

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Bewertung geomechanischer markscheiderischer Messungen,
Zwischenbericht 7/97 bis 3/98

Autor: BGR

Erscheinungsjahr: 1999

Unterlagen-Nr.: I 100

Revision: 00

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung	4
1 Veranlassung	5
2 Durchgeführte Arbeiten	6
2.1 Konvergenzmessungen	6
2.1.1 Stationsnetz	6
2.1.2 Meßmethode und Auswerteverfahren	8
2.1.3 Ergebnisse	11
2.1.3.1 Allgemeine Beobachtungen	12
2.1.3.2 Meßwerte an den einzelnen Stationen	14
2.1.4 Bewertung	26
2.2 Extensometermessungen	30
2.3 Fissurometermessungen	31
2.3.1 Meßziel und Meßlokation	31
2.3.2 Meßmethode und Auswertung	31
2.3.3 Ergebnisse	33
2.3.4 Bewertung	36
2.4 Lageänderungsmessung 2. Sohle Bartensleben	38
2.4.1 Meßziel und Meßlokation	38
2.4.2 Meßmethoden und Auswerteverfahren	39
2.4.3 Ergebnisse	39
2.4.4 Bewertung	41
2.5 Untertägige Höhenmessungen	43
2.5.1 Meßnetz und Meßverfahren	43
2.5.2 Auswerteverfahren	44
2.5.3 Ergebnisse	46
2.5.4 Bewertung	56
2.6 Übertägige Höhenmessungen	60
2.6.1 Auswerteverfahren	60
2.6.2 Ergebnisse	62
2.6.3 Bewertung	65

	Seite
2.7 Mikroakustische Messungen	68
2.7.1 Einsatz der Methode	68
2.7.2 Meßtechnik und Auswertung	69
2.7.3 Meßziele im ERAM	71
2.7.4 Einsatz der 24-Kanal-Anlage 1. Sohle Bartensleben	72
2.7.4.1 Betrieb der Anlage	72
2.7.4.2 Ergebnisse	72
2.7.4.3 Bewertung	87
2.7.5 Einsatz der 24-Kanal-Anlage 4. Sohle Bartensleben	91
2.7.5.1 Untersuchungsbereich sowie Installation und Betrieb der Anlage	91
2.7.5.2 Ergebnisse	93
2.7.5.3 Bewertung	99
3 Zusammenfassende Bewertung	102
4 Literaturverzeichnis	106
5 Abkürzungsverzeichnis	108
6 Verzeichnis der Tabellen	109
7 Verzeichnis der Anlagen	110
Tabellen (22 Seiten in separatem Anlagenordner)	
Anlagen (284 Seiten in separatem Anlagenordner)	
Gesamtblattzahl	428

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren: Detlef Backhaus, Hajo Schnier, Thomas Spies

Titel: ERA Morsleben: Bewertung geomechanischer und markscheiderischer Messungen (Zwischenbericht 7/1997 - 3/1998)

Stichworte:

Endlagerung radioaktiver Abfälle, Fissurometermessungen, Konvergenzmessungen, Lageänderungsmessungen, markscheiderische Messungen, Mikroakustik

Bei den Konvergenzmessungen im neuen Netz zeigen rund 50% der Stationen signifikante Meßwerte. Die Konvergenzraten sind gering. Es treten überwiegend Konvergenzkurven mit konstanter Steigung auf, die das Vorliegen eines stationären Zustandes anzeigen. Bei der Lageänderungsmessung im Zentralteil Bartensleben zeichnen sich stärkere Neigungsänderungen an der Grenze zwischen Liniensalz und Hauptanhydrit ab. Die untertägigen und übertägigen Höhenmessungen liegen jetzt in einer einheitlichen Auswertung vor. Die ermittelten Bewegungsraten sind gering. Die mikroakustische Aktivität im Zentralteil Bartensleben konzentriert sich auf die abbaunahen Bereiche, aber auch tiefer im Gebirge werden akustische Ereignisse geortet. Die mikroakustischen Messungen in der Südstrecke, 4. Sohle, belegen die hohe geomechanische Beanspruchung der Schweben über den Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle.

1 Veranlassung

Im Zuge der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland mit der ehemaligen DDR hat die Bundesregierung das Endlager für radioaktive Abfälle in Morsleben (ERAM) übernommen. Im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) wird das Endlagerbergwerk von der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE), Peine, betrieben. Im Rahmen des Leistungskatalogverfahrens nimmt die BGR im Auftrag des BfS im AP 9 M213 300 11 die Planung sowie die regelmäßige Interpretation und Bewertung der im ERA Morsleben durchgeführten geotechnischen und markscheiderischen Messungen wahr. Diese Arbeiten tragen zur Beurteilung und Überwachung der Standsicherheit der Grubenbaue bei. Im Rahmen der Sicherheitsanalysen bilden sie einen Teil der Grundlagen für die Entwicklung eines Stilllegungskonzepts. Diese Vorgehensweise steht im Einklang mit den Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission (RSK) für die Planung und den Betrieb eines Endlagers (Erkundung des Standorts des Endlagers, Überwachung, Beweissicherung, Einhaltung der Auslegungsdaten, siehe [1]).

In diesem Zwischenbericht werden die geomechanischen und markscheiderischen Messungen im Zeitraum 7/1997 bis 3/1998 beschrieben und die bisher erhaltenen Ergebnisse dargestellt.

2 Durchgeführte Arbeiten

2.1 Konvergenzmessungen

2.1.1 Stationsnetz

Im Berichtszeitraum wurden 3 Konvergenzhorizonte im Schacht Bartensleben im Deckgebirge im Bereich des Schwimmsandes (-48.6 bis -41.6 mNN) sowie 12 neue Stationen im Grubengebäude installiert [4]. Das jetzt vorliegende Netz von Konvergenzstationen ist eine wesentliche Erweiterung des bis 1991 betriebenen Netzes und stellt - neben den untertägigen Nivellementmessungen - eine flächendeckende Messung in der Grube dar. Die Anlagen 2.1.1 - 2.1.12 zeigen die Verteilung der Stationen auf den verschiedenen Sohlen des ERAM (Übersichtsrisse der Sohlen und Detailansichten für besondere Bereiche). Insgesamt sind derzeit 171 Konvergenzmeßstationen mit 325 Meßstrecken installiert, davon 41 in der Grube Marie und 130 in der Grube Bartensleben inklusive Schacht (siehe Zusammenstellung nächste Seite).

Zwei Stationen mußten 1996 aufgrund notwendiger bergbaulicher Maßnahmen aufgegeben werden (3. Sohle 167K und 4. Sohle 164K). Auf der 2. Sohle wird jetzt eine ehemals als Extensometer bezeichnete Meßstrecke durch einen Hohlraum als Konvergenzmessung geführt (723K).

Sohlenbezeichnung	Anzahl	Jahr der Installation und Anzahl der Stationen						
		1970	1979	1984/ 1985	1993	1995	1996	1997
Marie:								
-195mNN-Sohle	4							4
-231mNN-Sohle	37					21	16	
Marie gesamt	41					21	16	4
Bartensleben:								
Schacht (Deckgeb.)	3							3
1a Sohle (-245mNN)	2						2	
1. Sohle (-253mNN)	24	1				17	6	
2. Sohle (-291mNN)	27	7		1		12	2	5
3. Sohle (-332mNN)	20					16	4	
4a-Sohle (-346mNN)	1							1
4. Sohle (-372mNN)	53	1	3	1	14	26	6	2
Bartensleben gesamt	130	9	3	2	14	71	20	11
Summe ERAM	171	9	3	2	14	92	36	15

Die Tabellen 2.1.1 - 2.1.7 enthalten Angaben zur Bezeichnung der Stationen, der Lage, Geologie, Datum der Nullmessung, Längen der Meßstrecken in horizontaler Richtung L_H und vertikaler Richtung L_V sowie Flächen der Meßquerschnitte F . In der Regel wurden die Stationen als Horizontal- und Vertikalmeßstrecken ausgebaut, z.T. konnte aber aus betriebstechnischen oder aus sicherheitstechnischen Gründen nur eine Meßstrecke eingerichtet werden. Einige Stationen in Kammern auf Marie besitzen 2 horizontale Meßstrecken. Die exakten Längen der Meßstrecken wurden von DBE erstmalig übermittelt und wurden in die Meßquerschnitte eingetragen (siehe Anlagen ab 2.1.15 zu den einzelnen Stationen).

Die von 1970 bis 1985 eingerichteten Stationen wurden bisher als Altstationen bezeichnet. Im Zuge der Einrichtung des neuen Netzes erhielten sie neue Bezeichnungen. Die alten Bezeichnungen sind in den Anlagen und Tabellen zusätzlich angegeben.

Einzelheiten zur technischen Ausführung der alten und neuen Konvergenzstationen sind den Dokumentationen in [3] und [4] zu entnehmen. Bei den Altstationen sind die Meß- bzw. Fixpunkte als 20 cm oder 50 cm tiefe Bolzen, Dübel oder als Gebirgsanker mit unbekannter Verspanntiefe ausgeführt. Nähere Angaben zur Ausführung an den einzelnen Altstationen wurden BGR nicht übermittelt. Nach Vorgaben der BGR wurden die Meßpunkte der neuen Stationen ab 1993 auf Spreizhülsenankern aufgeschraubt, die 80 cm tief im Gebirge verspannt sind, um die oberflächennahe Aufblätterung in den Messungen auszuschließen. In Sonderfällen, wie der Bestimmung der Konvergenz zwischen gegenüberliegenden Extensometern oder in für schwere Bohrausrüstung unzugänglichen Bereichen, wurden auch andere Vermarkungsarten für die neu eingerichteten Meßstationen eingesetzt.

