	4,8	n.u.	1,6	6,3	3,0- 6,0

a ohne Untergrundabdichtung (LIEBMANN 2001, 5)

b schriftliche Mitteilung des VEB Kombinat Kali vom 21.08.1986

c nach SCHÜRER & KULBE (1997)

d Analysen: Labor der Wasserwirtschaftsleitung Saale-Werra (LÖSER: unveröff. Studie vom 17.08.1972)

e Angaben des Kombinat Kali Südharz

() Schätzwerte

2.4 Unstrut-Saale-und hallesches Kali-Revier

In nächster Nachbarschaft zum Südharz-Kalirevier befinden sich die Kalireviere Unstrut-Saale und das hallesche Kalirevier. Tab. 3. 17 gibt eine Übersicht über die Schachtanlagen dieser beiden Kalireviere. Ein Kalischacht in Artern scheiterte an bergrechtlichen Verhältnissen (DELHAES-GUENTHER 1974, 36)

Tab. 3. 17: Übersicht über die Schachtanlagen des Kalibergbaus im Unstrut-Saale-und dem halleschen Kalirevier (ergänzt nach DUNCKER 1929; LÖFFLER 1962 sowie HARTMANN et al. 2003)

Schachtanlage	Synonyme Bezeichnung	Abteufung von bis	Teufe [m]	Status 1930	Stilllegung	Ersoffen	Bemerkungen
Unstrut-Saale-Revier							
Günthershall a		1904 1907	621	R	1925	1925	
Schwarzburg a		1910 1912	745	S	1925	1925	
Ghz. Wilh.- Ernst I a		1905 1907	593	S	1922	1922	gemeinsame
Ghz. Wilh.- Ernst II a	Haintal	1912 1914	565	S	1922	1922	Schachtanlage
Heldrunge II	Anna	1902 1906	491	S	1923	1926	
Irmgard		1911 1913	405	S		1924	gemeinsame
Walter		1910 1912	430	S		1924	Schachtanlage
Richard	}	1910 1913	576	S	1922		1947 durch
Reichskrone	} gemeinsam	1909 1913	576	S	1922		Expl. versch.
Burggraf	} als „Finnwerke“	1911 1913	599	S	1922		seit 1970: Un- tergrundgas- speicher
Bernsdorf	} bezeichnet	1911 1913	596	S	1922		
Rastenberg	}	1907 1910	659	S	1925	1925	
Roßleben	Roßleben I	1903 1905	437	F	1991		Förderschacht
Wendelstein	Roßleben II	1909 1912	406	F	1991		30 Mio m ³ Vol.
Georg	(Grubenbetr. Wangen	1912 1914	549	R	1991		Förderschacht
Unstrut	zu Roßleben gehörend)	1912 1915	629	R	1991		Weterschacht
Thüringen I		1904 1906	420	S	1923		gemeinsame
Thüringen II		1913 1914	275	A	1921		Schachtanlage
Nebra		1911 1913	492	S	1923		gemeinsame
Orlas		1909 1911	529	S	1925		Schachtanlage
Hallesches Kalirevier							
Vitzthum	Thälmann	1906 1909	608				Cu-Bergbau c
Wolf	(Wolfshall) Fortschritt I	1906 1909	572	S	1926 b		Cu-Bergbau c
Wachler	(Paulshall)	1912 1913	380	S	1926 b		Cu-Bergbau c
Dittrich	(Dittrichshall) Fortschritt II	1907 1914	600	S	1926 b		Cu-Bergbau c
Wils		1908 1911	651	S	1922	1922	
Kurt	(Johannashall)	1900 1902	555	S	1922	1922 d	
Georgi	(Ernsthall)	1898 1902	400	S	1926 b	1980 ?	durchschlägig
Neumansfeld	(Ernsthall)	1910 1911	411	S	1926 b	1980 ?	durchschlägig
Salzmünde		1905 1909	674	R	1924		
Deutschland	(Krügershall)/Teutschenthal	1905 1907	750	F	1982		12 Mio m ³ Vol.
Saale	} Schachtanlage	1910 1912	826	S			durchschlägig
Halle	} Angersdorf	1908 1910	763	R			durchschlägig
Eva		1912	152	A	1925	1925	
Oberröblingen		1909 1913	642	S	1925	1925	
Adler		1906 1908	605	S	1926		

a Die Abgrenzung zwischen dem Südharz- und dem Unstrut-Saale-Revier erfolgt auf der Grundlage einer unterschiedlichen Ausbildung der Zechsteinabfolge und verläuft zwischen den stillgelegten Schächten Glückauf III und Günthershall (KRÖLL & NACHSEL 1967).

b Stilllegung als Kalischacht

c Schacht des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde

d Abführung der Schachtwässer bei ca. 90 m Teufe durch den Henrietten-Stollen zur Saale (1999 Verwahrung) (BUNN & HARTMANN 1999)

A Abteuf-, F Förder-, R Reserve-, S stillgelegter Schacht

Im Bereich des haleschen Kalireviers ereignete sich der bislang letzte größere Gebirgsschlag in einer Kaligrube Mitteldeutschlands.

EXKURS:

Gebirgsschläge

Am 11. 09. 1996, also während des damaligen Exkursionverlaufes, ereignete sich in der Kaligrube Teutschenthal ein Gebirgsschlag, der nicht nur zu Erschütterungen an der Erdoberfläche geführt hat, sondern über mehrere Tausende Kilometer registriert und auch von der Bevölkerung im Umkreis von 80 bis 100 km, auch in Halle-Neustadt, spürbar gewesen ist.

Der Kalibergbau ist in seiner über einhundertjährigen Geschichte verschiedentlich von Gebirgsschlägen betroffen worden, die u.a. von der Baufeldgröße, der Dimensionierung der Pfeiler sowie der Veränderung der gebirgsmechanischen Eigenschaften durch den Kammer-Pfeiler-Abbau abhängen. Sie werden durch lokale Instabilitäten im Abbauhorizont ausgelöst, die sich innerhalb weniger Sekunden über das gesamte Abbaufeld ausbreiten. Seit 1900 wurden im deutschen Kalibergbau 15 größere Gebirgsschläge und Tagesbrüche mit einer Intensität von 5 bis 8,5 auf der MEDWEDEW-SPONHEUER-KARNIK-Skala registriert (THOMA 2001, 25).

Tab. 3. 18: Gebirgsschläge im deutschen Kalibergbau (nach MINKLEY & MENZEL 1999, 44)

Ereignisdatum	Kaligrube	Magnitude	Bruchfeldfläche [km ²]	Senkung [m]	
22.01.1916	Angersdorf	?	0,04	0,1	
24.05.1940	Krügershall	4,3	0,6	0,2	
22.02.1953	Heringen	5,0	0,7	0,6	
08.07.1958	Merkers	4,8	2,0	0,45	
29.06.1961	Merkers	3,7	0,2	0,1	
04.04.1971	Aschersleben	4,6	0,33	0,75	
23.06.1975	Sünna	5,2	3,4	0,7	
02.07.1983	Bleicherode	3,3	0,1	0,07	
13.03.1989	Merkers a	5,6	6,5	1,0	
11.09.1996	Teutschenthal	4,8	2,5	0,5	a Der Gebirgsschlag vom 13. März 1989 unter der Ortslage Völkershausen im Werra-Kalirevier erreichte eine Magnitude von 5,6 und wurde durch einen in nur 2,5 s erfolgenden Sprödbbruch von 3 200 carnallitischen Pfeilern des Grubengebäudes verursacht (HELLMANN & MARGGRAF 2001).

SPEZIAL: Steuerung von Salzabwässern

Eine Steuerung der Salzabwässer des Südharz-Kalireviers erfolgte im Saale-Gebiet mit Hilfe der Saaletalsperren in der Oberen Saale. Sie wurde versuchsweise seit 1943, regelmäßig seit 1963 (KNOPF 1967; MÜLLER 1967) und rechnergestützt von 1963 bis 1998 als Prozessführung durchgeführt (AURADA 1972, 1978, 1979a, 1980, 1982c, 1983, 1997, 2001, 2003; AURADA ET AL. 1976).

Das Flussgebiet der Mittleren Saale repräsentiert ein hochbeanspruchtes wasserwirtschaftliches System (BÜTTNER, KRIPPENDORF & THIELE 1990). Mit herkömmlichen Bewirtschaft-

tungsverfahren konnte die Stabilität der Wasserbereitstellung nicht mehr den gesellschaftlich notwendigen Versorgungs- und Sicherheitsansprüchen gerecht werden. Unter Berücksichtigung der komplexen Nutzungsanforderungen wurde deshalb eine Optimierung der Steuereffekte

- Dämpfung gleichwahrscheinlicher Hochwasserdurchflüsse,
- Aufhöhung gleichwahrscheinlicher Niedrigwasserdurchflüsse,
- Verdünnung anorganischer Wasserinhaltsstoffe,

durch eine Intensivierung der Dargebotsbewirtschaftung mit Hilfe einer Prozessführung des Abflussprozesses angestrebt. Der Begriff "Prozessführung" als Bezeichnung für ein in ein physiogenes System eingebettetes anthropogenes System, dessen quasi-kontinuierlicher Betrieb relevante Eigenschaften des beanspruchten physiogenen Systems nutzt (Echtzeit-Steuerungssystem), wurde von AURADA (1972) geprägt.

Beginnend in den 40er Jahren und zunehmend seit Ende der 50er Jahre wurden die Grenzwerte insbesondere durch das Südharz-Kalirevier (einschließlich Kaliwerk Roßleben des Unstrut-Saale-Reviers) überschritten. 1960 wurde deshalb ein Salzabwasserkanal bis zur Elbe unterhalb Magdeburg empfohlen, der jedoch nur rudimentär durch das Stapelbecken Wipperdorf (1968) für die Kaliwerke Bischofferode, Sollstedt und Bleicherode (die vorgesehene Einbindung des Kaliwerkes Volkenroda im Helbe-Gebiet unterblieb) und die Stapeltankanlage Sondershausen (1969) für das Kaliwerk Sondershausen verwirklicht wurde. Vor dem Hintergrund einer Niedrigwasserperiode (1962/ 63) wurde die Aufnahme der Salzlaststeuerung verfügt; sie erfolgte planmäßig seit dem 16.08.1963.

Als erste industrielle Hauptwassernutzer im Flussgebiet der durch diese Abwassereinleitungen betroffenen Mittleren Saale (Saaleabschnitt zwischen den Einmündungen der Unstrut und der Weißen Elster) entstanden 1916/ 17 die Leuna- und 1936/37 die Buna-Werke. Sie leiteten, begünstigt durch die Nähe der Braunkohlenvorkommen des Geiseltales, eine Standortkonzentration wichtiger Wassernutzer in diesem Flussteilgebiet als Bestandteil des Ballungsgebietes Halle-Merseburg ein.

Unter Berücksichtigung der aufeinanderfolgenden Nutzungen errechnete sich ein mittlerer Bedarf von $1,73 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$; der landschaftsnotwendige Kleinstabfluss wurden mit $0,72 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ berechnet. Das Wasserdargebot der Mittleren Saale (Saale zwischen Mündung der Unstrut und Mündung der Weißen Elster südlich Halle/ Saale) weist einen Schwankungsbereich von 1 : 100 zwischen $0,7 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (Niedrigwasserdurchfluss) und $60,8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (Hochwasserdurchfluss) auf. Obwohl sich der Durchfluss, ohne größere Schäden anzu richten, im Bereich $1,5-28,9 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ bewegen kann, treten Nutzungseinschränkungen bereits unterhalb $3,0 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ auf.

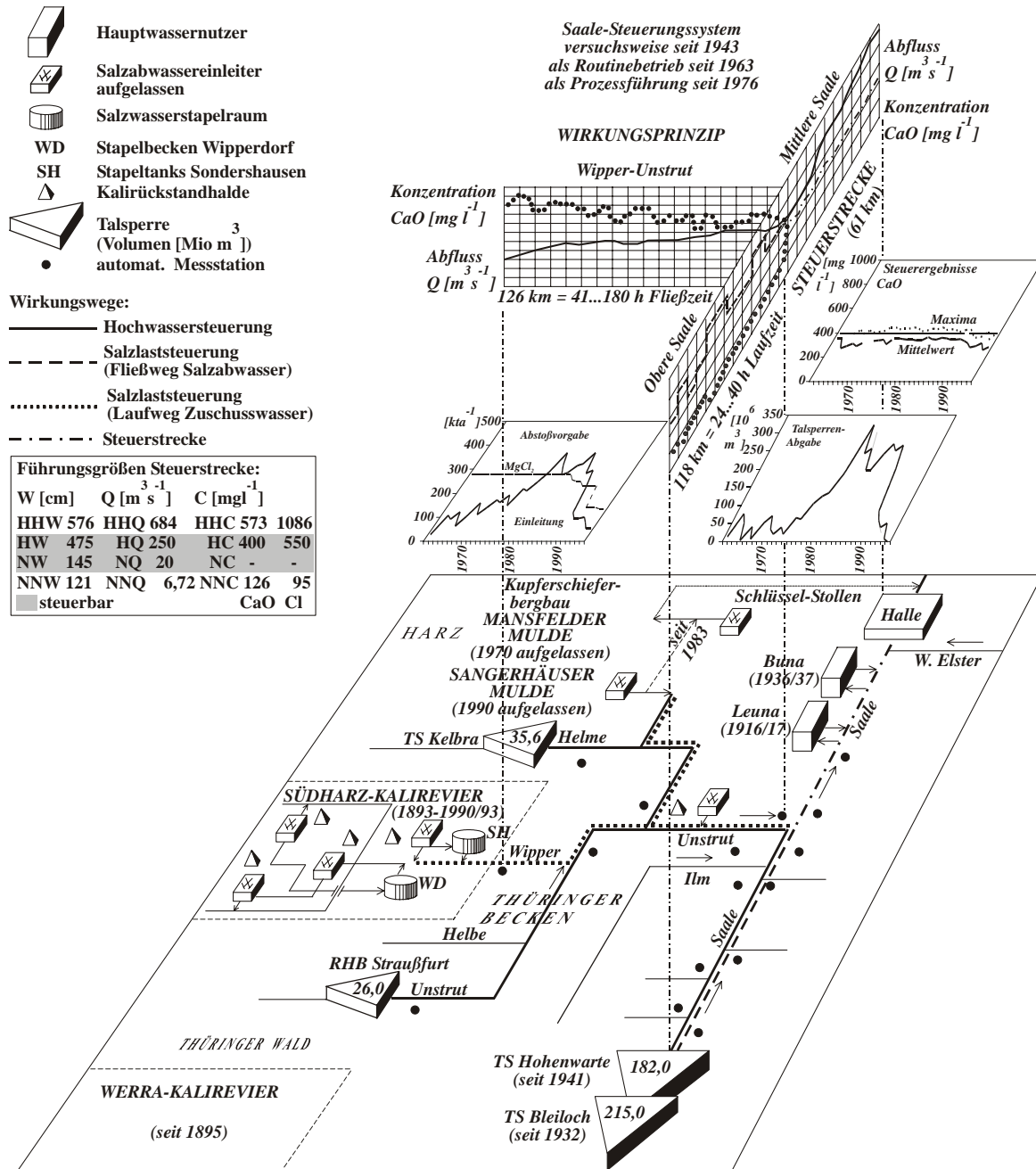


Bild 3. 6: Schema der Prozessführung (Steuerung der Salzabwässereinleitungen) im Einzugsgebiet der Saale (AURADA 2003, 325; Abstoßvorgaben, Talsperrenabgaben und Steuerergebnisse im Zeitraum 1963-1998 nach THIELE 1996)

Eine bedeutende Rolle spielten neben einer bereits geogen verursachten hohen Gesamtmineralisation die Salzabwässereinleitungen (Endlaugen der Kaliproduktion) aus dem Südharz-Kalirevier, die aus der thüringischen Wipper (Kaliwerk Volkenroda über die oberhalb liegende Helbe) und die Grubenwässer des Kupferschieferbergbaus in der Sangerhäuser Lagerstätte, die über die Gonna-Helme in die Unstrut-Saale gelangten.

Beginnend mit der schrittweise erfolgenden Inbetriebnahme des Südharz-Kalireviers im Jahr 1893 (Sondershausen) nahmen die Salzabwässereinleitungen sowohl infolge der starken extensiven Produktionserweiterung als auch der Produktionskonzentration der Kaliindustrie im Gefolge der Stilllegungsverordnung von 1921 trotz der Genehmigungspflicht der Abwässereinleitungen zu.

Der seit 1932 gültige Grenzwert wurde bereits im Zeitraum 1934-1939 an 136 Tagen erreicht und überschritten. Die erste Überschreitung des seit 1963 im Tagesmittel am Nutzungsquerschnitt Bad Dürrenberg/ Saale geltenden Grenzwertes trat mit 43,4 °dH bzw. 434 mg l⁻¹ CaO bereits am 22.09.1937 auf (Staatsarchiv Magdeburg 1933-45). Der Tagesmittelgrenzwert 40 °dH (= 400 mg l⁻¹ CaO) und der Richtwert von 560 mg l⁻¹ Cl schließen, bezogen auf Mittelwasserführung, eine "Durchlassfähigkeit" von 24,6 kg s⁻¹ CaO ein. Da die geogene Belastung bereits 13,6 kg s⁻¹ beträgt, bleibt ein Steuerungsspielraum von 11,0 kg s⁻¹ CaO.

Nach ersten Versuchen, die für das Jahr 1943 aktenkundig sind (Staatsarchiv Magdeburg 1933-45), wurde deshalb planmäßig seit 1963 eine Steuerung der Salzbelastung mit Hilfe der Verdünnungswasserabgabe aus dem Saaletalsperrensystem, später (1968-1969) unter Einbeziehung des "Kopfteils" des Salzabwasserkanals im Südharz-Kalirevier bzw. thüringischen Wipper-Gebiet, durchgeführt (KAEDING 1963; JÜHLING 1964; JÜTTNER 1972; AURADA 1972).

Die planmäßige Salzlaststeuerung erfolgte seit dem 16.08.1963 mit einem Wirkungsgrad von 0,62-0,71. Die rechnergestützte Prozessführung der Salzlast (probeweise seit dem 25.03.1976 und routinemäßig seit dem 01.10.1976) versprach eine Erhöhung des Wirkungsgrades auf 0,72-0,83. Eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades auf 0,89-0,91 wäre nur durch ein "Nachregelbecken" (Nutzhaltlamelle 3x10⁶ m³) parallel der Saale, oberhalb der Unstrutmündung, zu erreichen gewesen.

Erwogen wurde auch eine dementsprechende Nutzung des durch die Auskohlung des Geiseltal-Braunkohlenbeckens (KALÄHNE 1961; KNOCHENHAUER 1977, 1989) entstehenden "Geiselsees" (700x10⁶ m³, davon 110x10⁶ m³ zwischen 90 und 97 m NN), der über einen 15 km langen Stollen (40-60 m³ s⁻¹) mit der Saale verbunden werden sollte und bei Grenzwertüberschreitungen in der Saale zur Wasserbereitstellung für die chemische Großindustrie hätte genutzt werden können. Die Wasserzuleitung erfolgt derzeit aus der Saale (Wasserwerk Daspig des Leuna-Werkes) mit Hilfe einer 9 km langen Druckrohrleitung mit einer Kapazität von 2,2 m³ s⁻¹ (= 450x10⁶ m³ a⁻¹) (BERKNER et al., 2001, 177/ 178); der Beginn der Flutung durch die Einleitung von Saalewasser war am 30.06.2003.

Der Wirkungsweg des Störimpulses beträgt im Mengensteuerungsfall 114 km (Straußfurt-Unstrutmündung) bei einem Zwischeneinzugsgebiet von 3 619 km² und im Salzlaststeuerungsfall 126 km (Sondershausen-Bad Dürrenberg). Der Wirkungsweg des Steuerimpulses beträgt dagegen 118 km (Kaulsdorf-Eichicht bis Naumburg-Grochlitz) bei einem Zwischeneinzugsgebiet von 3 431 km². Die Steuerungstrecke (Mittlere Saale) hat eine Länge von 61 km und ein Zwischeneinzugsgebiet von 1 065 km².

Tab. 3. 19: Raum-Zeit-Struktur der Salzlaststeuerung im Saale-Gebiet

Teileinzugsgebiet	Fläche	Lauflänge Wirkungswege	Fließzeit		Laufzeit	
	Teileinzugsgebiet		Störung (Salzabwässer) von bis		Steuerung (Zuschusswasser) von bis	
	[km ²]	[km]	[h]	[h]	[h]	[h]
WIRKUNGSWEG STÖRUNG						
Unteres Unstrut-Gebiet (TS Straußfurt bis Mündung)	3 619	114 a	-	-	-	-
Beschaffenheitssteuerung (Sondershausen bis Artern, Artern bis Freyburg, Freyburg bis Daspig)		126 a	30	110	Vorwarnzeit	
			25	125	-	-
			16	55	-	-
			41	180	-	-
WIRKUNGSWEG STEUERUNG						
Oberes Saale-Gebiet	3 431					
Abfluss-/ Beschaffenheitssteuerung (Talsperrensystem bis Naumburg)		118	-	-	24	40
STEUERUNGSSTRECKE						
Mittleres Saale-Gebiet	1 065					
Abfluss-/ Beschaffenheitssteuerung Unstrut/ Naumburg bis Weiße Elster/ Wasserwerk Daspig)		61				

a Die Lauflänge wurde mehrfach anthropogen verändert

Der Kaliindustrie war die Einleitung von $48,5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ Salzabwässer genehmigt worden. Davon entfielen $47,3 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ (= 97,5 %) auf "leichte" Salzabwässer (< 250 g l⁻¹ Gesamtmineralisation) und $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ (= 2,5 %) auf "schwere" Salzabwässer (> 250 g l⁻¹ Gesamtmineralisation). 67 % der Salzabwässer konnten zwischengespeichert, 33 % mussten direkt in Fließgewässer eingeleitet werden. Es muss dabei bedacht werden, dass die Gewährleistung dieser Einleitungsbedingungen Voraussetzung der Kaliproduktion des Südharz-Kalireviers war. Deshalb wurden zeitweise auch untertägige Stapelmöglichkeiten von Salzabwässern mit einem Volumen von $0,126 \times 10^6 \text{ m}^3$ genutzt. Bei Lastvorgaben von $277 \text{ kt a}^{-1} \text{ MgCl}_2$ blieben bis 1984 die Einleitungsmengen im Zeitraum 1963-1977 weit darunter, erhöhten sich jedoch bei zugleich sinkenden Lastvorgaben von 250 kt a^{-1} (bis 1987) bzw. 230 kt a^{-1} (bis 1991) im Zeitraum 1978-1989 zeitweise auf über 300 kt a^{-1} . Die zurückgehenden Werte seit 1990 bzw. 1991 widerspiegeln die Einstellung der Kaliproduktion im Südharz-Kalirevier; durch die Erhöhung der Salzwassereinleitungen aus dem Kupferschieferbergbau in der Sangerhäuser Mulde im Gefolge der erhöhten Zuflüsse im W-Feld dieser Lagerstätte gelangten diese Salzabwässer im Zeitraum 1980-1983 (Beginn der Überleitung in die Mansfelder Mulde zum Schlüssel-Stollen) zusätzlich in das System der Salzlaststeuerung.

Am 18.08.1987 wurden durch einen Ministerratsbeschluss der DDR die Führungsgrößen von 40 °dH (= 400 mg l⁻¹ CaO) und 470 mg l⁻¹ Cl als "auszusteuende" Spitzenwerte interpretiert, in dessen Folge das Steuerungssystem des Saale-Gebietes überlastet worden ist. Während die Grenzwerteinhaltung bis 1979 mit $10\text{-}130 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ Verdünnungswasser gewährleistet werden konnte, stieg diese Menge auf $200\text{-}300 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ im Zeitraum 1980-1990 an. Dadurch konnte nur noch eine Versorgungssicherheit von 85 % erzielt werden. Durch die Produk-

tionseinstellung des Südharz-Kalireviers (1990-1993) kann die Salzlaststeuerung seither mit einer Sicherheit von 99 % unter fast allen Bedingungen als beherrschbar gelten (THEILE 1996); während das Verhältnis geogener zu anthropogener Belastung 1989 noch etwa 50:50 betrug, erreicht es gegenwärtig 80:20 (THEILE 2001, 121).

Die gegenwärtige Chloridbelastung der Saale nimmt bei mittlerer Niedrigwasserführung (MNQ) von 70 mg l⁻¹ bzw. 1 kg s⁻¹ (oberhalb der Unstrut-Einmündung) auf 310 mg l⁻¹ bzw. 12 kg s⁻¹ (oberhalb der Einmündung des Schlüssel-Stollen) bis zu ihrer Mündung in die Elbe auf 1 200 mg l⁻¹ bzw. 56 kg s⁻¹ zu. Auf diese Längsschnittentwicklung haben die Unstrut (510 mg l⁻¹ bzw. 5 kg s⁻¹; Altlast des Südharz-Kalireviers), die Salza (30 775 mg l⁻¹ bzw. 12 kg s⁻¹; Kavernenaussolung), der Schlüssel-Stollen (22 000 mg l⁻¹ bzw. 8 kg s⁻¹; Altlast des Mansfelder Kupferschieferbergbaus) und die Bode (2 700 mg l⁻¹ bzw. 11 kg s⁻¹; Kali- und Sodaindustrie im Staßfurter Revier) Einfluss (THEILE 2001, 122). Mittel- und langfristig wird eine Belastung der mittleren Saale von 180-650 mg l⁻¹ Cl⁻ und 30-41°dH und der unteren Saale von 500-700 mg l⁻¹ Cl⁻ (unterhalb Schlüssel-Stollen) und ca. 900 mg l⁻¹ Cl⁻ (unterhalb Bode-Mündung) erwartet (a.a.O., 127).

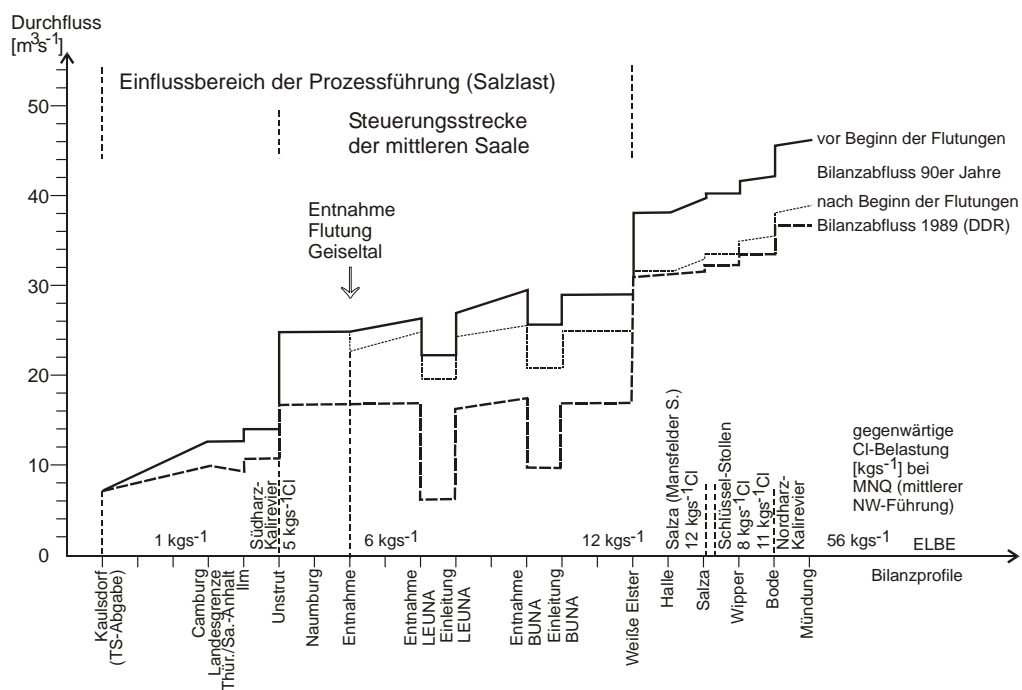


Bild 3. 7: Bilanzlängsschnitt der Saale unterhalb des Saale-Talsperrensensystems für MQ-August mit 90% Überschreitungswahrscheinlichkeit (verändert nach REIMANN & SEIERT 2000, 16; ergänzt nach THEILE 2001, 122)

RESUME

Das Exkursionsgebiet gehört in sowohl historischer als auch geographischer Sicht wohl zu den einerseits interessantesten und andererseits zu den am besten dokumentierten Gebieten in Deutschland.

Seine Erschließung durch eine studentische Exkursion im Rahmen der Ausbildung begegnet der Schwierigkeit, ein relativ großes Gebiet in der Größenordnung von wohl über 10 000 km² durch einen Routenverlauf erschließen zu müssen, der nicht nur in einem bestimmten Zeitfenster von 10 bis 12 Tagen die Vielfalt der wissenschaftlich interessierenden visuell wahrnehmbaren Gegenstände, sondern eben auch die häufig nicht sichtbaren funktionellen Zusammenhänge der historischen und geographischen Entwicklungswege verständlich machen soll.