2.1.2 Meßmethoden und Auswerteverfahren

Die Meßmethoden und die Art der Aufbereitung der Daten wurde zwischen BGR und DBE vereinbart. Einzelheiten sind den Dokumentationen in [3] und [4] sowie [2] zu entnehmen. Der Meßrhythmus wurde mit einem halben Jahr festgelegt. Direkt nach Installation und Nullmessung sind die Zeitabstände zwischen den Folgemessungen geringer.

Altstationen 1970 - 1985

Das Meßprinzip wird detailliert in [4] beschrieben. Bei den Altstationen sind die Meßdrähte und Ableseeinrichtungen (Nonius-Ablesung) fest installiert. Die Meßdrähte werden bei der Ablesung unter eine definierte Spannung gesetzt. Temperaturen werden bei diesen Messungen nicht erfaßt. Es werden keine Überprüfungen vor den Messungen durchgeführt, wie dies bei den Neustationen der Fall ist, und es werden auch keine Temperaturkorrekturen vorgenommen, da keine Angaben zur Kalibration und zum thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Meßdrahtes aus Stahl vorliegen.

Unbekannt sind systematische Einflüsse auf das Meßsystem wie die zu erwartende Veränderung der Federkraft, mit der der Meßdraht permanent gespannt wird, und die Längung des Meßdrahtes unter dieser Spannung über lange Beobachtungszeiträume von Jahrzehnten. Die Standardabweichung wird von DBE aufgrund der nicht bekannten systematischen Einflüsse, der nicht ausführbaren Temperaturkorrektur und stochastischer Einflüsse auf ± 1 mm abgeschätzt.

Neustationen ab 1993

Für die Messung an den neuen Stationen werden Geräte der Firma Interfels benutzt. Die Entfernung zwischen den Meßbolzen wird auf einem Maßband aus Invardraht abgelesen, das vom Meßgerät unter eine definierte Zugspannung gesetzt wird. Die Differenz zwischen zwei Folgemessungen ergibt die Änderung der Meßstrecke.

An jedem Meßtag wird die Kalibration des eingesetzten Meßgerätes überprüft, um Knicke im Maßband oder ähnliche Fehlereinflüsse auszuschalten. Da die Kalibrationswerte der verschiedenen Meßgeräte unterschiedlich sind, muß eine Nullpunktkorrektur durchgeführt werden, wenn verschiedene Geräte an einer Station eingesetzt werden. Sie beträgt bis zu einigen mm. Langsame zeitliche Variationen des Kalibrationswertes über Jahre werden erfaßt und die Änderungen korrigiert, um vergleichbare Werte für eine Meßdauer von mehreren Jahren zu erhalten. Diese Korrekturen sind klein mit Beträgen bis etwa 0.1 mm.

Untertage wird bei den neuen Stationen die Temperatur ermittelt, und später wird eine Korrektur des Temperatureinflusses auf die Längenmessung durchgeführt. Die Schwankungen betragen maximal 2-3°C, so daß die Korrekturwerte ähnlich klein sind wie die der zeitlichen Variation des Kalibrationswertes.

Unter Einbeziehung der o.g. Korrekturen gibt DBE die Genauigkeit der Konvergenzmessung mit einer Standardabweichung von ± 0.5 mm an.

Bearbeitung durch BGR

Bei vielen der neuen Stationen mit Installation ab 1993 liegen die Meßwerte noch unter der Meßgenauigkeit von ± 0.5 mm. In diesem Bericht werden nur die Neustationen

ausgewertet, deren Werte die Signifikanzgrenze von ± 0.5 mm Konvergenz überschritten haben und einen einheitlichen Trend aufweisen.

Die Konvergenzgeschwindigkeiten K_H und K_V werden aus der Steigung der Konvergenzkurven für den aktuellen Zeitpunkt bestimmt (lineare Regression). In den meisten Fällen ergeben sich zumindest abschnittsweise gerade Konvergenzkurven, so daß der Wert der Geschwindigkeit als mittlerer Wert aus einem längeren Zeitintervall bestimmt werden kann. Abgesehen von einigen Neustationen mit kurzer Meßdauer beträgt dieser Zeitraum mindestens ein Jahr. Dadurch werden die Fehlereinflüsse der zufälligen Schwankungen zwischen zwei Konvergenzwerten verringert. Die mit linearer Regression bestimmten Geraden sind im gewählten Zeitintervall in den Darstellungen der Meßergebnisse als gestrichelte Linien enthalten (ab Anlage 2.1.16).

Die Genauigkeit der Bestimmung der Konvergenzgeschwindigkeiten K_H und K_V hängt von der Meßgenauigkeit und der Meßdauer ab. Erst wenn die Meßgenauigkeit von den Konvergenzmeßwerten überschritten wurde, d.h. signifikante Meßwerte auftreten, ist es sinnvoll, die Konvergenzgeschwindigkeiten bzw. Konvergenzraten K_H und K_V zu bestimmen. Je länger die Messung andauert, desto kleiner werden die Fehler in den Konvergenzgeschwindigkeiten.

Eine Abschätzung des möglichen Bereichs der Konvergenzgeschwindigkeiten K_H und K_V für Stationen mit Werten unterhalb der Meßgenauigkeit ergibt bei 1 Jahr Meßzeit (seit Nullmessung) 0 - 1.0 mm/a und bei 2 Jahren Meßzeit 0 - 0.5 mm/a. Die Werte gelten für die Beträge der Konvergenzgeschwindigkeiten. Dabei wird vorausgesetzt, daß nach einem Jahr bzw. 2 Jahren gerade die Signifikanzgrenze für die Konvergenzmessung erreicht wurde und es werden stationäre Verhältnisse vorausgesetzt (Anm.: Der mittlere oder wahrscheinlichste Wert liegt in der Mitte des angegebenen Bereichs, also 0.5 mm/a für 1 a Meßdauer und 0.25 mm/a (aufgerundet 0.3 mm/a) für 2 a Meßdauer. Mittlere Werte werden unten für die Stationen mit signifikanten Meßwerten angegeben.) Bei den meisten Neustationen beträgt die Meßzeit mittlerweile 2 Jahre oder mehr.

Bei den Altstationen ergibt sich das Problem aufgrund der langen Meßzeiten nicht. Bei z. B. 10 a Meßzeit ergibt sich bei einer Meßgenauigkeit von ± 1 mm ein Bereich von 0 - 0.2 mm/a im Betrag der Konvergenzgeschwindigkeiten K_H und K_V .

Aus den Konvergenzgeschwindigkeiten werden die (linearen) Verformungsgeschwindigkeiten bzw. Verformungsraten $\dot{\epsilon}_H$ und $\dot{\epsilon}_V$ berechnet, indem durch die Längen der Meßstrecken L_H und L_V dividiert wird (relative Längenänderungen).

Die Raten der Querschnittsänderungen $\dot{\epsilon}_F$ von Strecken und Abbaukammern und die Raten der volumetrischen Konvergenz $\dot{\epsilon}_{vol}$ von Abbaukammern werden als Eingangsgrößen in den Langzeitsicherheitsberechnungen und den gebirgsmechanischen Rechnungen zur Wirkungsweise von Versatzmaßnahmen benötigt. Näherungsweise kann $\dot{\epsilon}_F$ aus den (linearen) Verformungsgeschwindigkeiten $\dot{\epsilon}_H$ und $\dot{\epsilon}_V$ durch Addition bestimmt werden. Die Annahme kleiner Verformungen ist erfüllt und der Fehler aufgrund der Abweichung von einem rechteckigen Querschnitt ist in der Regel geringer als 10%. In einigen Fällen wird der Querschnitt des Hohlraums nicht repräsentativ erfaßt, und es muß mit größeren Fehlern gerechnet werden.

Die volumetrische Konvergenzrate $\dot{\epsilon}_{vol}$ in Abbaukammern erhält man entsprechend durch Addition von 3 (linearen) Verformungsraten. Da nur in einigen Meßquerschnitten auf Marie beide horizontalen Richtungen erfaßt werden, muß bei den übrigen Abbaukammern die Annahme getroffen werden, daß senkrecht zum Meßquerschnitt dieselben horizontalen Verformungen auftreten. Diese Annahme ist in Anbetracht des teilweise hohen Durchbaugrads und der oft komplexen Geologie nicht zu überprüfen. Daher werden diese Werte in den Ergebnistabellen 2.1.8 - 2.1.12 in Klammern angegeben.

2.1.3 Ergebnisse

Die Daten wurden zusammen mit einer Dokumentation der Messungen übergeben [4]. Sie umfassen den Zeitraum von 1970 bis 1997. Aufgrund einer Neuberechnung der Temperaturkorrektur durch DBE änderte sich ein Großteil der Meßwerte geringfügig

2.1.3.1. Allgemeine Beobachtungen

Die Meßwerte eines Teils der neuen Stationen haben aufgrund der kurzen Meßzeiten die Signifikanzgrenze noch nicht überschritten. Die Meßzeiten und die Angabe, ob signifikante Werte vorliegen, sind den Tabellen 2.1.1 - 2.1.7 zu entnehmen. Die folgende Zusammenstellung enthält die Stationen mit signifikanten Meßwerten, die in diesem Bericht ausgewertet werden:

Sohlenbezeichnung	Anzahl Stationen	davon signifikant	Anteil in %
Grube Marie:			
-195mNN Sohle	4	2	50
-231m NN Sohle	37	14	38
Marie gesamt	41	16	39
Grube Bartensleben:			
Schacht (Deckgebirge)	3	0	0
1a Sohle (-245m NN)	2	0	0
1. Sohle (-253m NN)	24	11	46
2. Sohle (-291m NN)	27	13	48
3. Sohle (-332m NN)	20	9	45
4a Sohle (-346 mNN)	1	0	0
4. Sohle (-372m NN)	53	32	60
Bartensleben gesamt	130	65	50
Summe ERAM	171	81	47

Rund 50 % der Stationen liefern mittlerweile signifikante Meßwerte. Die übrigen Stationen werden in diesem Bericht noch nicht dargestellt und ausgewertet, da sich bei niedrigen Konvergenzgeschwindigkeiten Trends erst nach längerer Meßzeit abzeichnen können. Tendenzen werden allerdings im Text erwähnt.