Daraus resultiert ein bestimmter Ablauf der Exkursion, der zwar einzelne, räumlich verteilte Details in einer nicht immer logisch möglichen Aufeinanderfolge, wenn möglich aber durchaus in bestimmten Sachgebieten zusammenfassend, erschließt. Erst in der Gesamtheit aller aufgesuchten Standorte ergibt sich die angestrebte Gesamtaussage der Exkursion: die konstitutionelle Abbildung eines „Landschaftsbildes“ als Ergebnis von in der Vergangenheit abgelaufenen Prozessen und gleichzeitig die vor diesem Hintergrund in der Gegenwart vorhandenen funktionellen Zusammenhänge zwischen räumlich auch entfernter liegenden Objekten zu verstehen.

Neben den geologischen und naturgeographischen Grundlagen, z. B. der Hoch- und Tief-schollenentstehung und ihrer geomorphologischen Modifizierung, im Exkursionsgebiet auch durch subrosive und karstmorphologische Phänomene, sind es insbesondere auch die Merkmale ihrer anthropogenen Nutzung und Veränderung, die zugleich auch eine Berücksichtigung ihrer historischen (territorial- und umweltgeschichtlichen) Dimension verlangen. Die Naturraumnutzung, die im Raum des Exkursionsgebietes land-, forst- und wasserwirtschaftlich dominiert wird, wird dabei ebenso berücksichtigt wie die Naturraumveränderung, die – hauptsächlich bergbaulich (Kupferschiefer-, Kali-, Steinkohlen-, Braunkohlenbergbau) - seit langer Zeit erfolgt. Beide Beeinflussungsmöglichkeiten wurden und werden in einer konkret-historischen Entwicklungsphase, gesellschaftlich motiviert, immer mit Hilfe technischer Sachgegenstände realisiert, weshalb auch technikgeschichtliche Zusammenhänge (Stollen-, Tief-, Tagebau, historischer und moderner Speicherraumbau) zu erschließen waren, die wiederum in ihrer Summe aber auch funktionelle Wirkungen zu erfassen gestatteten.

In dieser Kombination wird insgesamt das wissenschaftliche Grundanliegen der Exkursion erreicht werden können, Kulturlandschaft einerseits als Ergebnis sowohl naturgeschichtlicher als auch kulturgeschichtlicher Entwicklung verstehen und andererseits als Träger gegenwärtig sich vollziehender sowohl natürlicher als auch gesellschaftlich-gestalteter Veränderungen begreifen zu können.

Sie exemplifiziert damit auf verschiedenen Betrachtungsebenen ein sozio-technisches, ein sozio-ökonomisches oder/ und ein sozio-ökologisches System bzw. die räumliche Widerspiegelung der Summe: co-evolvierende Systeme + co-respondierende Systeme = co-operierendes System, wie sie als theoretischer Rahmen der Exkursion eingangs skizziert worden ist.

Prof. Dr. Klaus D. Aurada

Dr. Raimund Rödel

Literatur:

- ABEL, W. (1978): Geschichte der deutschen Landwirtschaft vom frühen Mittelalter bis zum neunzehnten Jahrhundert. Eugen Ulmer, Stuttgart, 3. neubearb. Aufl.: 370 S. (= Deutsche Agrargeschichte, 2)
- Acta des Königlich-Preußischen Mansfeldischen Berg-Amts zu Eisleben, betreffend die projectirte Treibung des tiefen Heinitz-Stollns, unterhalb Gnölbzig, als Haupt-Schlüssel-Erb-Stolln für die gesammten Mansfeldischen Werke, anstatt des Mansfeldischen Schlüssel-Stollns, und alle desfälligen Verhandlungen hierüber 1830. Staatsarchiv Magdeburg, Sign. Rep. F4, Tit. Eb, Nr. 124.
- AFL (Arbeitskreis Forstliche Landespflege) (1994): Waldlandschaftspflege. Hinweise und Empfehlungen für Gestaltung und Pflege des Waldes in der Landschaft. Ecomed, Landsberg, 2. Aufl.: 154 S.
- ALBRECHT, W. (1974): Einfluß des Kupferschieferbergbaus auf die hydrogeologischen Verhältnisse im Südwestteil der Mansfelder Mulde. Geographische Berichte, 19/ 2: 121-130
- Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) (1999): Flächenhaushaltspolitik: Feststellungen und Empfehlungen für eine zukunftsfähige Raum- und Siedlungsentwicklung. Forsch.- u. Sitz.-berichte, 208: 218 S.
- Anonym (Verein Mansfelder Berg- und Hüttenleute e.V., Lutherstadt Eisleben, und Deutsches Bergbau-Museum, Bochum) (Hrsg.) (1999): Mansfeld. Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens. Eisleben und Bochum: 614 S. (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, 80)
- ASHBY, W.R. (1958): General Systems Theory as a new discipline. General Systems Yearbook, 3: 3-6
- AURADA, K. D. (1964): Beiträge zu anthropogenen Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse (Beispiele: Gemarkung Königerode und Gemarkung Dankerode). Dipl.-arb., Univ. Halle: 89 S.
- AURADA, K. D. (1970): Berechnung des Wiederanstiegsprozesses im Grubengebäude des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 20/ 8: 264-270 (= 1970 a)
- AURADA, K. D. (1972): Voraussetzungen zur wirtschaftlichen Wasserverwendung in Flußgebieten mit Hilfe der Prozeßführung. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 22/ 7: 217-221
- AURADA, K. D. (1977): Vorstellungen zur Steuerung der Salzlast in Werra und Weser. Wasserwirtschaftsdirektion Saale-Werra, Halle, unveröff. Manuskript: 4 S.
- AURADA, K. D. (1978): Probleme der komplexen Bewirtschaftung des Wasserdargebotes im Flußgebiet der mittleren Saale. Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR, 14: 191-200
- AURADA, K. D. (1979): Ergebnisse geowissenschaftlich angewandter Systemtheorie (Vorhersage und Steuerung lang- und kurzfristiger Prozeßabläufe). Petermanns Geographische Mitteilungen, 123/ 4: 217-224 (= 1979 a)
- AURADA, K. D. (1979): Zur Vollendung des Schlüssel-Stollns in der Mansfelder Mulde vor 100 Jahren (1879). Geographische Berichte, 24/ 4: 271-279 (= 1979 b)
- AURADA, K. D. (1980): Steuerungsmechanismen des Ionenabflusses und der chemischen Denudation. Acta hydrochimica et hydrobiologica, 8/ 6: 525-559
- AURADA, K. D. (1982): Zur Anwendung des systemtheoretischen Kalküls in der Geographie. Petermanns Geogr. Mitt., Gotha/ Leipzig 126/ 4: 241-249 (= 1982 a)
- AURADA, K. D. (1982): Die Berücksichtigung des historischen Aspekts bei der Analyse von Geosystemen. Hall. Jb. Geowiss., Gotha, Bd. 7: 35-50 (= 1982 b)
- AURADA, K. D. (1982): Ionenabfluß und chemische Denudation (Regionale Differenzierung und Steuerungsmechanismen). Petermanns Geogr. Mitt., Gotha/Leipzig, 126/1: 23-36 (= 1982 c)
- AURADA, K. D. (1983): Physiogenic and anthropogenic controls of global and regional ionic runoff. IAHS Publ., 141: 31-39
- AURADA, K. D. (1992): Auswirkungen der Salzabwässereinleitungen und -deponien im Südharz- und Werra-Kalirevier auf die hydrochemischen Verhältnisse der Oberflächengewässer. Neue Bergbautechnik, 22/ 6: 203-212
- AURADA, K. D. (1997): Logistik der Salzabwasserbeseitigung im Saale- und Werragabiet. Wasser und Boden, 49/ 5: 33-45
- AURADA, K.D.(1999): Die Bildungs- und Nutzungsbedingungen des Wasserdargebots in Deutschland. Petermanns Geogr. Mitt., 143/ 5-6: 333-347
- AURADA, K. D. (2001): Logistik der Wasserdargebotsbewirtschaftung in Deutschland. Implantation technischer Systeme in natürliche Systeme. In: HOFFMANN, A. (HRSG.): Wasserwirtschaft im Wandel, Kasseler Wasserbau-Mitteilungen, 12: 481-490
- AURADA, K.D. (2003): Co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierendes System. Erdkunde, 57/ 4: 309-330
- AURADA, K. D. (2005): Bildung, Nutzung und Bewirtschaftung des Wasserdargebots in Deutschland In: LOZÁN, J. L., GRAßL, H., HUPFER, P., MENZEL, L. & C. SCHÖNWIESE (HRSG.): Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Fakten. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg: 136-142
- AURADA, K. D., BECKER, A., CLAUSNITZER, E. & K. THEILE (1976): Vorhersage und Steuerung des Abflusses und der Salzlast im Flußgebiet der mittleren Saale. Berlin: 44 S. (unveröff., da verboten)
- AURADA, K. D. & R. RÖDEL (2000): Flood defence as Hybrid System. In: TOENSMANN, F. & M. KOCH (EDS.): River Flood Defence, Vol. 2 (G): 169-178 (= Kassel Reports of Hydraulic Engineering, 9)
- AURADA, K.D., RÖDEL, R. & S. UNVERZAGT (2000): Möglichkeiten und Grenzen von Vorhersagen des Systemverhaltens. Unter: http://www.2rz.hu-berlin.de/geo/gk/gk/leute/publik/tag_band.html.
- Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) (Hrsg.) (1977-81): Atlas der Deutschen Demokratischen Republik. Haack, Gotha & Leipzig: 53 S.
- BAHRENBERG, G. (1995): Paradigmenwechsel in der Geographie: Vom Regionalismus über den raumwissenschaftlichen Ansatz wohin? In: MATZNETTER, W. (HRSG.): Geographie und Gesellschaftstheorie. Beiträge zur Bevölkerungs- und Sozialgeographie, 3: 25-32.
- BANKWITZ, P., GROSS, U. & E. BANKWITZ (1993): Krustendeformation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jachymov-Zone. Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 21/ 1-2: 3-20
- BANNIZA, H., KLOCKMANN, F., LENGEMANN, A. & A. SYMPHER (1895): Das Berg- und Hüttenwesen des Oberharzes. Enke, Stuttgart: 327 S.
- BAUER, L., HIEKEL, W. & E. NIEMANN (1964): Historische Anlagen der Wasserspeicherwirtschaft in Thüringer Wald und Schiefergebirge. Z. f. Landeskultur, 5/ 1: 61-83

- BAUMERT, B. (1932): Entwicklung und bergbauliche Bedeutung des Werra-Fulda-Kalibezirks. *Kali*, XXVI/ 17: 209-214; 18: 223-226; 19: 235-239; 20: 249-252; 21: 261-265
- BAYRL, G. & B. VON BORRIES (1998): Geschichte und Umweltsystem. In: FRÄNZLE, O., MÜLLER, F. & W. SCHRÖDER (HRSG.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. Ecomed, Landsberg a.L., Grundwerk 1997, 3. Erg.-Lief.: 1998: 18 S.
- BECK, T. (1899): Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaus. Springer, Berlin: 559 S. (Reprint 1970, Georg Olms Verlag, Hildesheim & New York, Documenta Technica, Reihe I: Darstellungen zur Technikgeschichte)
- BECKER, F. & S. ZEIBIG (2003): Verbalargumentative Verträglichkeitsbetrachtung für das Steinsalzbergwerk Braunschweig-Lüneburg in Grasleben. In: HARTMANN, O. & G. SCHÖNBERG (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland IV. Exkurs. f. Veröff. GGW, 222: 47-52
- BEHRE, K.-E. (2000): Der Mensch öffnet die Wälder - zur Entstehung der Heiden und anderer Offenlandschaften. In: Entwicklung der Umwelt seit der letzten Eiszeit: Rundgespräche der Kommission für Ökologie/ Bayerische Akademie der Wissenschaften, 18: 103-116
- BEHRENDT, H., KORNMILCH, M., OPITZ, D. SCHMOLL, O. & G. SCHOLZ (2001): Flußgebietsdifferenzierte Nährstoffeinträge im Einzugsgebiet der Saale. *Nova Acta Leopoldina*, NF 84, Nr. 319: 91-105
- Bergbaumuseum Röhrig-Schacht (Hrsg.) (1996): Zur Geschichte des Sangerhäuser Kupferbergbaus. Merseburg: 80 S.
- BERKNER, A., GRUNDMANN, L., OPP, C., SCHÖNFELDER, G., TZSCHASCHEL, S. & M. WOLKOPF (2001): Exkursionsführer Mitteldeutschland, Westermann, Braunschweig: 326 S.
- BERNHARDT, A. & K. D. JÄGER (1985): Zur gesellschaftlichen Einflußnahme auf den Landschaftswandel in Mitteleuropa in Vergangenheit und Gegenwart. Sitz.-ber. Sächs. Akad. Wiss., Leipzig, math.- naturwiss. Kl., Berlin, 117/ 4: 5-56
- BERTALANFFY, L.V. (1968): General Systems Theory. Foundations, Development, Applications. G. Braziller, New York: 289 pp.
- BEUG, H.-J. (1999): Landschaftsgeschichte im Hochharz. Clausthal-Zellerfeld
- BEYSCHLAG, F. & E. FULDA (1921): Zur Frage einer Versenkung von Endlaugen der Kalifabriken in tiefliegende durchlässige Gebirgsschichten. *Z. Kali*, 15: 363-367
- BIEWALD, W. (2001): Der Subrosionskataster Thüringen - eine Grundlage für die regionale Planung. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 7-15 - 7-20
- BLANKE, H. & K. EBEL (1999): Geologische Verhältnisse und Nachnutzung der Gruben Bartensleben und Marie. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland, Berlin: 79-97 (= Exk.-führer u. Veröff. GGW, 205)
- BLASIG, W. (1993): Der Kalibergbau an der Werra. In: DVWK (1993): Salz in Werra und Weser (= Mitteilungen des DVWK, 24) S. 11-19
- BODENSTEIN, J. & Gutachter-ARGE Verwahrung Bischofferode (2001): Flutung Bergwerk Bischofferode - Konzept und Stand der Realisierung. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 6-47 - 6-53
- BONDAREV, L. G. (1996): Osobenosti ekologitscheskoj situacii v srednevekovoj Evrope (Spezifika der Umweltsituation im mittelalterlichen Europa). *Vestnik Moskovskogo Universiteta*, Ser. 5, Geografija, 1: 25-31
- BORCHARDT, W. & H. LIEBMANN (1991): Freilandversuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden im Südharzgebiet. *Hercynia*, N.F., 28/ 1: 62-71
- BORK, H.-R., BORK, H., DALCHOW, C., FAUST, B., PIORR, H. P. & D. SCHATZ (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. Klett-Perthes, Gotha und Stuttgart: 328 S.
- BRAMER, H. (Hrsg.) (1991): Physische Geographie. Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. 1. Auflage, Gotha
- BRAUN, M. (2003): Auswirkungen des Talsperrenbaus in Deutschland. Hausarbeit, Univ. Greifswald: 47 S.
- BRAUSE, H. (1995): NW-Sachsen gehört zum basementbetonten Teil der Saxothuringischen Zone. *Z. geol. Wiss.*, 23/ 1-2: 37-42.
- BRENDEL, K., BRÜCKNER, G., KNITZSCHKE, G., SCHWANDT, A. & M. SPILKER (1982): Montanhydrologische Aspekte zur Gewährleistung der Bergbausicherheit beim Abbau zechsteinzeitlicher Lagerstätten. *Z. f. geol. Wiss.*, 10/ 1: 7-31
- BUNN, E. & O. HARTMANN (1999): Kali- und Steinsalztalbergbau im Bereich des Bergamtes Halle. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland. Exkurs.-f. u. Veröff. GGW, 205: 99-104.
- BURGGRAAFF, P. & K.-D. KLEEFELD (1998): Historische Kulturlandschaft und Kulturlandschaftselemente. *Angewandte Landschaftsökologie*, 20: 320 S.
- BURRHEE, H. & H. RAUCHE (1999): Geologische Aspekte der luftgefüllten Verwahrung des Kalisalzbergwerkes Roßleben. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland. Exkurs. f. Veröff. GGW, 205: 105-113.
- BÜSCHENFELD, J. (1997): Flüsse und Kloaken. Umweltfragen im Zeitalter der Industrialisierung (1870 bis 1918). Klett-Cotta, Stuttgart: 454 S. (= Industrielle Welt, 59)
- BÜTTNER, M., KRIPPENDORF, H. & W. THIELE (1990): Rechnergestützte Bewirtschaftung der Oberen Saale und Unstrut. *Wasser und Boden*, 42/ 12: 814-818 (828)
- CERNY, R. (1993): Rechtliche Rahmenbedingungen für die Salzabwasserbeseitigung der Kaliwerke im Werragebiet. In: DVWK (1993) Salz in Werra und Weser (= Mitteilungen des DVWK; 24) S. 169-182
- CROWLEY, T.J. & T.S. LOWERY (2000): How Warm Was the Medieval Warm Period? *Ambio*, 29/ 1: 51-54
- DAVIS, W. M. (1899): The geographic cycle. In: *Geographical Journal*, 14/ 5: 481-504
- DEBRIV (2005): Braunkohle in Deutschland. Köln: 68 S.
- DELHAES-GUENTHER, K. VON (1974): Kali in Deutschland. Vorindustrien, Produktionstechniken und Marktprozesse der Deutschen Kaliwirtschaft im 19. Jahrhundert. Böhlau, Köln und Wien: 177 und XXXV S. (= Neue Wirtschaftsgeschichte, 10)
- DEUBEL, F. (1954): Zur Frage der unterirdischen Abwasserversenkung in der Kali-Industrie. *Abh. deutsch. Akad. Wiss. Berlin, Math.-naturwiss. Kl.*, 3
- DIENEL, H.-L. (1994): Homo Faber - Der technische Zugang zur Natur. In: NACHTIGALL, W. & C. SCHÖNBECK (Hrsg.): Technik und Natur. VDI-Verlag, Düsseldorf: 13-84 (= Technik und Kultur, VI)
- DIETRICH, P. G. (1974): Möglichkeiten der regionalen hydrogeologischen Rayonierung von Grundwasserleitern in Beckengebieten. *Z. angew. Geologie*, 20/ 12: 544-550
- DIETRICH, P.G. (1975): Zur Hydrogeologie des Mittleren Muschelkalks im Thüringer Becken. Beispiel einer regionalen hydrodynamischen Rayonierung. *Z. angew. Geologie*, 21/ 8: 384-392

- DIX, A. (1997): Historisch-geographische Perspektiven einer Umweltgeschichte des Industriezeitalters. In: KLEEFELD, K. D. & P. BURGGRAFF (HRSG.): Perspektiven der historischen Geographie. Siedlung-Kulturlandschaft-Umwelt in Mitteleuropa. Bonn: 219-234
- DORN, P. (1960): Geologie von Mitteleuropa. Stuttgart
- DOSCH, F. & G. BECKMANN (1999): Trends der Landschaftsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland. Informationen zur Raumentwicklung, 5-6: 291-310
- DUMREICHER, A. (1886): Gesamtüberblick über die Wasserwirtschaft des nordwestlichen Oberharzes. Clausthal, Verlag der Grosse'schen Buchhandlung (Reprint): 87 und 79 S.
- DUNCKER (1929): Die Entwicklung der Kaliindustrie im Südharz- und Unstrut-Gebiet. Kali, XXIII/ 4: 49-53; 5: 65-70; 6: 81-86; 7: 97-101
- DUPHORN, K. (1968): Ist der Oberharz im Pleistozän vergletschert gewesen? Eiszeitalter und Gegenwart – Jahrbuch der deutschen Quartärvereinigung. Bd. 19, S. 164-174
- DYCK, S. & M. SCHRAMM (1968): Stochastische Methoden der Speicherwirtschaft. Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Berlin, 28: 202 S.
- EBERHARDT, H. (HRSG.) (1976): Der Kyffhäuser und seine Umgebung. Ergebnisse der heimatkundlichen Bestandsaufnahme in den Gebieten von Kelbra und Bad Frankenhausen. Akademie-Verlag, Berlin: 216 S. (= Werte unserer Heimat, 29)
- EINBECK, E. (1931): Die Gestaltung der Bergbaulandschaft im Gebiet des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-h. 2
- EINBECK, E. (1933): Der Einfluß des Mansfelder Kupferschieferbergbaus auf das Landschaftsbild. Mein Mansfelder Land, 8/ 19: 146-149; 8/ 20: 158-160; 8/ 21: 167-168; 8/ 23: 183-184; 8/ 24: 189-192; 8/ 25: 197-200; 8/ 26: 204-208
- EISENBACH, U. & A. PAULINYI (HRSG.) (1999): Die Kaliindustrie an Werra und Fulda. Geschichte eines landschaftsprägenden Industriezweigs. Hessisches Wirtschaftsarchiv, 2. Aufl., Darmstadt: 280 S. (= Schriften zur hessischen Wirtschafts- und Unternehmensgeschichte, 3)
- FEHLING, R. & U. GROSS (2003): Erzabbau an der Langen Wand/ Ilfeld – Geologische und bergbauliche Situation. In: HARTMANN, O. & G. SCHÖNBERG (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland IV. Exkurs. f. Veröf. GGW, 222: 81-85
- FELDMANN, L. (2002): Das Quartär zwischen Harz und Allertal - mit einem Beitrag zur Landschaftsgeschichte im Tertiär: Clausthal-Zellerfeld. (= Clausthaler Geowissenschaften; Band 1)
- FINKENWIRTH, A. & H. G. FRITSCH (1993): Hydrogeologische Möglichkeiten und Grenzen der Versenkung. DVWK (1993) Salz in Werra und Weser, 40-65 (= Mitteilungen des DVWK, 24)
- FLEISCH, G. (1983): Die Oberharzer Wasserwirtschaft in Vergangenheit und Gegenwart. Inst. f. Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre der TU Clausthal-Zellerfeld, Selbstverlag: 187 S.
- FÖHL, A. & M. HAMM (1985): Die Industriegeschichte des Wassers. Transport, Energie, Versorgung. VDI-Verlag, Düsseldorf: 179 S.
- FRIEDRICH K. & M. FRÜHAUF (Hrsg.) (2002): Halle und sein Umland : geographischer Exkursionsführer. mdv, Mitteldt. Verl., Halle (S.) 286 S.
- FRÜHAUF, M. (1995): Landschaftliche Besonderheiten um Umweltprobleme im Mansfelder Land. In: ECKART, K. (HRSG.): Ökologische, ökonomische und raumstrukturelle Prozesse in den neuen Bundesländern. Das Beispiel Sachsen-Anhalt. Duncker & Humblot, Berlin: 115-141 (= Schriftenreihe der Gesellschaft für Deutschlandforschung, 46)
- FULDA, D. (1993): Staßfurt - die Wiege des Kalibergbaus. Kali und Steinsalz, 11/ 3-4: 115-123
- FULDA, E. (1925): Amtliches Gutachten über die mutmaßlichen Folgen einer etwaigen Einstellung des Wasserhaltungsbetriebs beim Mansfelder Kupferschieferbergbau. Berlin (unveröff.), Zentrales Betriebsarchiv des VEB Mansfeld-Kombinat "Wilhelm Pieck", Eisleben, Sign. G 58
- FÜRER, F. A. (1900): Salz-Bergwerke und Salinen. Salzbergbau und Salinenkunde. Vieweg & Sohn, Braunschweig: 1122 S.
- GARBRECHT, G. (1991): Hydrotechnik und Natur - Gedanken eines Ingenieurs. In: DVWK (Hrsg.) (1991): 100 Jahre Deutsche Verbände der Wasserwirtschaft 1891-1991. Wasserwirtschaft im Wandel der Zeiten. Festschrift. Bonn: 14-43
- GIESECKE, J. (1997): Wechselwirkungen zwischen Wasserkraft und Umwelt. Wasser und Boden, 49/ 11: 17-20
- GIESECKE, J., GLASEBACH, H.-J. & U. MÜLLER (2002): Deutsche Normung im Talsperrenbau. Wasserwirtschaft, 92/ 3: 10-15
- GIMM, W. (HRSG.) (1968): Kali- und Steinsalzbergbau. Bd. 1: Aufschluß und Abbau von Kali- und Steinsalzlagerstätten. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 600 S.
- GLEITSMANN, R.-J. (1984): Der Einfluß der Montanwirtschaft auf die Waldentwicklung Mitteleuropas. Anschnitt, Beiheft 2: Montanwirtschaft Mitteleuropas vom 12. Bis 17. Jahrhundert: 24-39
- GREUL, E. (1955): Kaliabwässer und Trinkwasser. Die Weser, 29: 76-78
- GRINGMUTH-DALLMER, E. (1983): Die Entwicklung der frühgeschichtlichen Kulturlandschaft auf dem Territorium der DDR unter besonderer Berücksichtigung der Siedlungsgebiete. Akademie-Verlag, Berlin: 166 S. (= Schriften zur Ur- und Frühgeschichte, 35)
- GRUMBT, E. & H. LÜTZNER (1966): Störungszonen im Deckgebirge des thüringischen Werra-Kaligebietes und ihre Beziehungen zum Basaltvulkanismus und zur Auslaugung. Geologie, 15/ 4-5: 531-544
- GRÜNTAL, G. (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984. Veröf. Zentralinst. Physik d. Erde, 99: 138 S.
- GRÜSCHOW, N. & M. RANFT (2003): Erfassung und Bewertung von Lösungs- und Ausfällungsprozessen bei einer unterstellten Flutung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM). In: HARTMANN, O. & G. SCHÖNBERG (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland IV. Exkurs. f. Veröf. GGW, 222: 33-41
- GÜNTER, W. (1930): Der Ausbau der oberen Saale durch Talsperren. Beiträge zur Wasserwirtschaft, 2
- HAASE, G. (1963): Zum Problem der Abwässerversenkung im thüringischen Werra-Kaligebiet. Bergakademie, 15/ 6: 485-490
- HAASE, H. & W. LAMPE (1985): Kunstbauten alter Wasserwirtschaft im Oberharz. Hanggräben, Teiche, Stollen in Landschaft, Wirtschaft und Geschichte. Pieper, Clausthal-Zellerfeld: 159 S.
- HAASE, G. & S. OETTEL (1963): Beitrag zur Kenntnis der Auslaugungserscheinungen im Werra-Kaligebiet. Bergakademie, 15/ 5: 370-375