In den Anlagen ab 2.1.13 sind die ermittelten Konvergenz- und Verformungsraten für alle ausgewerteten Stationen als Balkendiagramme dargestellt. Sie werden für räumlich zusammengehörige Bereiche auf den einzelnen Sohlen gemeinsam aufgeführt. Darauf folgend sind für die jeweils zusammengefaßten Stationen auf einem Blatt die Meßquerschnitte dargestellt sowie auf einem Datenblatt die Meßwerte mit Angaben zur Station (inkl. Auffahrungsdatum des Hohlraums). Die Tabellen 2.1.8 - 2.1.12 enthalten eine Zusammenstellung der Ergebnisse für die Raten der Konvergenz, der Verformung, der Querschnittsänderung und der volumetrischen Konvergenz für die einzelnen Sohlen.

In den älteren Abbauen und Strecken, d.h. bei allen Stationen außer den Messungen kurz nach Neuauffahrungen im UMF auf der 4. Sohle ab 1973 bzw. 1980 und in der Wetterstrecke ab 1993, sind die Meßkurven in der Regel durch einen geraden Verlauf gekennzeichnet. Dies legt den Schluß auf weitgehend stationär ablaufende Verformungen in der Nähe dieser Hohlräume nahe.

Einige Meßkurven weisen von der geraden Form abweichende Verläufe auf wie Ausreißer, Sprünge, Änderungen der Steigung der Kurven etc., die in der Regel nicht erklärt werden können. Meist sind dies kleine Effekte, die sich innerhalb von wenigen mm Konvergenz abspielen. Als Gründe kommen besonders bei den Altstationen instrumentelle Probleme in Betracht sowie Fehlablesungen und Beeinträchtigung von Meßeinrichtungen durch den laufenden Betrieb. Die Abweichungen vom geraden Verlauf können jedoch auch reales Gebirgsverhalten ausdrücken wie den Einfluß von Neuauffahrungen, die Beeinflussung der Konvergenz durch Änderung der Bewetterung (Feuchteeinfluß in aufgelockerten Bereichen), Wechselwirkungen des Gebirges mit den Abfällen (z.B. Wärmeeintrag im UMF I, Feuchteintrag ins Gebirge im Südfeld) und untergeordnete Bruch- oder Rißvorgänge in der Nähe der Hohlräume. Bei der Datenaufbereitung durch DBE wurden erkannte Meßfehler eliminiert, die als Ausreißer oder Meßwertsprung auftraten.

Das Vorzeichen der bestimmten Verschiebung (Bezeichnung 'Konvergenz' von der Bezeichnung der Meßmethode her) ist bei Stationen mit höheren Beträgen der Konvergenzgeschwindigkeiten negativ, d.h. es kommt zu einer Verkürzung der Meßstrecken (Konvergenz im eigentlichen Sinne), zu einer Verringerung der Meßquerschnittsflächen und zu einer Abnahme des Volumens der Hohlräume. Viele

Stationen bzw. Meßstrecken mit niedrigen Beträgen der Konvergenzgeschwindigkeiten $< 0.5 \text{ mm/a}$, zeigen dagegen die Tendenz zur Divergenz, d.h. Verlängerung der Meßstrecken, oder um Null schwankende Meßwerte an. Diese Differenzierung konnte erst jetzt erkannt werden, da sich bei niedrigen Konvergenzgeschwindigkeiten stabile Trends erst nach längerer Meßdauer ergeben. Die Meßstrecken mit Tendenz zur Divergenz befinden sich in den großräumig stark durchbauten Feldesteilen.

2.1.3.2. Meßwerte an den einzelnen Stationen

Im folgenden werden die Meßergebnisse für die einzelnen Grubenbereiche aufgeführt. Der Übersichtlichkeit halber wird dabei sohlenweise vorgegangen. Auf den einzelnen Sohlen werden Stationen aufgrund ihrer Lage und teilweise auch aufgrund derselben Geologie bereichsweise zusammengefaßt. In dieser Gruppierung sind die Stationen auch in den Ergebnistabellen 2.1.8 - 2.1.12 und den Ergebnisdarstellungen der Konvergenz- und Verformungsgeschwindigkeiten ab Anlage 2.1.13 aufgeführt. Die Ergebnisdarstellungen in Form von Balkendiagrammen finden sich jeweils vor den Datenblättern der Stationen, die zusammengefaßt werden. Auf die Lage der Stationen in den Übersichtsrissen zum Stationsnetz (Anlagen 2.1.1 - 2.1.12) wird jeweils hingewiesen. Besonderheiten einzelner Stationen werden angesprochen. Als Bezeichnung der Stationen werden im Text nur die letzten 3 Ziffern der ausführlichen DBE-Anlagenkennzeichnung angegeben, z.B. 123K. Zusammen mit der Sohlenbezeichnung ist diese Angabe eindeutig.

Marie -195 mNN - Sohle (Anlage 2.1.1)

Die Stationen befinden sich in den hochgelegenen Abbaubereichen des Lagers H (Anlagen 2.1.15 - 2.1.18). Sie sind horizontal bankrecht zum Lager eingerichtet worden. Bei 002K und 003K sind die Meßpunkte in Mauerwerk angebracht. Trotz der kurzen Meßdauer von 0.5 a ergeben sich für diese Stationen signifikante Werte mit Konvergenzgeschwindigkeiten von -2.7 bzw. -1.4 mm/a . Die beiden Stationen 001K und 004K mit Sprezhülsenankern im Gebirge folgen diesen Trends nicht und zeigen nicht-signifikante Werte an. Für das Mauerwerk der Abdichtungsbauwerke wird eine signifikante Verformung festgestellt (bis $-1.4 \cdot 10^{-3}/\text{a}$).

Marie -231 mNN - Sohle: Bereich Nordstrecke (ohne Lagerteil H), Nordstrecken A-E, Südstrecke, Südstrecke A (Anlagen 2.1.2 und 2.1.3)

Die Strecken befinden sich im westlichen Bereich der Grube. Sowohl in den Magazinkammern in diesem Bereich (Auffahrung um 1940: Stationen 290K, 289K, 310K, 311K, 321K, siehe Anlagen 2.1.21 - 2.1.42) als auch im Schachtsicherheitspfeiler (Auffahrung um 1900: 132K und 139K) beobachtet man relativ einheitlich Werte zwischen -2 mm/a und -1 mm/a und Querschnittsverformungen im Bereich von $-1 \cdot 10^{-3}/a$. Dies sind die höchsten Werte im Bereich Marie. Die Stationen befinden sich alle im Staßfurt-Steinsalz z2HS.

Die Stationen in den Magazinkammern verfügen i.d.R. über zwei senkrecht aufeinander stehende Meßquerschnitte. Dadurch kann die Volumenkonvergenzrate genau erfaßt werden. Die Volumenkonvergenzraten liegen bei rund $-1 \cdot 10^{-3}/a$. In den Magazinkammern ist die relative Längenänderung in der vertikalen Komponente weit größer als in der horizontalen. Dies scheint durch die große Spannweite im Vergleich zur Höhe bedingt zu sein.

Marie -231 mNN - Sohle: Lagerteile E, F, H, K, M, Steinsalzabbau zwischen Lager F und K (Anlagen 2.1.2 und 2.1.3)

Die Stationen liegen überwiegend in den großräumig stärker durchbauten Bereichen von Marie (Anlagen 2.1.45 - 2.1.58). Die Petrographie variiert zwischen Steinsalz, Kaligesteinen, Anhydrit und untergeordnet auch Tonsteinen des z2 und z3. Die geologische Struktur ist in diesen Bereichen überwiegend sehr kompliziert. Insgesamt stellt man geringe Beträge der Konvergenzgeschwindigkeiten von weniger als 0.5 mm/a und entsprechend niedrige Verformungen fest. Der größte Teil der Stationen zeigt nicht-signifikante Meßwerte. Ein geringer Teil der Stationen zeigt Verkürzungen der Meßstrecken an (Konvergenz: 102K, 159K, 316K, 292K). Bei einigen Stationen stellt man einen Trend zur Divergenz in einer oder in beiden Meßstrecken fest (siehe 121K, 233K, 294K, 296K).

Die Werte der Meßstation 318K in der Bunten First sind nicht signifikant.

Im Bereich des Lagers H findet man auf diesem Niveau ebenfalls überwiegend nicht-signifikante Meßwerte (162K (vertikal), 312K (horizontal) und 313K (horizontal und

vertikal)). Bei 159K (Anlage 2.1.49 und 2.1.50) findet man einen Trend der Konvergenzgeschwindigkeiten um -0.3 mm/a und Verformungen um $-0.2 \cdot 10^{-3}/a$.

Bartensleben: Schacht

Die Stationen sind im Bereich der Schwimmsandhorizonte im Deckgebirge im Teufenbereich -48 bis -41 mNN installiert. Die Meßzeit beträgt erst ein knappes halbes Jahr, bisher zeichnet sich kein Trend ab.

1a-Sohle Bartensleben (Anlage 2.1.5)

Die beiden Stationen zeigen nicht-signifikante Werte.

1. Sohle Bartensleben: Ostquerschlag (Anlage 2.1.5)

Wie auf den anderen Sohlen Bartensleben führt der Ost- oder Hauptquerschlag durch die großräumig stark durchbauten Bereiche der Kalilager A, B, C und D und den Bereich der großen Abbaue im Zentralteil. Er erfaßt damit alle am Standort auftretenden geologischen Einheiten des z2 und z3. Die auftretenden Konvergenzgeschwindigkeiten sind überwiegend mit Beträgen von weniger als 0.5 mm/a sehr gering. Die Tendenz zur Divergenz deutet sich bei einer Reihe von Stationen an (siehe 017K im z3HA, 020K im z3AM, 086K im z2HS3 in den Anlagen 2.1.62 - 2.1.66). Bei der Station 026K im Ostsattel, der keine Abbaue auf den oberen Sohlen aufweist, stellt man einen Trend zur Konvergenz fest (Werte noch nicht signifikant, z2HS3).

1. Sohle Bartensleben: Nordfeld und Südostfeld (Anlage 2.1.5)

Die Nordstrecke (auch als 2. nördliche Richtstrecke bezeichnet) erschließt das Nordfeld, die 2. südliche Richtstrecke (auch Richtstrecke Südostfeld) das Südostfeld. Es handelt sich - zusammen mit den großen Abbauen des Zentralteils direkt nördlich und südlich des Ostquerschlags - um einen zusammenhängenden, stark durchbauten Bereich der Hauptmulde mit Gesteinen des z3, überwiegend Steinsalz. Die meisten Stationen liegen in Strecken. Auch hier findet man den Trend zur Divergenz in den Meßquerschnitten (Nordfeld: siehe 038K im z3HA und 078K; Südostfeld: siehe 081K und 075K; Anlagen 2.1.67 - 2.1.76).

In der Schrapperkammer im Nordfeld nahe des Abbaus 1a befinden sich mehrere Konvergenzstrecken in und zwischen den beiden Meßquerschnitten CG701 und CG702 mit

Extensometern (siehe auch Detailansicht in Anlage 2.1.6). Der Verlauf der Meßwerte zeigt eine Störung bei den ersten Folgemessungen, die auf einen einbaubedingten Effekt hinweisen. Nur die vertikale Meßstrecke 2-6 (702K in den Anlagen 2.1.71 und 2.1.72) zeigt signifikante Werte mit einer Konvergenzgeschwindigkeit von -0.7 mm/a und einer Verformungsrate von $-0.22 \cdot 10^{-3}/\text{a}$. Im Abbau 1a wurden bisher keine Meßstationen installiert. Zu den Messungen im Bereich des Abbaus 1a siehe auch Abschnitt 2.8.

1. Sohle Bartensleben: Abbaue des Zentralteils (Anlagen 2.1.5 und 2.1.12)

In den großen Abbauen im z3 des Zentralteils liegt der überwiegende Teil der Altstationen. Anlage 2.1.12 enthält einen Vertikalschnitt durch den Zentralteil direkt nördlich der Ostquerschläge mit der Lage einiger Altstationen. Die großen Abbaue des Zentralteils sind von 1930 - 1960 aufgefahren worden.

Die Meßstation 083K (alt 1.1 (h) und 1.2 (v), Anlage 3.1.26) liegt im etwa 15 m hohen Abbau 2n (Anlagen 2.1.77 und 2.1.78). Während die horizontale Meßstrecke die gesamte Kammerbreite erfaßt, konnte die vertikale Meßstrecke aus sicherheitstechnischen Gründen lediglich unter einem ca. 4 m hohen Überhang an der westlichen Kammerflanke eingerichtet werden. Das Meßergebnis kann daher nur eingeschränkt zur Beurteilung der Konvergenz von Firse und Sohle herangezogen werden. Die vertikalen Konvergenzgeschwindigkeiten waren bisher sehr niedrig (um -0.1 mm/a). Aufgetretene Sprünge in der vertikalen Komponente von 1984 bis 1986 um -1 mm und 1989 bis 1990 um -1.5 mm könnten auf reale Gebirgsverschiebungen, aber auch auf Beeinträchtigungen der Meßeinrichtungen zurückgeführt werden. In 1997 kam es zu einem Anstieg der Konvergenzgeschwindigkeit auf -1.6 mm/a in der vertikalen Komponente. Dieser Trend muß weiter verfolgt werden. Die Möglichkeit von Abschalungen am Überhang ist nicht auszuschließen. Die Schichtung verläuft hier parallel zur Abbaukontur. Nach der Beobachtung untertage muß in diesem Bereich regelmäßig mit Stangen beraubt werden.

1. Sohle Bartensleben: Stationen in Kalilagern (Anlage 2.1.5)

Die Abbaue in den Kalilagern im Grubengebäude sind alle etwa um die Jahrhundertwende aufgefahren worden. In einigen zugänglichen Bereichen der Kalilager auf dieser und anderen Sohlen wurden Stationen eingerichtet, um dort Restbewegungen nachzuweisen. Aus bergbaulichen Gründen konnte oft nur eine Meßstrecke (horizontal oder vertikal) eingerichtet werden. Die Werte der Station 088K im Lagerteil A zeigen bei 0.4 mm/a

Konvergenzgeschwindigkeit geringe Divergenz an, die Werte der Station 084K im Lagerteil B mit -0.6 mm/a schwache Konvergenz (Anlagen 2.1.79 - 2.1.82).

2. Sohle Bartensleben: Ostquerschlag (Anlage 2.1.7)

Wie auf der 1. Sohle findet man überwiegend nicht-signifikante Meßwerte oder niedrige Konvergenzgeschwindigkeiten mit Tendenz Konvergenz oder Divergenz. Eine Ausnahme bildet die Station 004 im Schachtsicherheitspfeiler im z2HS3 (Anlagen 2.1.85 und 2.1.86). Hier deutet sich eine Tendenz zur Beschleunigung der Konvergenzen an. Die Konvergenzgeschwindigkeiten liegen bei -2 mm/a und die Verformungen bei $-0.5 \cdot 10^{-3}/\text{a}$. Der Trend zur Zunahme der Geschwindigkeiten, der auch auf der 3. und 4. Sohle im Schachtsicherheitspfeiler zu beobachten ist, muß verfolgt werden.

2. Sohle Bartensleben: Nordfeld und Südostfeld (Anlage 2.1.7)

Es finden sich überwiegend nicht-signifikante Meßwerte. Station 067K (Anlagen 2.1.88 und 2.1.89) zeigt Divergenz mit 0.5 mm/a als vertikaler Konvergenzgeschwindigkeit und mit einer vertikalen Verformungsrate von $0.2 \cdot 10^{-3}/\text{a}$.

2. Sohle Bartensleben: Abbaue des Zentralteils (Anlagen 2.1.7 und 2.1.12)

Die hier ausgewerteten Stationen sind Altstationen in Abbauen des z3, die ca. 60 a alt sind. Die Konvergenzraten und Verformungsgrößen sind generell niedrig.

Die Meßstation 132K (Altstation 2.7 (h), Anlagen 2.1.89 und 2.1.90) konnte nur mit einer horizontalen Meßstrecke über die Breite der ehemaligen Abbaukammer 3n eingerichtet werden. Man findet -0.3 mm/a als Konvergenzgeschwindigkeit und $-0.01 \cdot 10^{-3}/\text{a}$ als Verformungsrate.

Die Meßstrecken der Station 133K (Altstation 2.8(h) /2.9(v) Anlage 2.1.91 und 2.1.92) befinden sich im Abbau 4n und sind ähnlich wie die Meßstrecken in der Kammer 2n auf der 1. Sohle ausgeführt. Seit ca. Mitte 1996 hat sich in der horizontalen Meßstrecke ein Trend zur Divergenz mit 0.6 mm/a eingestellt, vertikal bleiben die Meßwerte nahezu konstant.

Die Meßstation 134K (Altstation 2.5(h) /2.6(v), Anlagen 2.1.93 und 2.1.94) befindet sich im Durchhieb zwischen den Abbaukammern 2n und 3n. Die Konvergenz war zum

Stillstand gekommen, nahm aber ab 1996 in beiden Meßstrecken abrupt wieder zu (geringe Konvergenzgeschwindigkeiten von -0.6 mm/a horizontal und -0.3 mm/a vertikal). Der Grund könnte die Erneuerung der Station in 2/96 gewesen sein, die auf dem Datenblatt in [4] mitgeteilt wird.

Die Meßstrecken der Station 135K (Altstation 2.2(h)/2.3(v), Anlagen 2.1.95 und 2.1.96) sind im Abbau 2n installiert. Horizontal war Anfang 1996 ein geringer Sprung zu beobachten, seitdem ist die Konvergenzgeschwindigkeit mit -0.5 mm/a wieder niedrig. Vertikal kam es ab 1997 zu einer Zunahme auf -1.6 mm/a ähnlich wie bei Station 083K auf der 1. Sohle und 134K auf der 2. Sohle. Auch die Sprünge im Kurvenverlauf der vertikalen Komponente erinnern an den Verlauf bei Station 083K auf der 1. Sohle. Die abgeschätzte Volumenkonvergenzrate beträgt $-0.2 \cdot 10^{-3}$ /a. Dieser Wert ist mit den Werten für die Stationen 134K und 083K im Abbau 2n auf der 1. Sohle vergleichbar (siehe Tabellen 2.1.9 und 2.1.10).

Die Meßstrecke der Station 136K (Altstation 2.4(h), Anlagen 2.1.97 und 2.1.98) wurde horizontal entlang der Achse des Durchhiebs zwischen Abbau 3n und 2n eingerichtet. Die abgelaufene Gesamtkonvergenz pendelt um Null.

Meßstation 721K (Altstation 2.10(h), Anlagen 2.1.99 und 2.1.100) erfaßt mit einer Meßstrecke die Verformung der Kammerbreite des Abbaues 4s. Die Konvergenzgeschwindigkeit beträgt -0.3 mm/a.