- HABERL, H. (1998): Kolonisierung von Natur. In: HABERL, H., KOTZMANN, E. & H. WEISZ (Hrsg.): Technologische Zivilisation und Kolonisierung von Natur. Springer, Wien und New York: 34-39 (= iff Texte, 3)
- HAMBLOCH, H. (1986): Der Mensch als Störfaktor im Geosystem. Westdeutscher Verlag, Opladen: 41 S. (= Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Vorträge G 280)
- HARTMANN, O. & G. SCHÖNBERG (HRSG.) (2003): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland IV. Exkurs. f. Veröf. GGW, 222: 124 S.
- HARTMANN, O., MALLIS, U., SPILKER, M. & H.-D. THORMEIER (2003): Schachtstandorterkundung und Schachttaufeufen für den Salz- und Kupferschieferbergbau in Ostdeutschland (1945-1990). In: HARTMANN, O. & G. SCHÖNBERG (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland IV. Exkurs. f. Veröf. GGW, 222: 111-124
- HARTWIG, H.-J., KNITZSCHKE, G. & M. KUYUMCU (1999): 800 Jahre Kupferschieferbergbau. Die Kupferschiefererzlagertstätte Mansfeld/ Sangerhausen und ihre bergbauliche Nutzung von 1200-1990. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland. Exkurs. f. Veröf. GGW, 205: 23-35
- HARTWIG, H.-J., SCHOLZ, L. & V. TSCHERNATSCH (2001): Erfahrungen bei der Verwahrung von stillgelegten Kalisalzbergwerken. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 4-7 - 4-11
- HAUER, J. VON (1879): Die Wasserhaltungs-Maschinen der Bergwerke, 2 Bde., Leipzig: 797 S. u. Tafelbd.
- HEBERT, D. (2001): Isotopenphysikalische Untersuchungen an Laugenzuflüssen des Thomas-Müntzer-Schachtes (Sangerhausen). Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 6-3 - 6-10
- HECHT, G. & C. MAI (1999): Salinen in Mitteldeutschland. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland, Berlin: 131-146 (= Exk.-führer u. Veröf. GGW, 205)
- HECHT, G. (2001): Salzwasseranomalien im Werra-Kaligebiet und ihr Nachweis mittels aerogeophysikalischer Methoden. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 7-23 - 7-27
- HEIMERL, S. & J. GIESECKE (2004): Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland 2003. Wasserwirtschaft, 94/ 10: 28-40
- HEINZ, A. (1993): Bewertung der technischen Konzeption zur Reduzierung der Werra-Weser-Versalzung. In: DVWK (1993) Salz in Werra und Weser, 155-168 (= Mitteilungen des DVWK, 24)
- HEINZE, M. & H. LIEBMANN (1991): Freilandversuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden im Südharzgebiet. Z. Hercynia, 28:
- HELLMANN, K. & P. MARGGRAF (2001): Bergrechtliche Aspekte bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 4-19 - 4-31
- HENNING, F.-W. (1994): Deutsche Agrargeschichte des Mittelalters 9. Bis 15. Jahrhundert. Ulmer, Stuttgart: 368 S.
- HERMS, H. (1969): Wahrscheinliche Niedrigwasserdurchflüsse an ausgewählten Saalepegeln. Unveröf. Manuskript, Halle
- HERZ, K. (1984): Die Evolution der Landschaftssphäre. Geogr. Berichte, 29: 81-90 (= 1984 a)
- HERZ, K. (1984): Beziehungen zwischen Korrelationsdynamik und Autometamorphose der Landschaftseinheiten. Petermanns Geogr. Mitt., 128/ 2: 127-131 (= 1984 b)
- HERZ, K. (1989): Forschungsmethodische Strategien der Geographie. Dresdner Reihe zur Forschung, Dresden, 6: 33-36
- HERZ, K. (1994): Ein geographischer Landschaftsbegriff. Wiss. Zeitschr. Techn. Univ. Dresden, 43/ 5: 82-89
- HESSMANN, W. (1983): Zur strukturellen Formung und Beanspruchung des postvariszischen Gebirges im Südwesten der DDR. Z. geol. Wiss., 11/ 8: 955-971
- HESSMANN, W. & A. SCHWANDT (1980): Zur Bruchtektonik im Salinar und Deckgebirge. Z. f. geol. Wiss., 9/ 3: 283-292
- HESSMANN, W. & E. RICHTER (1978): Zu den strukturgeologisch-tektonischen Verhältnissen des Werra-Kaligebiets der DDR. Z. angew. Geologie, 24/ 7-8: 292-296
- HIEKEL, W. (1972): Die Auslaugungsseen in Südwestthüringen, ein Beitrag zur Charakterisierung von Gewässerschutzgebieten (Naturschutzgebieten). Archiv Naturschutz und Landschaftsforschung, 12/ 4: 299-313
- HIMMELHEBER, H. (1893): Über die Wasserhaltung beim Mansfelder Kupferschiefer-Bergbau. Deutsche Bauzeitung XXVII/ 70: 425-427; 72: 438-441
- HOFFMANN, D. (1972): Elf Jahrzehnte deutscher Kalisalzbergbau. Verlag Glückauf, Essen: 152 S.
- HOFFMANN, N. & D. FRANKE (1997): The Avalonia-Baltica Suture in NE Germany - New Constraints and Alternative Interpretations. Z. geol. Wiss., 25/ 1-2: 3-14
- HOFFMANN, T. (2005): Entwicklung eines Geoinformationssystems zur Zeitreihenanalyse und -modellierung in globalen, hydrologischen Netzwerken. Diss. Univ. Greifswald:
- HOLLISTER-SHORT, G. J. (1990): Die Anfänge der Gesteinwasserhaltung im mitteleuropäischen Bergbau. Abschnitt, 42/ 4: 131-140
- HOPPE, W. (1960): Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil 1: Das Werra-Gebiet. Akademie-Verlag, Berlin: 166 S. (Freiberger Forschungshefte, C 97/ 1)
- HOPPE, W. (1962): Grundlagen, Auswirkungen und Aussichten der Kaliabwässerversenkung im Werra-Kaligebiet. Geologie, 11/ 9: 1059-1086
- HOPPE, W. & G. SEIDEL (HRSG.) (1974): Geologie von Thüringen. Haack, Gotha/ Leipzig: 1000 S.
- HORNUNG, V. (1932): Geschichte der Kalifabriken an der Werra. Kali, XXVI/ 22: 275-277; 23: 287-292; 24: 301-304
- HORNUNG, V. (1933): Geschichte der Kalifabriken an der Werra. Kali, XXVII/ 1: 1-4; 2: 20-21; 3: 34-36
- HÖRZ, H. (1986): Philosophie und Ökologie. Sitz.-ber. d. Akad. d. Wiss. d. DDR, Math.- Naturwiss.- Techn., 5 N: 5-24
- HÖVERMANN, J. (1950): Die Oberflächenformen des Harzes. Geogr. Rundschau 2, S. 208-212
- HUBER, J. (1982): Die verlorene Unschuld der Ökologie. Frankfurt: 232 S.
- HUBIG, C., HUNING, A. & G. ROPOHL (Hrsg.) (2000): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie. Edition Sigma, Berlin: 415 S. (= Technik - Gesellschaft - Natur, 2)
- HUGGETT, R. J. (1985): Earth Surface Systems. Springer, Berlin et al.: 270 pp. (= Springer Series in Physical Environment, 1)
- HUGHES, T. B. (1987): The Evolution of Large Technical Systems. In: WIEBE, E. B. & T. P. HUGHES (EDS.): The Social Construction of Large Technological Systems. MIT Press, Cambridge, Mass.: 51-82
- HÜLSEMANN, P. (1930): Die Bergwerke Deutschlands auf bergwirtschaftlicher und lagerstättenkundlicher Grundlage. Enke, Stuttgart: 412 S.

- HUMBOLDT, A.V. (1808): Ansichten der Natur, mit wissenschaftlichen Erläuterungen. J.G. Cotta, Tübingen: 334 S.
- HUMBOLDT, A.V. (1845-1862): Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. 4 Textbde. u. Atlasband (hrsg. von T. BROMME). Cotta, Stuttgart und Tübingen, 1845-1858, u. Atlas, Kraus & Hoffmann, 1851-1854, 1 Reg.-band, 1862
- HUNING, A. (1990): Der Technikbegriff. In: RAPP, F. (Hrsg.): Technik und Philosophie. VDI-Verlag, Düsseldorf: 11-25 (= Technik und Kultur, I)
- HUPFER, P. (1996): Unsere Umwelt: Das Klima. Globale und lokale Aspekte. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig: 335 S. (= Teubner-Reihe Umwelt)
- JÄGER, K.-D. & A. BERNHARDT (1987): Etappen und Tendenzen in der Entwicklung der Wechselbeziehungen zwischen Gesellschaft und Umwelt vom Neolithikum bis zur Gegenwart. Z. geol. Wiss., 15/ 2: 213-224
- JAHNE, H., VOITEL, R. & G. HAASE (1983): Tektonische Erscheinungsformen im Salinar des Werra-Kaligebietes auf dem Territorium der DDR. Z. geol. Wiss., 11/ 9: 1085-1100
- JANKOWSKI, G. (HRSG.) (1995): Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. GDMB-Informationsgesellschaft, Clausthal-Zellerfeld: 366 S.
- JENDERSIE, H. (HRSG.) (1969): Kali- und Steinsalzbergbau. Bd. 2: Technologie des Kali- und Steinsalzbergbaus. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 474 S.
- JOB, H. (1999): Der Wandel der historischen Kulturlandschaft und sein Stellenwert in der Raumordnung. Forschungen zur deutschen Landeskunde, 248
- JORDAN, H. & H.-J. WEDER (HRSG.) (1995): Hydrogeologie. Grundlagen und Methoden. Regionale Hydrogeologie. Enke, Stuttgart, 2. Aufl.: 603 S.
- JÜHLING, H. (1964): Beitrag zu Grenzwertbetrachtungen über die Einleitung von nicht abbaufähigen gelösten Stoffen in die natürliche Vorflut. Wiss. Z. Univ. Dresden, 13/ 1: 72-76
- JUNG, W. (1965): Zum subsalinaren Schollenbau im südöstlichen Harzvorland. Mit einigen Gedanken zur Äquidistanz von Schwächezonen. Geologie 14/ 3: 254-271
- JUNG, W. (1968): Hydrologische Gefährdung Kupferschieferbergbau der DDR. In: GIMM, W. (HRSG.): Abschluß und Abbau von Kali- und Steinsalzlagerstätten. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 478-487
- JUNG, W. & K. LIEBISCH (1966): Die Grubenhydrogeologie in der Mansfelder Mulde. Z. angew. Geologie 12/ 10: 511-521
- JUNG, W., MEERSTEIN, R., SCHMIDT, H., SCHOOF, H. & M. SPILKER (1972): Grundsätze und erste Ergebnisse der Verwahrung von Schächten in der Mansfelder Mulde. Neue Bergbautechnik, 2/ 8: 626-629
- JUNG, W. & M. SPILKER (1972): Hydrologische Probleme beim Wasseranstau in der Mansfelder Mulde. Z. angew. Geologie, 18/ 1: 17-21
- JÜTTNER, U. (1972): Anfertigung eines Programms für den Kleinrechner SER 2d zur Berechnung der "Zuschußwassermenge" im Rahmen der täglich durchzuführenden Salzlaststeuerung im Unstrut- Saale-Gebiet. Unveröff. Ing.-arb., Leipzig
- KÄBEL, H. (1982): Zur Hydrodynamik der Grundwasserstockwerke in salinaren Becken der DDR. Z. geol. Wiss., 10/ 1: 53-60
- KÄDING, K.-C. (2001): Die Werra-Fulda-Kalilagerstätte - 100 Jahre Förderung. Glückauf, 137/ 7-8: 433-438 (= Kali und Steinsalz, 14/ 16: 23-28)
- KAEDING, J. (1955): Vorfluterbelastung und Endlaugenversenkung im Werra-Kaligebiet. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 5/ 12: 315-321
- KAEDING, J. (1963): Probleme der Salzwassereinleitung in Wasserläufe. Freiburger Forschungshefte, A 267: 153-159
- KALÄHNE, H. (1961): Die Grundwasserverhältnisse im Geisel-Braunkohlengrund und im unterlagernden Mittleren Buntsandstein. Akademie-Verlag, Berlin: 97 S. (= Bes. Mitt. z. Dt. Gewässerkundl. Jb., 24)
- KAMMERER, F. (1962): Ein neuer Erdfall bei Rollsdorf im Kreise Eisleben. Hallesches Jahrbuch für Mitteldeutsche Erdgeschichte 4: 82-89
- KAPP, E. (1877): Grundlagen einer Philosophie der Technik - Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten. Westermann, Braunschweig: 360 S.
- KATZUNG, G. & G. EHMKE (1993): Das Prätertiär in Ostdeutschland. Strukturstockwerke und ihre regionale Gliederung. Sven von Loga, Köln: 139 S.
- KEILHACK, K. (1893): Die Mansfelder See-Katastrophe. Prometheus, 5/ 8: 113-116
- KIEL, K. (1958): Wasserversorgung und Wasserhaltung der Mansfelder Mulde unter Berücksichtigung der geologisch-hydrologischen Verhältnisse. Neue Hütte, 3/ 10: 577-585
- KIPPENBERGER, C., KRUSZONA, M., SCHMIDT, H., THORMANN, A., WAGNER, H., EGGERT, P., PRIEM, J. & E. WETTIG (1986): Kali. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart: 273 S. (= Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe, XX)
- KLABUNDE, E. (1994): Trinkwasser aus den Bodetalsperren. Zur Wasserversorgung in Mitteldeutschland. In: Talsperrenmeisterei des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Talsperren in Sachsen-Anhalt: 65-72
- KLEWE, B. (1968): Studie über den Einfluß des Saalealsperrensystems auf die statistischen Hochwasserwerte an den Saalepegeln. Unveröff. Ingenieurarbeit, Magdeburg
- KLUG, H. & R. LANG (1983): Einführung in die Geosystemlehre. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt, 187 S.
- KNAB, G., SENZE, H., HENNIG, G. & G. VILLWOCK (1999): Hydrogeologische Aspekte beim möglichen Wiederentstehen des Salzigen Sees im Mansfelder Land. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland. Exkurs. f. Veröff. GGW, 205: 53-59
- KNAUER, N. (1995): Landschaft und Landwirtschaft. Wiederentwicklung von mehr Natur durch die Landwirtschaft ist möglich. IMA-Informationen, Hannover: 30 S.
- KNIESEL, J. (1968): Hydrogeologische Folgerungen aus der Gewinnung natürlicher Sole in Halle (Saale). Z. angew. Geologie, 14/ 12: 644-648
- KNITZSCHKE, G. (1995): Metall- und Produktionsbilanz für die Kupferschieferlagerstätte im südöstlichen Harzvorland. In: JANKOWSKI, G. (HRSG.): Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. GDMB-Informationsgesellschaft, Clausthal-Zellerfeld: 270-284
- KNITZSCHKE, G. & G. JANKOWSKI (1995): Die geologischen Verhältnisse. In: JANKOWSKI, G. (HRSG.): Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. GDMB-Informationsgesellschaft, Clausthal-Zellerfeld: 2-33
- KNITZSCHKE, G. & M. SPILKER (2003): Die Kupferschieferlagerstätte Mansfeld/ Sangerhausen. Anschnitt, 55/ 3-5: 134-147
- KNOCHENHAUER, G. (1977): Probleme der bergbaulichen Tagebaurestlochgestaltung des Geiseltals unter Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Folgenutzung. Bergbautechnik, 1: 32-36

- KNOCHENHAUER, G. (1989): Die Geschichte des Braunkohlenbergbaus im Geiseltal. Technische Kurzinformationen d. KDT d. BKW Geiseltal, 45/ 46: 20-28
- KNOLLE, F., B. OESTREICH, R. SCHULZ & V. WREDE (1997): Der Harz – Geologische Exkursionen. Gotha
- KNOFF, A. (1967): Regulierung des Salzabwasserabstoßes der Kaliwerke des Südharz. Freiburger Forschungshefte, A 426: 175-183
- KOHL, H. (1964): Standortprobleme der Kaliindustrie der Deutschen Demokratischen Republik. Petermanns Geogr. Mitt., 108/ 1-2: 85-90
- KOSSMAT (1927): Gliederung des variskischen Gebirgsbaues.- Abh. Sächs. Geol. L.-A., 1: 1-39; Leipzig
- KRATZSCH, S. (1988): Untersuchung zum langfristigen physiogenen Salzeintrag im Wippergebiet. Univ. Greifswald, unveröff. Dipl.-arb.: 63 S.
- KRAUSE, K.-H. (1986): Entwicklung und gegenwärtige Funktion von Anlagen der historischen bergbaulichen Wasserwirtschaft im Unterharz. Hist.-geogr. Forschungen i. d. DDR. Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR, 17: 143-164
- KRÖLL, D. & NACHSEL, G. (1967): Zur Ausbildung des Staßfurt-Steinsalzes im Südharz-Kalirevier. Geologie, 16/ 3: 269-279
- KRÜGER, H. (1995): Thünens Beitrag zur Erforschung des Systemcharakters der Landwirtschaftsbetriebe. In: STAMER, H. & G. FRATZSCHER (Hrsg.): Johann Heinrich von Thünen. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 186-189
- KRUMBELN, J. (2001): Carnallitlösung - eine Alternative zur konventionellen Gewinnung carnallitischer Rohsalze. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 4-47 - 4-50
- KUGLER, H. & W. SCHMIDT (HRSG.) (1988): Das Gebiet an der unteren Unstrut. Ergebnisse der heimatlichen Bestandsaufnahme in den Gebieten Wiehe, Nebra und Freyburg. Akademie-Verlag, Berlin: 223 S. (= Werte unserer Heimat, 46)
- KUNKEL, S. (2001): Auswirkungen der Einstellung der Kaliindustrie im Südharz-Kalirevier auf die hydrochemischen Verhältnisse der thüringischen Wipper. Univ. Greifswald, unveröff. Dipl.-arb.: 50 S.
- KUPETZ, M. & M. BRUST (1994): Karstlandschaft Kyffhäuser und Umgebung (Kyffhäuserkreis, Thüringen). In: Abhandlungen der AG für Karstkunde Harz e.V., N.F. 1: 27-35
- LAU Sachsen-Anhalt (2002): Hochwasserschutz in Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle (Saale)
- LAWA (1998): Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in der Bundesrepublik Deutschland mit mehr als 0,3 hm³ Speicherraum. Kulturbuch, Berlin, 2. Aufl.: 72 S. (= Lawa-Dokumentationen)
- LEEDER, M. R. (1997): Sedimentary basins: tectonic recorders of sediment discharge from drainage catchments. Earth Surface Processes and Landforms, 22: 229-237
- LEYRER, K., STROHMENGER, C., ROCKENBAUCH, K. & T. BECHSTAEDT (1998): High-Resolution Forward Stratigraphic Modeling of ca2-Carbonate Platforms and Off-Platforms Highs (Upper Permian, Northern Germany). In: HARFF, J., LEMKE, W. & K. STATTEGER (EDS.): Computerized Modeling of Sedimentary Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 307-339
- LIEBMANN, H. (1938): Biologie und Chemismus der Bleilochsperre. Zugleich ein Beitrag zur Frage der Wirkung von Abwässern aus Sulfitzellulosefabriken auf stehende Gewässer. Archiv für Hydrobiologie, XXXIII: 1-181
- LIEBMANN, H. (2001): Erfolge und Grenzen der Überdeckung und Begrünung von Kalirückstandshalden. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 7-5 - 7-8
- LIEBMANN, H. & J. PARNIESKE-PASTERKAMP (2001): Hydrologie und Begrünung von Kalihalden. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 10-1 - 10-7
- LIEDTKE, H. (1981): Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa. Forschungen zur deutschen Landeskunde 204, Trier
- LIEBMAN, W. (1997): Historischer Bergbau im Harz. Springer, 2., erw. Aufl., Berlin et al.: 337 S.
- LÖFFLER, J. (1962): Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil III: Sachsen-Anhalt. Akademie-Verlag, Berlin: 347 S. (= Freiburger Forschungshefte, C 97/ III)
- LORENZ, S. (1962): Wassereinbrüche im Mansfelder Kupferschieferbergbau. Z. f. angew. Geologie, 8/ 6: 310-316
- LÖSER, H. (1972): Abschlußbericht über die mineralogische Zusammensetzung der Rückstandshalden des Südharz-Kalireviers (unveröff. Studie vom 17.08.1972)
- LUCERNA, R. (1931): Fazettierung. Petermanns Geogr. Mitt., 77/ 1-2: 1-7
- LÜSSEM, H. (1967): Kaliabwässer, die Regelung ihrer Ableitung und ihre Auswirkung auf die Werra und Weser. Wasser und Boden, 19/ 1: 11-16
- MANIA, D. (1966): Die Porta Thuringica – Besiedlungsablauf und Bedeutung in ur- und frühgeschichtlicher Zeit. Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Gesellsch.-wiss. R., 15: 75-175
- MARKUS, E. (1936): Geographische Kausalität. Eesti Vabariigi Tartu Ülikooli Tolmetused (Acta et Commentationes Universitatis Tatuensis [Dorpatensis]), A: Mathematica, Physica, Medica, XXX/ 5: 202 S.
- MARSH, G.P. (1864): Man and Nature or: Physical Geography as Modified by Human Action. Scribner, New York, London.
- MARTENS, T. (2003): Sammlung Geologischer Führer, Thüringer Wald, Band 95. Berlin-Stuttgart
- MATSCHOSS, C. (1901): Geschichte der Dampfmaschine. Reprint 1983: Gerstenberg, Hildesheim: 451 S.
- MEINCKE, W. (1967): Hydrodynamik im Solling-Sandstein (Mittleren Buntsandstein) des Thüringer Beckens. Z. angew. Geologie, 13/ 8: 399-405 (= 1967 a)
- MEINCKE, W. (1967): Hydrodynamik im Staßfurtkarbonat des Thüringer Beckens. Z. angew. Geologie, 13/ 9: 462-465 (= 1967 b)
- MEINICKE, K. P. & W. EBERSBACH (HRSG.) (1996): Bergbau- und Umweltgeschichte in Mitteldeutschland. Sammelband zum Kolloquium an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg am 7. März 1996
- MENCHÉN, G. & W. LEIßLING (1987): Burgen zwischen Werra und Elbe. Greifenverlag, 2. Aufl., Rudolstadt: 387 S.
- MENDEL, H. G., FISCHER, P. & A. HERRMANN (1997): Hochwasser. Gedanken über Ursachen und Vorsorge aus hydrologischer Sicht. Mitt. Bundesanst. Gew.-kunde, 1022: 53 S.
- MESSER, E. (1978): Die nordhessischen Kaligruben. Kali und Steinsalz, 7: 306-318
- MEYER, G. & G. SCHÖNBERG (1999): Sanierung des Kali- und Steinsalztalbergbaues ohne Rechtsnachfolger im Zuständigkeitsbereich des Bergamtes Staßfurt. In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland, Berlin: 147-154 (= Exk.-führer u. Veröff. GGW, 205)

- MINKLEY, W. & W. MENZEL (1999): Zum Gebirgsschlagmechanismus im deutschen Kalibergbau Teutschenthal 1996 ein neuer Beleg? In: HARTMANN, O. (HRSG.): Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland, Berlin: 43-49 (= Exk.-führer u. Veröff. GGW, 205)
- MIRSCH, E. (1966): Die natürliche und industrielle Versalzung von Wipper, Unstrut, Saale und Elbe. Mitt. Inst. Wasserwirtschaft, 8, Berlin: 3-168
- MIRSCH, R. (1995): Technische Denkmale und historische Zeugen des Berg- und Hüttenwesens im Mansfelder Land und im Raum Sangerhausen. In: JANKOWSKI, G. (HRSG.): Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. GDMB-Informationsgesellschaft, Clausthal-Zellerfeld: 312-320
- MIRSCH, R. (2003): Zeugen der Produktions- und Sozialgeschichte im Mansfelder Land und Sangerhausen. Anschnitt, 55/ 3-5: 160-171
- MITTELSDORF, H. (1990): Die Geschichte der Saale-Talsperren (1890-1945). Diss., Humboldt-Univ. Berlin, 2 Bde: 231 S.
- MOHR, K. (1993): Geologie und Minerallagerstätten des Harzes. Stuttgart
- MORGENSCHWEIS, G. (1997): Bewirtschaftung der Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr. In: COLDEWEY, W. G. & E. P. LÖHNERT (HRSG.): Grundwasser im Ruhrgebiet. Probleme, Aufgaben, Lösungen. Vortrags- und Posterzusammenfassungen der Tagung der Deutschen Montan-Technologie, Bochum, Oktober 1997 (= GeoCongress, 3): 205-212
- MRUSEK, H.-J. (1965): Thüringische und sächsische Burgen. Edition Leipzig, Leipzig: 79 S.
- MUDELSEE, M., BÖRNGEN, M., TETZLAFF, G. & U. GRÜNEWALD (2003): No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. Nature, 425 (11.09.2003): 166-169
- MÜLLER, E. P. & G. PAPENDIECK (1975): Zur Verteilung, Genese und Dynamik von Tiefenwässern unter besonderer Berücksichtigung des Zechsteins. Z. geol. Wiss., 3/ 2: 167-196
- MÜLLER, W. (1967): Probleme der Kaliabwasserbeseitigung. Fortschritte der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete, 7: 147-159
- NACHSEL, G. & E. FRANZ (1983): Zur Ausbildung der Wippertal-Störungszone im Bereich des Grubenfeldes des Kaliwerks "Glückauf" Sondershausen. Z. geol. Wiss., 11/ 8: 1005-1021
- NEEF, E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Haack, Gotha: 152 S.
- NEEF, E. (1980): Über Grenzen in physisch-geographischen Komplexen. In: KISHIMOTO, H. (ed.): Geography and its Boundaries. Kümmerley und Frey, Bern: 81-87 (= 1980 a)
- NEEF, E. (1980): Ein Modell für landschaftsverändernde Prozesse. Geogr. Rundschau, 32/ 11: 474-477 (= 1980 b)
- NEIDHÖFER, R., WIGGERING, H., SCHENK, D. & M. KAUPÉ (1999): Ausweisung von Grundwassereinheiten - Grundlage für einen flächendeckenden Grundwasserschutz. Wasser und Boden, 51/ 3: 29-33.
- NEUß, E. & D. ZÜHLKE (HRSG.) (1982): Mansfelder Land. Ergebnisse der heimatkundlichen Bestandsaufnahme im Gebiet um Leimbach, Hettstedt, Friedeburg, Mansfeld, Lutherstadt Eisleben, Dederstedt, Holdenstedt, Hornburg und Seeburg. Akademie-Verlag, Berlin: 228 S. (= Werte unserer Heimat, 38)
- OLWIG, K.R. (1996): Recovering the Substantive Nature of Landscape. Annals of the Ass. American Geographers, 86/ 4: 630-653
- PAUCKE, H. & H. STUBBE (1986): Zur Geschichte, Stellung und Ausrichtung der Ökologie. Hercynia, N.F., 23/ 4: 409-417
- PERELMAN, A.I. (1977): Zur Geochemie der Technogenese. Z. angew. Geologie, 23/ 3: 111-115
- POHLENDT, H. (1950): Die Verbreitung der mittelalterlichen Wüstungen in Deutschland, Göttinger Geogr. Abh., 3: 86 S.
- PÖRTIGE, K.-H. (1999): Der Kalibergbau und seine Folgen in Thüringen und Hessen. Petermanns Geogr. Mitt., 143/ 1: 59-71
- POSCHKE, K. (1965): Praktische Erfahrungen beim Betrieb der Laugenversenkanlagen im Kalikombinat "Werra". Freiburger Forsch.-hefte, A 354: 7-21
- PREOBRAZHENSKIJ, V. S. (1977): Formen von Integrationsprozessen in der Geographie. Petermanns Geogr. Mitt., 121/ 3: 175-177
- PRESS, H. (1958): Talsperren. Ernst & Sohn, Berlin, 2., erw. Aufl.: 395 S.
- RADKAU, J. (1993): Entwicklungsprozesse und gesellschaftliche Entscheidungsspielräume in der Geschichte großtechnischer Systeme. In: ALBRECHT, H. & C. SCHÖNBECK (Hrsg.): Technik und Gesellschaft, VDI-Verlag, Düsseldorf: 373-410 (= Technik und Kultur, X)
- RÁGÓCZY, E. (1916): Das Projekt eines nord-südlichen Großschiffahrtsweges zur Verbindung der Nordsee (bei Bremen) mit dem Main, der Donau und dem Schwarzen Meere. Petermanns Geogr. Mitt., 62/ 9: 321-326; 10: 366-372; 11: 405-409
- RAPP, F. (1978): Analytische Technikphilosophie. Karl Alber, Freiburg und München: 226 S. (= Kolleg Philosophie)
- RAUCHE, H., THOMA, H. & O. HARTMANN (2001): Aspekte der Langzeitsicherheit bei der Stilllegung und Nachnutzung von Kali- und Steinsalzbergwerken. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 4-1 - 4-5
- Reichsverkehrsministerium (1938): Der Mittellandkanal. Verlag Volk und Reich, Berlin: 109 S.
- REIMANN, G. & J. SEIERT (2001): Das Einzugsgebiet der Saale vor dem Hintergrund der geplanten Wasserrahmenrichtlinie der EU. Nova Acta Leopoldina, NF 84, Nr. 319: 11-20
- REMUS, W. & J. ZIESCHANG (1975): Zur regionalen Einschätzung der Nutzungsmöglichkeiten von Mineralwässern für balneologische Zwecke. Z. angew. Geologie, 21/ 9: 423-427
- RENTZSCH, J. & H. J. FRANZKE (1997): Regional Tectonic Control of the Kupferschiefer Mineralization in Central Europe. Z. geol. Wiss., 25/ 1-2: 121-139
- RICHTER, H. (1976): Beziehungen zwischen der Flächennutzung und der naturräumlichen Ausstattung der DDR. Geogr. Ber., 1: 15-29
- RICHTER, H. (1988): Ein Beitrag zur Landschaftsökonomie. In: Wiss. Mitt. IGG AdW, 27: 44-54
- RÖDEL, R. (1996): Die Gewässerbelastung durch Salzabwässer im Werra-Kalirevier. Geosystemanalyse im Zeitbereich. Dipl.-arb., Univ. Greifswald: 23 S.
- RÖDEL, R. (1997): Zeitreihenanalyse von aufsteigendem Salzabwasser im Werra-Kalirevier. Wasser und Boden, 49/ 12: 27-30
- RÖDEL, R. (1999): Space-Time-Modelling of Ascending Salty Sewage Water in the Werra-Potash District (Middle Germany). In: SCHOLZ-REITER, B., STAHLMANN, H. D. & A. NETHE (EDS.): Process Modelling. Springer, Berlin, Heidelberg: 471-479
- RÖDEL, R. (2001): Die Auswirkungen des historischen Talsperrenbaus auf die Zuflußverhältnisse der Ostsee. Greifswalder Geogr. Arb., 18: 118 S.