Die Meßstation 722K (Altstation 2.12 (h), Anlagen 2.1.101 und 2.1.102) erfaßt die Kammerbreite des Abbaues 13n. Mit -0.9 mm/a hat die Konvergenzrate gegenüber dem langjährigen Verlauf leicht zugenommen (in Bezug auf den Betrag). Die Verformungsrate ist mit $-4 \cdot 10^{-5}$ /a aber sehr gering und vergleichbar mit den Werten für die horizontale Komponente in den anderen großen Abbauen in ähnlicher stratigraphischer Lage (siehe Tabelle 2.1.9, 2.1.10 und 2.1.12: Stationen 132K, 135K, 136K auf der 2. Sohle, 083K auf der 1. Sohle, 182K auf der 4. Sohle).

Die Meßstation 723K (Altstation 2.13 (v); Anlagen 2.1.103 und 2.1.104) ist vertikal zwischen dem Abbau 13n und dem darunter gelegenen Abbau 13n der 3a-Sohle angelegt in einem Hochbruch zwischen den Sohlen. Sie erfaßt die vertikale Konvergenz des Abbaus

13n auf der 3a-Sohle. Die angegebene Länge der Meßstrecke umfaßt auch die Schwebenmächtigkeit von etwa 5 m. Die Konvergenzgeschwindigkeit ist mit -0.1 mm/a sehr niedrig.

2. Sohle Bartensleben: Südfeld (Anlage 2.1.7)

In den höhergelegenen Abbauen des Südfelds sind 2 Konvergenzstationen mit jeweils einer horizontalen Meßstrecke installiert, von denen die Station 138K einen signifikanten Trend mit -1 mm/a Konvergenzrate aufweist (Anlagen 2.1.105 und 2.1.106). Die Verformungsrate ist mit $-0.05 \cdot 10^{-3}/\text{a}$ gering.

2. Sohle Bartensleben: Verbindungsstrecke Marie (Anlage 2.1.7)

In der 1. nördlichen Richtstrecke liegt die Station 125K im z2HS3 (Anlagen 2.1.107 und 2.1.8). Die Strecke wurde 1989 aufgefahren. Die Konvergenzkurven sind Geraden und ergeben vertikal eine Konvergenzrate von -2.4 mm/a und horizontal eine Rate von -2.3 mm/a . Die Querschnittsverformung liegt mit $-1.1 \cdot 10^{-3}/\text{a}$ im Bereich der Werte, die für andere Hohlräume im z2HS außerhalb der großräumig stark durchbauten Grubenbereiche bestimmt werden.

2. Sohle Bartensleben: Stationen in Kalilagern (Anlage 2.1.7)

Die Meßstation 124K (Anlagen 2.1.109 und 2.1.110) wurde in der 2. südlichen Richtstrecke im Carnallitlagerteil C eingerichtet. Sie erfaßt einen Querschnitt mit Carnallit z2SF im westlichen Stoß und Grauem Salzton z3GT im östlichen Stoß. In der horizontalen Komponente ergibt sich eine Konvergenzrate von -0.7 mm/a und eine Verformungsrate von $-0.24 \cdot 10^{-3}/\text{a}$, vertikal gibt es keine signifikanten Verschiebungen zwischen den Meßbolzen. Vermutlich trägt der hier aufgeschlossene Salzton zu den Verformungen entscheidend bei.

Die Station 015K im Lager C zeigt noch keine signifikanten Werte an.

3. Sohle Bartensleben: Ost- und Westquerschlag (Anlage 2.1.8)

Die Tendenz zur Divergenz ist hier wie auf den anderen Sohlen festzustellen, wobei die Lage im Leine- oder Staßfurt-Steinsalz oder im Anhydrit z3HA keine Rolle zu spielen

scheint Station 015K im z2HS weist Konvergenzraten um 0.5 mm/a auf genauso wie Station 018K im z3HA9 (Anlagen 2.1.113 - 2.1.116).

Im Gegensatz dazu weist die Station 005K im Schachtsicherheitspfeiler (Westquerschlag, Anlagen 2.1.117 und 2.1.118) im z2HS3 Konvergenzraten von -1.0 mm/a und -1.3 mm/a horizontal bzw. vertikal auf und eine Querschnittsverformung von $-1.17 \cdot 10^{-3}/a$. Auch hier wie auf anderen Sohlen im Schachtsicherheitspfeiler ist ein Trend zu einer Beschleunigung der Konvergenz festzustellen.

3. Sohle Bartensleben: Nordfeld und Südostfeld (Anlage 2.1.8)

Der Trend zur Divergenz ist bei fast allen Stationen dieses Bereichs angedeutet. Meßwerte an der Signifikanzgrenze im Nordfeld findet man bei den Stationen 057K und 042K mit Konvergenzraten zwischen 0.3 mm/a und 0.5 mm/a und Verformungen um $0.15 \cdot 10^{-3}/a$ (Anlagen 2.1.119 - 2.1.122).

Im Südostfeld findet man entsprechende Meßwerte bei den Stationen 111K, 073K und 110K (Anlagen 2.1.123 - 2.1.128).

3. Sohle Bartensleben: Verbindungsstrecke Marie (Anlage 2.1.8)

In der 1. nördlichen Richtstrecke (Auffahrung 1910) sind 2 Stationen im z2HS installiert, die beide einen Trend zur Konvergenz zeigen, aber noch keine signifikanten Werte liefern. In der Nähe der beiden Stationen befinden sich keine größeren Hohlräume, so daß diese Beobachtungen dem Trend anderer Stationen im z2HS fernab von anderen Hohlräumen zu widersprechen scheinen. Bei beiden Stationen könnte sich aber die Nähe zu den dort vorkommenden Anhydritschichten in einer Reduktion der Konvergenzraten auswirken.

3. Sohle Bartensleben: Stationen in den Kalilagern (Anlage 2.1.8)

Station 001K im Hartsalz des Westfelds zeigt eine Konvergenzrate von 0.4 mm/a und eine Verformungsrate von $0.15 \cdot 10^{-3}/a$ in der vertikalen Komponente (Anlagen 2.1.129 und 2.1.130). Station 061K im Lagerteil C (Hartsalz) weist noch keine signifikanten Werte auf.

4. Sohle Bartensleben: Ost- und Westquerschlag (Anlage 2.1.10)

Hier ist keine Tendenz zur Divergenz wie auf den oberen Sohlen festzustellen. Gründe können der geringere Grad der Durchbauung und die Zunahme des lithostatischen Drucks sein.

Station 159K (Anlagen 2.1.135 und 2.1.136) im z2HS im Schachtsicherheitspfeiler weist relativ hohe Konvergenzraten auf (Konvergenzraten von -2.6 mm/a und -2.9 mm/a horizontal bzw. vertikal, Querschnittsverformung $-1.5 \cdot 10^{-3}/\text{a}$). Eine Tendenz zur Beschleunigung ist zu beobachten. Station 023K (Anlagen 2.1.133 und 2.1.134) im z2HS3 des Ostsattels zeigt -0.8 mm/a bzw. -1 mm/a horizontal bzw. vertikal und eine Querschnittsverformung von $-0.5 \cdot 10^{-3}/\text{a}$.

4. Sohle Bartensleben: Abbaue und Strecken Bereich Ostquerschlag (Anlage 2.1.10)

Die Meßstation 182K (Altstationen 4.5(h)/4.6(v), Anlagen 2.1.137 und 2.1.138) befindet sich in der nur 4.5 m hohen und nahezu vollständig verfüllten Kammer 4n. Die vertikale Meßstrecke ist seit 9/79 defekt, die horizontale Meßstrecke mißt das Konvergenzverhalten über 12.1 m Kammerbreite. Die Konvergenzrate beträgt -0.2 mm/a , die Verformungsrate beträgt $-0.02 \cdot 10^{-3}/\text{a}$, ähnlich wie in anderen großen Abbauen im Zentralteil.

Der mit UMF I bezeichnete 20 m lange Streckenstummel im Ostsattel wurde im Oktober 1973 aufgefahren. Bei etwa halber Streckenlänge wurden - jeweils 3 m voneinander entfernt - Konvergenzmeßstationen mit je einer horizontalen und vertikalen Meßstrecke eingerichtet (732K, 735K und 738K, Altstationen MF1 - MF3, siehe Anlagen 2.1.139 - 2.1.144). Die Nullmessung 1973 wurde 25 Tage nach Streckenausbruch ausgeführt. Anfangskonvergenzen konnten daher nur noch unvollständig dokumentiert werden.

Die sich bis Oktober 1977 zunächst bei 15 - 20 mm stabilisierenden Verformungen zeigen im UMF I bei der Folgemessung vom September 1979 eine Verdoppelung der Gesamtkonvergenzen, die auf die Auffahrung des in etwa 6 m Abstand parallel zum UMF I verlaufenden UMF II in den Jahren 1979 bis 1980 zurückzuführen ist. Die bis zum Ende des Berichtszeitraums abgelaufenen Gesamtkonvergenzen erreichen 60 - 70 mm, wobei der Anteil der vertikalen Komponente höher ausfällt (bei MF2 nahezu 20%). Die heute noch auftretenden Verformungen liegen mit $-0.6 \cdot 10^{-3}/\text{a}$ für die Querschnittsänderung

im Bereich älterer Strecken im z2HS in der Grube (z.B. 139K und 132K auf Marie, 154K 4. Sohle Bartensleben) und deuten stationäre Verhältnisse an.

Die Station 154K befindet sich im z2HS2 des Ostsattels in der 2. nördlichen Richtstrecke nahe des Ostquerschlags (Anlagen 2.1.145 und 2.1.146) und zeigt horizontal bzw. vertikal Konvergenzraten von -1.4 mm/a und -2.3 mm/a und eine Querschnittsverformung von $-0.8 \cdot 10^{-3}/\text{a}$.

Die Station 153K befindet sich im Flachen 4 im Ostfeld im z3LS (Anlagen 2.1.147 und 2.1.148). Die vertikale Komponente zeigt -0.8 mm/a , während die horizontale Komponente keine Bewegungstendenz erkennen läßt (nicht signifikant). Als mögliche Erklärungen für dieses Verhalten kommen der östlich nahe gelegene hohe und große Abbau 2 und der westlich anstehende Anhydrit in Frage.

4. Sohle: Nordfeld- und Südostfeld (Anlage 2.1.10)

Im Nordfeld zeigt die Mehrzahl der Stationen die Tendenz zur Divergenz (siehe hier 046K, 050K und 053K, Anlagen 2.1.149 - 2.1.154). Die Konvergenzgeschwindigkeiten betragen maximal 0.5 mm/a .

Im Südostfeld zeigt nur die Station 181K Werte an der Signifikanzgrenze (Anlage 2.1.155 und 2.1.156) mit einer Konvergenzrate von -0.3 mm/a .

4. Sohle Bartensleben Kalilager (Anlage 2.1.10)

Die Station 151K im Kalilager B (Anlage 2.1.157 und 2.1.158) zeigt vertikal eine Konvergenzrate von -0.5 mm/a und horizontal keine Bewegungstendenz (nicht signifikante Werte). Station 163K im Westfeld zeigt noch keine signifikanten Werte an.

4. Sohle Bartensleben: Wetterstrecke im Südfeld (Anlage 2.1.10)

Mit der Neuauffahrung dieser Strecke wurde parallel zur 1. Südstrecke von August bis November 1993 eine zusätzliche Wetterverbindung aus dem Bereich des Südgesenks nach Norden hergestellt. Gleichmäßig über die Streckenlänge von 230 m verteilt wurden mit der Auffahrung insgesamt 7 Konvergenzmeßquerschnitte mit je einer horizontalen und vertikalen Meßstrecke errichtet (Meßstationen 165K -171K und 178K, Anlagen 2.1.161 - 2.1.176). Die Doppelstation 165K und 178K wurde mit unterschiedlicher technischer

Ausführung eingerichtet: 165K mit Spreizhülsenanker in 80 cm Tiefe und 178K mit Spreizhülsenanker in 30 cm Tiefe (laut Angaben DBE, siehe [4]). Die Unterschiede der Ergebnisse beider Stationen blieben bisher gering.

Einrichtung und Nullmessung dieser Stationen sind nach Angaben der DBE kurzfristig nach Auffahrung durchgeführt worden, genauere Zeitangaben liegen der BGR nicht vor. Mit diesen Messungen sollten erstmals auch Anfangsverformungen unmittelbar nach Streckenausbruch erfaßt werden. Sämtliche Meßquerschnitte liegen im z2, wobei die nördlicheren Stationen im z2HS3 liegen (165K bis 167K), während die südlicheren Stationen im z2HG und nahe am geringmächtigen z2SF liegen (168K bis 171K).

Die Konvergenzkurven entsprechen den Erwartungen bei einer Neuauffahrung. Zuerst beobachtet man eine Phase mit stark abnehmender Steigung, die - hier nach etwa 1.5 - 2 a - in eine Phase mit annähernd konstanter Steigung übergeht. Daß noch keine wirklich stationären Verhältnisse nach ca. 4 Jahren erreicht sind, erkennt man an der leichten Reduktion der aktuellen Raten gegenüber denen im Zeitraum 1995 - 1996 (siehe [2]). Zudem sind die Querschnittsverformungen der Stationen im z2HS3 von ca. $-2.3 \cdot 10^{-3}/a$ deutlich höher als die Werte um ca. $-1 \cdot 10^{-3}/a$ für ältere Strecken im z2HS (z.B. 139K und 132K auf Marie, 125K auf der 2. Sohle Bartensleben, 023K und 159K auf der 4. Sohle)

Abweichungen von der eben beschriebenen Kurvenform ergeben sich bei den südlichen Stationen 169K, 170K und 171K. Hier tritt zwischen Anfang und Mitte 1995 ein Knick in den Kurven auf. Dies läßt auf eine erneute Störung des Spannungsgleichgewichts schließen, die dann wieder abklingt. Neuauffahrungen in der Nähe gab es nicht. Mögliche Ursachen sind geologische Einflüsse oder auch der Einfluß der ab etwa Ende 1994 einsetzenden Bewitterung der Strecke. Eine schlüssige Erklärung kann momentan nicht gegeben werden.

Bei den Stationen im Norden, die vollständig im z2HS3 liegen, sind die Konvergenzen und die Raten deutlich höher als bei den Stationen, die im z2HG und den Übergangsschichten zum Kalilager liegen. Diese Unterschiede können momentan nicht eindeutig begründet werden. Eine Erklärung kann in der höheren Kriechfähigkeit des z2HS3 im Vergleich zum Verbund des z2HG mit dem Kalilager und dem z2HS3 zu finden sein (siehe

Meßquerschnitte mit Geologie). Weiterhin kommt in Betracht, daß sich etwa 30 m östlich der Stationen im südlichen Teil der Strecke ein größerer Hohlraum (Abbau 1 der 5a-Sohle) befindet, so daß die Spannungen in diesem Bereich schon reduziert sein können.

Es fällt auf, daß die vertikalen Komponenten immer größer als die horizontalen sind. Dabei spielt die Form der Strecke eine Rolle, da die vertikale Erstreckung nur etwa 55 % - 70 % der horizontalen Erstreckung beträgt. Dies wird auch an anderen Strecken mit nicht-quadratischem Querschnitt im Grubengebäude beobachtet.

4. Sohle Bartensleben: Südfeld, 1. südl. Richtstrecke ('Südstrecke', Anlagen 2.1.10 und 2.1.11)

Es handelt sich um die Stationen 061K, 068K, 069K, 172K, 173K, 174K, 175K, 176K, 177K, 071K, 709K (Anlagen 2.1.179 - 2.1.200, Geologie Steinsalz z3, überwiegend z3OS). Bis auf die Stationen 061K und 068K im Nordteil der Strecke und 071K im Südtail liegen die hier aufgeführten Stationen im Streckenbereich oberhalb des Abbaus 3 der 5a-Sohle, in dem Verformungen z.T. in Form von Sohlenhebungen sowie Reißbildung in den Streckenstößen auftraten.

Die Richtstrecke wurde um 1933 aufgefahen. Oberhalb des Niveaus -372 mNN wurden, nach Osten versetzt, in den Jahren 1937 bis 1942 Steinsalzabbau aufgefahen, von denen die Kammern 8 Nord bis 9 Nord der 4a-Sohle zu einem späteren Zeitpunkt - nach Angaben des ERAM nicht mehr exakt zu bestimmen - bis auf das Sohlenniveau der 4. Sohle, nur wenige Meter östlich der Richtstrecke, nachgestroßt wurden. Die Auffahrung der im Unterwerksbau hergestellten Kammern 1, 2, und 3 der 5a-Sohle stellt eine zusätzliche gebirgsmechanische Belastung der Richtstrecke dar. Als Auffahrdaten sind für den Abbau 1 1943, den Abbau 2 1952 und den Abbau 3 1957 angegeben. Die Schwebenmächtigkeit der Abbaue 2 und 3 zur Richtstrecke beträgt 4,5 - 6 m bzw. ca. 6,8 m, die Kammerhöhen in den Abbauen 2 und 3 erreichen 34 m bzw. 18 m.

Für die Stationen 174K - 177K und 071K, bei denen die Strecke in der Schwebenmächtigkeit zwischen den Abbauen der 4a-Sohle und dem Abbau 3 auf der 5a-Sohle verläuft (siehe auch Anlage 2.1.199 mit Meßquerschnitt CG709K in diesem Bereich), fallen die horizontalen Konvergenzraten und Verformungen größer aus als die vertikalen. Dies stellt in der Tendenz eine Bestätigung der Ergebnisse gebirgsmechanischer Modellrechnungen der

BGR dar. Nach diesen Rechnungen erfährt die Schwebelast zwischen 4a- und 5a-Sohle, in der sich die Südstrecke oberhalb des Abbaus 3 der 5a-Sohle befindet, im wesentlichen eine Stauchung in horizontaler Richtung, so daß die horizontalen Konvergenzen die vertikalen deutlich übersteigen.

Die Meßwerte der Altstation 083K (alt: 4.12) wurden nicht mehr in die Bewertung einbezogen. Die anomal hohen Konvergenzen in diesem Bereich entstehen aufgrund der Aufwölbung der Betonsohle und nicht aufgrund realer Gebirgsbewegungen. Der Fixpunkt wurde bei dieser Station im Beton und nicht 80 cm tief im Gebirge installiert. Der ermittelte Wert der scheinbaren Konvergenzrate in vertikaler Richtung beträgt -10 mm/a und die Verformungsrate etwa $-5 \cdot 10^{-3}/\text{a}$.

2.1.4 Bewertung

Zusammenfassung und allgemeine Einschätzung

Insgesamt zeigen mittlerweile etwa 50% der 171 Konvergenzstationen signifikante Meßwerte oberhalb der Meßgenauigkeit an. Für die Stationen mit nicht-signifikanten Meßwerten kann bei einer überwiegend erreichten Meßdauer von 2 Jahren eine obere Grenze von $0,3 \text{ mm/a}$ für den Betrag der Konvergenzrate angegeben werden (im Sinne eines mittleren Werts des möglichen Bereichs $0 - 0,5 \text{ mm/a}$). Dies belegt das generell geringe Niveau der Verformungen in der Grube, das die bisher vorliegenden Ergebnisse bereits gezeigt hatten. Die weitere Durchführung der Konvergenzmessungen ist aber notwendig, um umfangreichere und belastbarere Ergebnisse zu erhalten.