- ROOSAARE, J. (1994): Physical Geography in Estonia: Bridging Western and Eastern School of Landscape Synthesis. *GeoJournal*, 33.1: 27-36
- ROPOHL, G. (1998): Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften. Verlag Fakultas, Chur: 177 S. (= Technik interdisziplinär, 3)
- ROPOHL, G. (1999): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. Carl Hanser Verlag, München und Wien, 2. Aufl.: 360 S.
- SALZER, K., JOST, G. & O. LANDSMANN (2003): Geomechanische Untersuchungen und Gefährdungsabschätzung für das geflutete Grubengebäude am Schacht Neustaßfurt VI. In: HARTMANN, O. & G. SCHÖNBERG (HRSG.): Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland IV. Exkurs. f. Veröfftl. GGW, 222: 9-24
- SCHEIBE, R. (1998): Der Ausbau der übertägigen Speicherraumkapazität im Rahmen der historischen Bergbauwasserwirtschaft. Standortfaktoren, Entwicklung und hydrogeographische Auswirkungen, dargestellt an Einzelbeispielen aus dem Harz und dem Erzgebirge. Dipl.-Arb., Univ. Greifswald: 104 S.
- SCHEURING, L. & H. LIEBMANN (1938): Die Bleiloch-Sperre, Deutschlands größte Talsperre, ihre wasserwirtschaftlichen, chemischen und biologischen Besonderheiten. *Natur und Volk*, 68/ 10: 484-495
- SCHITKO, J. (1834): Die Wassersäulen-Maschine. Beck, Wien: 146 S. (= Beiträge zur Bergbaukunde, 2)
- SCHLÜTER, O. (1906): Die Ziele der Geographie des Menschen. Oldenbourg, München & Berlin: 63 S.
- SCHLÜTER, O. & O. AUGUST (HRSG.) (1959): Atlas des Saale- und mittleren Elbegebiets (Text- und Kartenband). 2. neubearb. Aufl. (des „Mitteldeutschen Heimatatlas“), Enzyklopädie, Leipzig
- SCHMEISKY, H., KUNICK, M. & O. LENZ (1993): Zur Begrünung von Rückstandshalden der Kaliindustrie. *Kali und Steinsalz*, 11/ 5-6: 132-150
- SCHMIDT, D., SCHWARTZE, W. & K. WALOTKA (1988): Wasserbewirtschaftung im Bezirk Gera. *Geogr. Ber.*, 126/ 1: 37-49
- SCHMIDT, G. (1997): Umweltbelastung durch Bergbau - Der Einfluß von Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus auf die Schwermetallführung der Böden und Gewässer im Einzugsgebiet Süßer See. Diss., Univ. Halle: 131 S.
- SCHMIDT, M. (1992): Die Wasserwirtschaft des Oberharzer Bergbaues. 2. Aufl., Neuwied: 378 S. (= Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft, 13)
- SCHMIDT, M. (1996): Wasserkraftwerke für den Westharzer Bergbau im 13. Bis 19. Jahrhundert. In: TÖNSMANN, F. (HRSG.): Geschichte der Wasserkraftnutzung. Kassel: 45-63 (= Kasseler-Wasserbau-Mitteilungen, 7)
- SCHMITHÜSEN, J. (1976): Allgemeine Geosynergetik. Grundlagen der Landschaftskunde. Walter de Gruyter, Berlin und New York: 349 S.
- SCHRAMM, J., ENGELMANN, A., BUSCH, D. & U. KÖSTLER (1986): Rechnergestützte Salzlaststeuerung der Wipper. *Kali, Steinsalz, Spat, Reihe A*, 10/ 8: 242-247
- SCHREIBER, P. (1892): Die Beziehungen zwischen dem Niederschlag in Böhmen und dem Wasserabfluß in der Elbe bei Tetschen. (Vortrag am 6. Februar 1892 im Verein für Erdkunde zu Leipzig). In: *Mitt. d. Ver. f. Erdk. z. Leipzig*, Bd. 20 (1891): 69-98 (Leipzig 1892) (= Beitr. z. Landeskunde des Königreiches Sachsen, I. Folge)
- SCHREMMER, E. (1982): Innovationen bei den alpenländischen Salinen im ausgehenden 18. Jahrhundert. In: *Montanhistorischer Verein für Österreich* (Hrsg.): Geschichte des alpinen Salzwesens. *Leobener Grüne Hefte*, N.F., 3: 69-104
- SCHRÖDER, G. (1963): Entwicklung der Abwässerbeseitigung durch Versenken im Werra-Kaligebiet von 1925 bis 1961. *Freiberger Forsch.-hefte*, A 267: 145-151
- SCHROTH, H. E. (1975): Die Salzbelastung der Werra und Weser aus der Sicht der Kaliindustrie. *Deutsch. Gewässerkundl. Mitt.*, 19/ Sonderheft: 77-83
- SCHUBERT, R. (1953): Die geschichtliche Entwicklung der Haldenlandschaft des Mansfelder Landes. *Urania*, 16/ 5: 168-177
- SCHUBERT, R. (1954): Die Schwermetallpflanzengesellschaften des östlichen Harzvorlandes. *Wiss. Z. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Math.-naturwiss. R.*, 3 (1953/ 54)/ 1: 51-70
- SCHULTZE, M. & S. KNAPPE (2001): Auswirkungen der Bergbautätigkeit im Einzugsgebiet auf die Wasserbeschaffenheit der Saale und ihrer Nebenflüsse. *Nova Acta Leopoldina*, NF 84, Nr. 319: 45-64
- SCHULZ, C.-J. (2000): Auswirkungen rückläufiger Salzgehalte auf die Ökologie mehrerer Fließgewässer Nordthüringens. *Wasser und Boden*, 52/ 6: 27-33
- SCHÜRER, J. & K.-H. KULBE (1997): Die Versalzung von Fließgewässern der Südharzregion (Deutschland). Ursache, Stand, Tendenzen. *Limnologica*, 27/ 1: 9-17
- SCHWAB, M. (1983): Paläogeographie und naturräumliche Gliederung. In: RICHTER, H. & K. D. AURADA (HRSG.): *Umweltforschung. Zur Analyse und Diagnose der Landschaft*. Perthes, Gotha: 160-168
- SCHWANDT, A. (1991): Zur Hydrogeologie der Zechstein-Sedimente in den Kali- und Steinsalzbaugebieten Mitteldeutschlands. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 4: 1263-1273
- SCHWANDT, A. (1993): Salzlösungs- und Wasservorkommen im Salz- und Kupferschieferbergbau am Bernburger Hauptsattel und im Sangerhäuser Revier. *GSF-Bericht* 21/ 93: 232 S.
- SCHWANDT, A. & G. SEIFERT (1999): Natürliche und gelenkte Flutung von Salzbergwerken in Mitteldeutschland. In: HARTMANN, O. (HRSG.): *Kali, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland*. Exkurs. f. Veröfftl. GGW, 205: 61-72
- SCHWANDT, A., SCHMIEDL, H.-D., SPILKER, M., HERBERT, D., FRÖHLICH, K. & H.-P. JORDAN (1986): Neue Aspekte zur Auslaugung in Kali- und Kupferschieferabbaugebieten der DDR. *Z. geol. Wiss.*, 14/ 2: 183-192
- SEIDEL, G. (1964): Zur Endlaugenversenkung im Südharzkalirevier. *Z. f. angew. Geologie*, 10/ 6: 290-295 (= 1964 b)
- SEIFERT, F. (1953): Werdegang und Bedeutung der Kaliabwässerkommission für das Gebiet der Werra und Fulda. *Kali- und Steinsalz*, 1/ 3: 5-12
- SEIFERT, G. & A. SCHWANDT (1996): Beitrag zur Bergschadensentwicklung am Beispiel der SW-Flanke des Staßfurter Sattels. In: THOMAE, M. (HRSG.): *Bergbaufolgelandschaften und Bergschäden des Kaliberbaues*: 68-81 (= Exkurs.f. u. Veröfftl. GGW, 198)
- SEIFERT, G. & A. SCHWANDT (1998): Zur Bergschadensentwicklung im Kaliabbaugebiet des südöstlichen Subherzynen Beckens. *Schriftenreihe angewandte Geowissenschaften*, 3: 35-47
- SIEFERLE, R.P. (1998): Was ist Natur ? In: HABERL, H., KOTZMANN, E. & H. WEISZ (Hrsg.): *Technologische Zivilisation und Kolonisierung von Natur*. Springer, Wien und New York: 100-103 (= iff Texte, 3)
- SINGEWALD, A. (1983): Die Weser und die Aufbereitung von Salzmineralen. *Die Weser*, 57: 130-137

- SKOWRONEK, F., FRITSCH, J.-G., ARAGON, U. & D. RAMBOW (1999): Die Versenkung und Ausbreitung von Salzabwasser im Untergrund des Werra-Kaligebietes. 83 S. (=Geol. Abh. Hessen, 105)
- SLOTTA, R. (2003): Die Mansfelder Kupferstraße. Anschnitt, 55/ 3-5: 224-235
- SOLNCEV, V.N. (1981): Chronoorganizacija geograficeskich javlenii (Zeitorganisation geographischer Erscheinungen). In: Autorenkollektiv: Geofizika landschafta (Geophysik der Landschaft), Mysl, Moskva: 40-68
- SORGE, E., KELLNER, G., FRENZEL, A. & E. LOOCK (1953): 100 Jahre Staßfurter Salzbergbau, Anhang, Kreuz-Verlag, Halle: 152 S.
- SPACKELER, G. (1957): Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbergbaues. (= Berg- und Aufbereitungstechnik, II/ 9B), Wilhelm Knapp Verlag, Halle, 2. Aufl.: 598 S.
- SPANGENBERG, C. (1913): Mansfeldische Chronica (Hrsg.: Rühlemann, C.), Mansfelder Blätter, Eisleben, Band 27 und 28
- Staatsarchiv Magdeburg (1579): Die Herleitung der Saltz-Sole von Artern biß an den Saalen Strohm bey Naumburgk (1579), Staatsarchiv Magdeburg, Signatur: Rep. F 45, Nr. 84
- STODDART, D.R. (1965): Geography and the Ecological Approach. The Ecosystem as a Geographic Principle and Method. *Geography*, 50: 242-251
- STOLLE, E. (1958): Zum Problem der Laugenversenkung in der Kaliindustrie. *Neue Hütte*, 3/ 2: 72-78
- STROMER, W. VON (1984): Wassersnot und Wasserkünste im Bergbau des Mittelalters und der frühen Neuzeit. Anschnitt, Beiheft 2: Montanwirtschaft Mitteleuropas vom 12. Bis 17. Jahrhundert. Bochum: 50-72
- STRUBE, M. (1993): Die Verringerung der thüringischen Salzbelastung. In: DVWK (1993) Salz in Werra und Weser: 144-154 (= Mitteilungen des DVWK, 24)
- STRUBE, M. (2000): Salzlast in der Werra - Vergleichmäßigung und Steuerung. *Glückauf*, 136/ 12: 755-759 (= 2000 a)
- STRUBE, M. (2000): Maßnahmen zum Ausgleich der Salzlast - Salzlaststeuerung. In: ARGE Weser (Hrsg.): Fachtagung: Salz in Werra und Weser. Maßnahmen, Folgen, Zukunft. Kassel: 30-37 (= 2000 b)
- STUDE, J. (2001): Informationsmanagement zur nachhaltigen Nutzung der Bergbaunachfolgelandschaft in Nordthüringen. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW, 211: 7-35 - 7-37
- Talsperrenmeisterei des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.) (1994): Talsperren in Sachsen-Anhalt. 247 S.
- THEILE, K. (1973): Einzugsgebietsmodell für den Hochwasserabfluß im Wipper-Gebiet. Unveröff. Manuskript, Halle:
- THEILE, K. (1996): Entwicklung der Salzlaststeuerung als Folge der Oberflächenwasserversalzung durch Abwässer aus dem Kali- und Kupferschieferbergbau. In: MEINICKE K. P. & W. EBERSBACH (HRSG.): Bergbau- und Umweltgeschichte in Mitteldeutschland. Sammelband zum Kolloquium an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg am 7. März 1996: 125-137
- THEILE, K. (2001): Gewässergüte der Saale - Vergangenheits- und Zukunftsaspekte. *Nova Acta Leopoldina*, NF 84, Nr. 319: 117-129
- THEILE, W. (1992): Rechnergestützte Hochwassersteuerung und Abflußprognose für die Obere Saale und Unstrut. *Wasser und Boden*, 44/ 3: 164-167
- THIEM, A. (1893): Diagramme der Fläche des Salzigen Sees in Function der Spiegellage. o.O., Staatsarchiv Magdeburg, Sign. Rep. F, Karten II, Tit. IIa, Nr. 51 (= 1893 a)
- THIEM, A. (1893): Diagramm der täglichen Wasserverluste des Salzigen Sees. o.O., o.J. (Kopie: Eichbaum 1893). Staatsarchiv Magdeburg, Sign. Rep. F, Karten II, Tit. IIa, Nr. 51 (= 1893 b)
- THIEM, A. (1893): Diagramm des Ganges der Wasserspiegel in den Mansfelder Schächten und Seen. o.O., Staatsarchiv Magdeburg, Sign. Rep. F, Karten II, Tit. IIa, Nr. 51 (= 1893 c)
- THOMA, H. (2001): Seismisches Monitoring als ein Mittel zur Einschätzung von Gefährdungszuständen im Kali- und Steinsalzbergbau. *Exkurs.-f. Veröff. GGW*, 211: 5-25 - 5-26
- THOMAS, G. (1954): Schluckbrunnenbohrungen für die Kaliabwasserversenkung. *Bergbautechnik*, 4/ 9: 496
- Thüringer Talsperrenverwaltung (1993) (Hrsg.): Talsperren in Thüringen. Erfurt: 276 S.
- TJADEN, H.-C. (1915): Die Kaliindustrie und ihre Abwässer mit besonderer Berücksichtigung des Weserstromgebiets. Gebr. Borntraeger, Berlin: 365 S.
- TRAUTVETTER, D. & J. KOTTMEYER (2001): Die Rekultivierung von Kalihalden als Maßnahme zur Gefahrenabwehr. *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall*, 48/ 10: 1457-1461
- ULE, W. (1892): Die Mansfelder Seen. Bericht über die gegenwärtigen Veränderungen. Mitteilungen des Vereins für Erdkunde zu Halle an der Saale, 199-204
- ULE, W. (1895): Die Mansfelder Seen und die Vorgänge an denselben im Jahre 1892. Eisleben: 76 S.
- ULE, W. ET AL. (1909): Heimatkunde des Saalkreises einschließlich des Stadtkreises Halle und des Mansfelder Seekreises. Halle
- ULRICH, B. (1994): Ökosystemare Grundlagen - Stoffhaushalt von Waldökosystemen und Gewässerqualität. In: MATSCHULLAT, J. ET AL. (HRSG.): Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität. Springer, Berlin et al.: 1-19
- VAAS, R. (2004): Die Himmelscheibe von Nebra - Die älteste Darstellung des Sternenhimmels. *Naturwiss. Rundschau*, 57/ 5: 247-252
- VAREN, B. (1650): *Geographia Generalis*, In qua affectiones generales Telluris explicantur. Elsevier, Amsterdam: 786 S.
- VEITH, H. (1871): *Deutsches Bergwörterbuch mit Belegen*. Verlag von W.G. Korn, Breslau, 2 Bände (in einem Band): 600 S.
- Vereinigte Energiewerke AG (VEAG) (1997): Die Wasserkraftwerke der VEAG. Berlin: 27 S.
- VILLEFOSS, H. v (1822): *Der Mineralreichtum des Harzes*. 3 Bde. u. Atlas, Sondershausen
- VÖLKER, R. (1994): Gipskarst am Südrand des Harzes, Gebiet Ufrungen - Questenberg (Landkreis Sangerhausen, Sachsen-Anhalt). In: KUPETZ, M & M. BRUST: Gipskarstexkursionen in den naturräumlichen Regionen Südharz, Kyffhäuser und Mansfelder Mulde. *Abhandlungen der Arbeitsgemeinschaft für Karstkunde Harz e. V.*, Neue Folge, Heft 1, Nordhausen, S. 18-26
- VÖLKER, R. (1997): Die Karstlandschaft des Südharzes am Beispiel der karstmorphologischen Kartierung des Karstausstriches im Landkreis Sangerhausen. In: Förderverein Gipskarst Südharz e.V.: Gipskarst im Landkreis Sangerhausen. Nordhausen, S. 4-34
- VÖLKER, R: www.karstwanderweg.de, 6/2005, Zeichnungen
- WAGENBRETH, O. (1973): Zur landeskulturellen Erhaltung von Bergbauhalden. *Geographische Berichte*, (68) 18/ 3: 196-205
- WAGENBRETH, O. (1988): Dampfmaschine und Geologie, ein Beispiel für Wechselwirkungen zwischen

- Produktionsmittel und Wissenschaft zur Zeit der Industriellen Revolution. *Z. geol. Wiss.*, 16/ 1: 7-17
- WAGENBRETH, O. (1996): Wasserwirtschaft im historischen Erzbergbau Europas. In: TÖNSMANN, F. (HRSG.): *Geschichte der Wasserkraftnutzung*. Kassel: 35-43 (= Kasseler-Wasserbau-Mitteilungen, 7)
- WAGENBRETH, O.; STEINER, W. (1990): *Geologische Streifzüge- Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg*, 4. Auflage. Leipzig
- WAGENBRETH, O. & E. WÄCHTLER (HRSG.) (1986): *Der Freiburger Bergbau*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 381 S. (= 1986 a)
- WAGENBRETH, O. & E. WÄCHTLER (HRSG.) (1986): *Dampfmaschinen. Die Kolbendampfmaschine als historische Erscheinung und technisches Denkmal*. Fachbuchverlag. Leipzig: 367 S. (= 1986 b)
- WAGENBRETH, O. & E. WÄCHTLER (HRSG.) (1990): *Bergbau im Erzgebirge*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 504 S.
- WALTER, H.-H. (1986): 2000 Jahre Salzproduktion am Kyffhäuser. *Geschichte der Salinen Frankenhausen, Auleben und Artern*. Veröff. Kreisheimatmuseum Bad Frankenhausen, 10.
- WALTER, H.-H. (1988): Siedesalzproduktion aus natürlichen Solen im 19. Jahrhundert. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 16/ 1: 77-81
- WALTER, S. (2002): Auswirkungen der Einstellung der Kaliindustrie im thüringischen Werra-Kalirevier auf die hydrochemischen Verhältnisse der Werra. *Univ. Greifswald, Dipl.-arb.*: 89 S.
- WANNER, H., HOLZHAUSER, H., PFISTER, C. & H. ZUMBÜHL (2000): Interannual to century scale climate variability in the European Alps. *Erdkunde*, 54: 62-69
- WEIGERT, H., SCHAPPMANN, J., RAUCHE, H. & A. STÄUBERT (2001): *Kalisalzlagerstätte Sondershausen. Exkursionsführer und Veröffentlichungen der GGW*, 211: 8-1 - 8-23
- WEIKINN, C. (1958-63): *Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitenwende bis zum Jahr 1850*. Hydrographie, Teil I, 3-4, Akademie-Verlag, Berlin: 531 S. (= Quellensammlungen zur Hydrographie und Meteorologie, 1)
- WEIRAUCH, D. (1985): Die "Feuermaschine" von Hettstedt. *Technische Gemeinschaft*, 9: 17-18
- WELLMER, F.-W. & J.D. BECKER-PLATEN (HRSG.) (1999): *Mit der Erde leben. Geologische Dienste zur Daseinsvorsorge und nachhaltigen Entwicklung*. Springer-Verlag, Berlin et al.: 273 S.
- WILSDORF, H. (1964): Umriss der alten bergmännischen Wasserwirtschaft auf dem Freiburger Bergrevier. In: *Festschrift zum 100jährigen Bestehen des Naturkundemuseums Freiberg*. Freiberg: 107-152
- WIRTH, H. (1972): *Das Frankenhäuser Salzwerk. Ein Beitrag zur Geschichte der Technik der Kochsalzgewinnung*. *Wiss. Z. Hochschule Arch. u. Bauwesen Weimar*, 19: 89-99
- Wirtschaftsvereinigung Bergbau (1994): *Das Bergbau-Handbuch*. Glückauf, Essen: 319 S.
- WITKOWSKI, J. (1994): *Die Geschichte der Mansfelder Seen unter besonderer Berücksichtigung des Salzigen Sees*. Unveröff. Hausarbeit, Universität Greifswald: 137 S.
- WITTENBURG, R. (1991): Zweifelhafter Nachweis horizontaler Krustenbewegungen. *Vermessungstechnik*, 39: 192-197
- WITTWER, W. E. (1861): *Alexander von Humboldt, sein wissenschaftliches Leben und Wirken*. Weigel, Leipzig: 440 S.
- WUNDERLICH, J. (2005): Abriss der Geologie des Kyffhäusers. In: KUPETZ, M. & M. K. BRUST (HRSG.): *Karst und Altbergbau am Kyffhäuser*. *Geowissenschaftliche Exk.-führer u. Mitt.*, 225: 7-11
- WUNDERLICH, K. (1932): Über das Verschwinden des Salzigen Sees. *Mein Mansfelder Land*, 7/ 28: 221-224; 7/ 29: 227-232; 7/ 30: 233-238; 7/ 31: 241-243 und 246; 7/ 32: 249-253
- WUNSCH, G. (1977): *Zellulare Systeme*. Akademie-Verlag, Berlin: 150 S. (= *Wiss. Tb.*, 194)
- WUNSCH, G. (1985): *Geschichte der Systemtheorie*. Akademie-Verlag, Berlin: 205 S. (= *Wiss. Tb.*, 296)
- ZARKOV, M.A., ZARKOVA, T.M. & G.A. MERZLJAKOV (1979): Die Volumenverhältnisse halogener Gesteine in paläozoischen Salinarbecken und das Problem der Stoffbestandsentwicklung des Meereswassers. *Z. f. geol. Wiss.*, 7/ 7: 827-841.
- ZEIBIG, S. & J. FELDBERG (1999): Die Kalilagerstätte des Werkes Zielitz und die Steinsalzlagerstätte des Werkes Bernburg der Kali und Salz GmbH. In: HARTMANN, O. (HRSG.): *Kali-, Steinsalz und Kupferschiefer in Mitteldeutschland*. *Exkurs.f. Veröffl. GGW*, 205: 169-182
- ZIEGLER, P.A. (1990): *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., 2nd ed., Verweij, Mijdrecht: 239 pp. and enclosures (= International Lithosphere Program, Publ. 148)
- ZINKE, G. (1998): Die Erfassung von Hochwasserereignissen an Saale, Unstrut und Werra mittels Spezialbefliegung. *Erfurter Geographische Studien*, 7: 53-60
- ZÜHLKE, D. (Hrsg.) (1973): *Magdeburg und seine Umgebung. Ergebnisse der heimatkundlichen Bestandsaufnahme im Gebiet von Magdeburg und Biederitz*. Akademie-Verlag, Berlin, 2. Aufl.: 248 S. (= *Werte unserer Heimat*, 19)

Weiterführende Literatur:

Naturgeschichte

- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer, 5., verb. Aufl., Stuttgart: 1095 S.
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 227 S.
- HANTKE, R. (1993): Flußgeschichte Mitteleuropas. Skizzen zu einer Erd-, Vegetations- und Klimageschichte der letzten 40 Millionen Jahre. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart: 459 S.
- JÄGER, H. (1994): Einführung in die Umweltgeschichte. Wiss. Buchgesell., Darmstadt: 245 S.
- KRECH, S., MCNEILL, J. R. & C. MERCHANT (EDS.) (2004): Encyclopedia of World Environmental History. 3 vol., Routledge, New York & London: 1429 pp.
- ROTHER, P. (2005): Die Geologie Deutschlands. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 240 S.

Wirtschaftsgeschichte

- BORN, M. (1989): Die Entwicklung der deutschen Agrarlandschaft. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2. Aufl., Darmstadt: 185 S. (= Erträge der Forschung, 29)
- HENNING, F.-W. (1991): Deutsche Wirtschafts- und Sozialgeschichte im Mittelalter und in der frühen Neuzeit. Schöningh, Paderborn, München, Wien, Zürich: 1089 S. (= Handbuch der Wirtschafts- und Sozialgeschichte Deutschlands, 1)
- HENNING, F.-W. (1996): Deutsche Wirtschafts- und Sozialgeschichte im 19. Jahrhundert. Schöningh, Paderborn, München, Wien, Zürich: 1348 S. (= Handbuch der Wirtschafts- und Sozialgeschichte Deutschlands, 2)
- SCHERER-HALL, R. (1996): Kleines Lexikon der historischen Kulturlandschaft und ihrer Elemente. Köln: 79 S.
- WIESE, B. & N. ZILS (1987): Deutsche Kulturgeographie. Werden, Wandel und Bewahrung deutscher Kulturlandschaften. Busse & Seewald, Herford: 179 S.

Technikgeschichte

- BARTELS, C. (1997): Die Nutzung der Wasserkraft im Harzer Montanwesen im Spannungsfeld von Ökonomie, Technik und Naturwissenschaft: Einsatz, Optimierung und Resultate. In: LINDGREN, U. (HRSG.): Naturwissenschaft und Technik im Barock. Innovation, Repräsentation, Diffusion. Böhlau, Köln, Weimar, Wien: 51-76 (= Bayreuther Historische Kolloquien, 11)
- CLEMENT, M. (1996): Tausend Jahre Metallergbergbau in Mitteleuropa. Glückauf, Essen: 90 S.
- DARMSTAEDTER, L. (1908): Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und Technik. Springer, 2. Aufl., Berlin: 1262 S. (Reprint Kraus 1960)
- ECKOLDT, M. (HRSG.) (1998): Flüsse und Kanäle. Die Geschichte der deutschen Wasserstraßen. DSV-Verlag, Hamburg: 526 S. und Kartenband
- EMMONS, H.-H. & H.-H. WALTER (1988): Alte Salinen in Mitteleuropa. Zur Geschichte der Siedesalzerzeugung vom Mittelalter bis zur Gegenwart. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig: 280 S.
- FETTWEIS, G. B. L. (2004): Zur Geschichte und Bedeutung von Bergbau und Bergbauwissenschaften. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien: 543 S. (= Veröff. Komm. Geschichte Naturwissenschaften, Mathematik und Medizin, 54)

- FRANKE, P. (ED.) (2001): Dams in Germany. Glückauf, Essen: 495 pp.
- KAPOLYI, L. (1987): Mineral Resources: A System Analytical and Functional Approach. Springer, Wien & New York: 316 pp.
- MANIAK, U. (2001): Wasserwirtschaft. Einführung in die Bewertung wasserwirtschaftlicher Vorhaben. Springer, Berlin et al.: 304 S.
- MEURER, R. (2000): Wasserbau und Wasserwirtschaft in Deutschland. Vergangenheit und Gegenwart. Parey, Berlin: 358 S.
- MÜLLER, E. (1998): Handbuch der Elektrizitätswirtschaft. Technische, wirtschaftliche und rechtliche Grundlagen. Springer, Berlin et al.: 415 S.
- OELKE, E. (HRSG.) (2002): Glück auf! Bergbau und Bergbauregionen in Sachsen-Anhalt. Mitteldeutscher Verlag, Halle: 240 S.
- RÖDEL, V. (1998): Reclams Führer zu den Denkmälern der Industrie und Technik in Deutschland. Band 2: Neue Länder, Berlin. Philipp Reclam jun., Stuttgart: 391 S.
- SCHMIDT, M. (2000): Hochwasser und Hochwasserschutz in Deutschland vor 1850. Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag, München: 330 S.

Kulturgeschichte

- BILLER, T. & G. U. GROßMANN (2002): Burg und Schloß. Der Adelsitz im deutschsprachigen Raum. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 279 S.
- BINDING, G., MAINZER, U. & A. WIEDENAU (1975): Kleine Kunstgeschichte des deutschen Fachwerkbaus. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 245 S.
- BÖHME, H. W., VON DER DOLLEN, B., KERBER, D., MEEKSEPER, C., SCHOCK-WERNER, B. & J. ZEUNE (HRSG.) (1999): Burgen in Mitteleuropa. Ein Handbuch. 2 Bände, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 328 und 352 S.
- ELLENBERG, H. (1990): Bauernhaus und Landschaft in ökologischer und historischer Sicht. Ulmer, Stuttgart: 585 S.
- GERLICH, A. (1986): Geschichtliche Landeskunde des Mittelalters. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 511 S.
- HOTZ, W. ((1970): Kleine Kunstgeschichte der deutschen Schlösser. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 236 S.
- HOTZ, W. (1965): Kleine Kunstgeschichte der deutschen Burg. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 270 S.
- KAISER, R. (1993): Das römische Erbe und das Merowinger-Reich. Oldenbourg, München, 157 S. (= Enzyklopädie deutscher Geschichte, 26)
- KÖBLER, G. (1999): Historisches Lexikon der deutschen Länder. Die deutschen Territorien und reichsunmittelbaren Geschlechter vom Mittelalter bis zur Gegenwart. Beck, 6., überarb. Aufl., München: 883 S.
- KRAHE (1994): Burgen des deutschen Mittelalters. Grundrißlexikon. Weidlich/ Flechsig, Würzburg: 760 S.
- LIEDTKE, H. (1994): Namen und Abgrenzungen von Landschaften in der Bundesrepublik Deutschland. Zentralausschuß für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier: 136 S. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde, 239)
- MECKSEPER, C. (1991): Kleine Kunstgeschichte der deutschen Stadt im Mittelalter. Wiss. Buchgesellschaft, 2. Aufl., Darmstadt: 306 S.
- SCHARF, H. (1984): Kleine Kunstgeschichte des deutschen Denkmals. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt: 374 S.
- ULBRICHT, E. (1957): Das Flußgebiet der Thüringischen Saale. Eine namenkundliche Untersuchung. Deutsch-Slawische Forschungen zur Namenkunde und Siedlungsgeschichte, 2: 283 S.