Bei den Stationen mit signifikanten Meßwerten läßt sich mittlerweile eine Differenzierung erkennen. Bei ca. $2/3$ der Stationen beobachtet man eine Verminderung der Meßstrecken und Querschnittsflächen, also Konvergenz im eigentlichen Sinn des Wortes. Maximal treten dabei Konvergenzen der Größenordnung von wenigen Millimetern pro Jahr auf. Dies führt in älteren Hohlräumen ($> 20 \text{ a}$ Standzeit) zu (vom Betrag her) maximalen Werten von $-1,4 \cdot 10^{-3}/\text{a}$ für die Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen pro Zeit) sowie von $-1,5 \cdot 10^{-3}/\text{a}$ für die Querschnittsflächenänderungen. Bei Neuauffahrungen bzw. Hohlräumen mit wenigen Jahren Standzeit - von denen es im ERAM nur wenige gibt -

erhält man $-1.5 \cdot 10^{-3}/a$ bzw. $-2.4 \cdot 10^{-3}/a$. Die höheren Werte treten dabei i.a. im Älteren Steinsalz z2HS auf.

Beim übrigen Teil der Stationen zeichnet sich eine Tendenz zur Vergrößerung der Meßstrecken ab, teilweise in horizontaler und vertikaler Komponente, d.h. auch eine Vergrößerung des Meßquerschnitts. Die Konvergenzgeschwindigkeiten erreichen jedoch höchstens 0.6 mm/a und die Verformungsgeschwindigkeiten liegen maximal bei $0.2 \cdot 10^{-3}/a$ für die Längenänderungen und bei $0.3 \cdot 10^{-3}/a$ für die Querschnittsflächenänderungen. Diese Tendenz tritt ausschließlich in den stärker durchbauten Feldesteilen auf, meist bei gleichzeitig sehr komplexen geologischen Strukturen: in den Kalilagerbereichen auf Marie, im Ostquerschlag (starke Durchbauung in Kalilagern und im Zentralteil), im Nord- und Südostfeld. Dabei spielt die Petrographie eine untergeordnete Rolle, da Divergenz im Leine- und Staßfurt-Steinsalz, im Kalilager und im Anhydrit beobachtet wird. Bisher liegen die Meßwerte der Stationen mit Divergenz in der Nähe der Signifikanzgrenze. Deshalb muß noch von einer Tendenz gesprochen werden, die durch weitere Messungen zu bestätigen ist.

Der weitgehend gerade Verlauf der Konvergenzkurven - bezogen auf die derzeit vorliegenden begrenzten Meßreihen - deutet stationäre Verformungsvorgänge an. Dies läßt auf eine unveränderte geomechanische Situation schließen, die sich nicht abrupt ändern wird. Damit ergibt sich aus der Bewertung der Konvergenzmessungen keine Gefährdung für die Standsicherheit der Hohlräume für die nähere Zukunft, wenn man von Abschaltungsvorgängen in Firste und Stoß absieht. Die Nähe zu Anhydritschichten, die Lasten aufnehmen können und/oder ein hoher großräumiger Durchbauungsgrad in bestimmten Grubenbereichen (Zentralteil und Südfeld Bartensleben, s.u.) könnte jedoch trotzdem im Lauf der Zeit zum Erreichen von Grenzzuständen führen. Für diese Bereiche werden für die Aussage zur Standsicherheit die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen herangezogen wie geomechanische Modellberechnungen, markscheiderische Messungen, mikroakustische Messungen, etc..

Beobachtbare Einflußgrößen

Prinzipiell sollte sich das o.g. generelle Bild in Abhängigkeit von der Teufe, d.h. vom lithostatischen Druck, von den mechanischen Eigenschaften, insbesondere von den

Kriecheigenschaften, vom Durchbaungsgrad und vom Alter der Hohlräume her differenzieren. Praktisch wird aber wegen der Überlagerung der verschiedenen Einflüsse eine Trennung oft schwierig sein. Wie oben erwähnt, zeigen Stationen im z2HS überwiegend höhere Konvergenzgeschwindigkeiten als solche im z3LS-AM. Dies ist im Einklang mit der Schlußfolgerung aus Laborversuchen, daß das z2HS im allgemeinen kriechfreudiger als das Steinsalz des z3 ist. Es gibt aber darüberhinaus starke Unterschiede in der Lage der Stationen im Steinsalz des z2 und des z3. Im Grubengebäude des ERAM liegen Stationen im z2 oft in Strecken in den wenig durchbauten Bereichen. Dort gilt weitgehend die einfache geomechanische Vorstellung eines einzelnen Hohlräume in einem größeren Salzvolumen, der sich langsam schließt. Die Stationen im z3 liegen überwiegend in Strecken und Abbauen in den stark durchbauten Feldesteilen. Der Grund liegt in der Konzentration des früher umgegangenen Steinsalzabbaus auf die sehr reinen Partien des z3. In diesen Fällen der starken Durchbauung mit komplexer Geometrie bei gleichzeitig komplexem Gebirgsbau (Nähe zu aussteifenden Anhydritschichten) können sich weiträumige Traggewölbe ausbilden. Die Spannungszustände um die einzelnen Hohlräume werden dadurch stark beeinflußt und damit auch die beobachtbaren Konvergenzen. Dies scheint der dominierende Einfluß auf die Konvergenzraten im ERAM zu sein. Eine klare Abhängigkeit mit der Tiefe läßt sich bisher nicht erkennen.

Neuauffahrungen

Direkt nach dem Auffahren von Hohlräumen im Steinsalz sind die erwarteten hohen Anfangskonvergenzen nachgewiesen worden. In der Wetterstrecke im Südfeld Bartensleben sind nach 4 a Standzeit noch keine stationären Zustände erreicht worden. Im UMF I im Ostsattel Bartensleben haben sich nach etwa 20 a Standzeit stationäre Verhältnisse eingestellt, wobei die Auffahrung des UMF II in unmittelbarer Nähe ebenfalls in diesem Zeitraum stattfand (1979-80).

Einzelbeobachtungen

Der Durchbaungsgrad ist im Zentralteil sehr hoch. Man beobachtet insbesondere in den alten Abbauen nur sehr geringe Konvergenzen, die bezogen auf die Meßstrecken meist unter $10^{-4}/a$ liegen. Dies deutet auf Entlastungen im Bereich dieser Abbaue hin, die mit der Ausbildung eines großräumigen Traggewölbes unter Einbeziehung der Anhydritschichten verbunden sind. Der hohe Anteil von wenig kriechfreudigen Steinsalzvarietäten im Zentralteil wie z3AM und z3SS spielt sicher auch eine Rolle für die geringen

Konvergenzen. Bei sprunghaften Änderungen der Konvergenzkurven, die bei einigen Altstationen zu beobachten sind, sind Abschaltungsvorgänge als Ursache nicht auszuschließen.

Im Südfeld liegt ebenfalls ein hoher Durchbauungsgrad im Steinsalz des z3 vor, insbesondere im Bereich der Südstrecke, 4. Sohle, mit geringmächtigen Schweben über den Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle. Der Anteil an Anhydritschichten ist geringer als im Zentralteil und der Anhydrit liegt nicht oberhalb der Hohlräume wie im Zentralteil, sondern unterhalb. Die Verformungsgeschwindigkeiten liegen in der Südstrecke mit maximal $-8 \cdot 10^{-4}/a$ vom Betrag her höher als im Zentralteil, aber im Bereich oder unterhalb der Werte in anderen Grubenteilen. Für das Steinsalz des z3OS wurde an einer Probe aus dem Südfeld eine vergleichbare Kriechfähigkeit wie für das z2HS in anderen Grubenbereichen bestimmt.

Im oberen Teil des Lagers H wurde in einer Meßstrecke eine relativ hohe Verformungsrate von $-1.4 \cdot 10^{-3}/a$ bestimmt. Die Meßbolzen sind im Mauerwerk verankert.

Bei den Stationen im Schachtsicherheitspfeiler Bartensleben auf der 2. - 4. Sohle ist eine Tendenz zu einer Erhöhung der Konvergenzraten festzustellen.

Auswirkungen auf das Stilllegungskonzept

Die ermittelten Ergebnisse können als Eingangsgrößen in den Langzeitsicherheitsanalysen und in gebirgsmechanischen Rechnungen zur Wirkungsweise von Versatzmaßnahmen sowie bei der Planung von Abdichtungsbauwerken herangezogen werden. Differenzierungen nach Grubenteilen können vorgenommen werden.

2.2 Extensometermessungen

Bei den Extensometermessungen liegt BGR - abgesehen von den Daten von 2 Extensometern, siehe unten – der Datenstand des letzten Zwischenberichts vor. Im Rahmen eines Berichts zu den Deformationsmessungen im Bereich des Abbaus Ia [5], 1. Sohle Bartensleben, erhielt BGR die Daten der beiden Extensometer CG701E und CG702E. Die Meßwerte der beiden Extensometer liegen immer noch an der Signifikanzgrenze (vgl. AP-Bericht für 1996, [2]) und deuten nur sehr geringe Gebirgsbewegungen an (Verschiebungsbeträge um 0.1 mm/a).

2.3 Fissurometermessungen

2.3.1 Meßziel und Meßlokationen

Im ERAM treten im Abbau 2n, 1. Sohle Bartensleben, und in der sich anschließenden Nordstrecke überwiegend horizontal verlaufende, voneinander abgesetzte Risse im Stoß auf (Abbau 2n: Südwest- und Nordstoß, Nordstrecke: West- und Oststoß, Geologie Steinsalz z3LS-OS). Noch heute feststehende Gipsmarken von 1963 und 1967 im Südweststoß des Abbaus 2n lassen auf sehr geringe Öffnungsbeträge von maximal ca. 5 mm in ca. 35 Jahren schließen (siehe Anlagen 2.3.1 und 2.3.2). Die Rißöffnungsweiten an den Rissen betragen maximal zwischen 10 und 15 mm. Die Risse liegen überwiegend in der Schichtung und erstrecken sich abgesetzt über eine Stoßlänge von ca. 70 m (Südweststoß Abbau 2n und Fortsetzung in Nordstrecke).

Ähnliche, aber weniger ausgedehnte Risse finden sich in der Südstrecke auf der 4. Sohle Bartensleben oberhalb des Abbaus 2 (Oststoß) und des Abbaus 3 (Weststoß) der 5a-Sohle. Die Risse verlaufen ebenfalls horizontal und befinden sich im z3OS.

Die Risse werden gebirgsmechanisch mit Fissurometern überwacht, mit denen eventuell anhaltende Bewegungen ermittelt werden. Die Lage der 5 auf der 1. Sohle installierten Fissurometer ist Anlage 2.1.6 zu entnehmen, die Lage der 4 auf der 4. Sohle installierten Fissurometer ist Anlage 2.1.12 zu entnehmen.

Die Meßwerte wurden von DBE zusammen mit einer Dokumentation in der Unterlage [6] an die BGR übergeben.

2.3.2 Meßmethode und Auswertung

Zur Erfassung der dreidimensionalen Bewegungen an den Rissen bzw. Trennflächen im Gebirge werden Segment-Fissurometer eingesetzt (Anlage 2.3.3). Die Segmente werden auf beiden Seiten bzw. Ufern des Risses angebracht, und die Relativverschiebungen der Rißufer zwischen den Segmenten werden an Meßanschlägen mit Hilfe einer Meßuhr bestimmt (Anlage 2.3.4).

Die Fissurometer werden senkrecht zum Riß am Stoß angebracht, hier überwiegend vertikal aufgrund des überwiegend horizontalen Verlaufs der Risse. Vertikal werden somit die Riffnungsweite (Komponente w) und horizontal zum einen die Bewegung in Stoßrichtung (Hohlraumlngsrichtung, Komponente v) und zum anderen die Bewegung aus dem Stoß heraus (Hohlraumquerrichtung, Komponente u) ermittelt. Verlängerungen der Abstände zwischen den Meanschlgen werden als positive Werte angegeben. Nimmt man das hangende Riufer als lagestabil an, entspricht dann einem positiven Wert in der Vertikalkomponente eine Absenkung des liegenden Riufers, einem positiven Wert horizontal in Stoßrichtung eine Bewegung des liegenden Ufers nach links und einem positiven Wert horizontal quer zur Stoßrichtung eine Bewegung des liegenden Ufers aus dem Stoß heraus (Blickrichtung auf das Fissurometer).

Die Auflösung der Lngemessung beträgt 0.01 mm, die Meßungenauigkeit wird mit ± 0.02 mm angegeben, was rechnerisch zu einer Ungenauigkeit von ± 0.03 mm für die Differenzbildung zwischen zwei Messungen führt (Verschiebung zwischen den Meanschlgen in der Zeit zwischen zwei Messungen; hier zwischen der Nullmessung und den Folgemessungen). Die Schwankungen der bisher erhaltenen Meßwerte (Differenzen) um jeweils eine mittlere Trendlinie ergeben eine etwas höhere Einschätzung der Meßungenauigkeit von etwa ± 0.05 mm, die aber trotzdem bemerkenswert gering erscheint. Der Meßbereich beträgt ± 10 mm in jeder Richtung.

Es wird keine Korrektur für die thermische Ausdehnung der Meßsegmente vorgenommen, da die erfaßten Temperaturschwankungen von maximal 2.5 K gering und die Meßsegmente kurz sind. Eine Abschätzung ergibt eine maximale thermische Ausdehnung von 0.02 mm (Länge Meßsegmente 0.5 m, linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient für Invarstahl von 0.0125 mm/m/K, Temperaturdifferenz 2.5 K).

Die Raten der Verschiebungen an den Rissen werden mit Hilfe linearer Regression in zeitlichen Bereichen ermittelt, die einen Trend erkennen lassen. Dabei wird über die statistischen Schwankungen der Meßwerte im Bereich gemittelt.

2.3.3 Ergebnisse

Die Datenblätter (Anlagen 2.3.5 - 2.3.13) enthalten sowohl Angaben zu den Lokationen als auch die Darstellungen des zeitlichen Verlaufs der Meßwerte (Relativverschiebungen). Die ermittelten Werte der Verschiebungsraten bei schon signifikanten Werten und erkennbaren Trends sind Tabelle 2.3.1 zu entnehmen. Ist keine Angabe vorhanden, sind die Verschiebungsraten vom Betrag her kleiner als 0.1 mm/a.

Allgemeine Beobachtungen

Die Meßwerte liegen zum Teil über der eingeschätzten Meßungenauigkeit, zeigen aber insgesamt bisher nur geringe Beträge bis etwa 0.45 mm Verschiebung an. Der Meßzeitraum auf der 1. Sohle beträgt 1.5 a, auf der 4. Sohle etwas mehr als 1 a. Bereichsweise, z.T. auch über den gesamten Meßzeitraum, zeichnen sich erkennbare Trends ab, d.h. die Bewegungen an den Rissen verlaufen relativ gleichmäßig. Einige Meßkurven weisen größere Sprünge auf. Kurz nach Installation der Meßsegmente weisen solche Sprünge auf Einbaueffekte hin. Aufgrund der Sprünge durch Einbaueffekte sind die Beträge der erreichten Verschiebungen teilweise nicht aussagekräftig. Die Raten werden jedoch in zeitlichen Bereichen ermittelt, in denen dies keine Rolle mehr spielt (gestrichelte Geraden in den Meßwertdiagrammen). Die Ursache für signifikante Sprünge können aber auch kurzzeitig auftretende schnellere Bewegungen an den Rissen sein.

Abbau 2n 1. Sohle: Fissurometer 089F, 090F und 091F (Anlagen 2.3.5 - 2.3.7)

Die Fissurometer befinden sich von S nach N eng benachbart am W- bzw. SW-Stoß des Abbaus (siehe Anlage 2.1.6).

Die horizontale Komponente u (Richtung quer zum Stoß) aller 3 Fissurometer zeigt keine Bewegungstendenz an.

Die horizontale Komponente v (Richtung längs zum Stoß) zeigt bei 089F keine Bewegung an. Bei 090F ergibt sich eine Verschiebung von -0.45 mm und eine Rate von - 0.33 mm/a (Verschiebung des liegenden Ufers nach rechts oder NW relativ zum oberen Ufer). Bei 091F ergibt sich eine Andeutung zur gleichen Verschiebungsrichtung wie bei 090F mit -0.2 mm.

Die vertikale Komponente w zeigt bei 089F einen einheitlichen Trend zur Rißöffnung mit insgesamt 0.3 mm und eine Rate von 0.17 mm/a an. Das mittlere Fissurometer 090F zeigt keine Tendenz zur Rißöffnung in der vertikalen Komponente, während man beim nördlichen Fissurometer 091F eine sehr schwache Tendenz zur Rißöffnung mit einer Rate von 0.12 mm/a erkennt.

Die Bewegungen an den Rissen laufen zeitlich relativ gleichmäßig ab, variieren aber räumlich entlang der verschiedenen, voneinander abgesetzten Risse auf wenigen Metern Entfernung.

Nordstrecke 1, Sohle: Fissurometer 092F und 093F (Anlagen 2.3.8 und 2.3.9)

Die Fissurometer befinden sich in der Nordstrecke direkt hinter dem Eingang vom Abbau 2n (siehe Anlage 2.1.6). Sie liegen sich rechts und links am Stoß gegeneber. Sie zeigen die gleiche Entwicklung der Meßwerte.

Die horizontale Komponente u der Fissurometer zeigt keine signifikante Bewegungstendenz an.

Die horizontale Komponente v zeigt bei beiden Fissuometern eine Bewegung von etwa 0.25 mm bei einer Rate um 0.12 mm/a, allerdings bei 092F eine Verschiebung des liegenden Riufers nach SSE relativ zum hangenden Ufer, und bei 093F eine Verschiebung nach NNW. Dies entspricht nicht der Vorstellung einer einheitlichen Bewegung an einer links und rechts am Stoß aufgeschlossenen Riflche. Überprüfungen der Installation untertage, der Durchführung der Messungen und der Auswertung ergaben kein Anzeichen für eine Vertauschung des Vorzeichens. Die weitere Entwicklung der Werte muß abgewartet werden. Gründe für diese unterschiedliche Tendenz können in der komplizierten Geometrie (Ansteigen der Firste des Abbaus 2n über Eingang Nordstrecke, Nähe zu Rolloch in Schwebe mit 2a-Sohle) und auch der Geologie (Änderung des Einfallens und des Streichens der Schichten in diesem Bereich) vermutet werden.

Die vertikalen Komponenten w zeigen bei beiden Fissuometern einen einheitlichen Trend zur Rißöffnung mit 0.25 mm Verschiebung und mit Raten von 0.15 bzw. 0.12 mm/a.

Auch an der ca. 10 m Meter entfernten Konvergenzstation 078K in der Nordstrecke (siehe Anlagen 2.1.69 und 2.1.70) beobachtet man Risse in Stoß und Firse. Es ergaben sich eine Verlängerung der vertikalen Meßstrecke mit 0.5 mm/a und keine signifikanten Werte in der horizontalen Meßstrecke. Die Werte stimmen von der Tendenz her mit den Fissurometermessungen in der Komponente u und w überein. Die Divergenz in der vertikalen Meßstrecke kann zumindest zu einem Teil mit der Öffnung von Rissen erklärt werden.

Südstrecke 4. Sohle über Abbau 3: Fissurometer 184F und 185F (Anlagen 2.3.10 und 2.3.11)

Die Fissurometer sind eng benachbart am westlichen Stoß über je einem horizontalen Riß angeordnet (siehe Anlage 2.1.12). Ein Trend zeichnet sich nur in der vertikalen Komponente von 184F mit einer Rißöffnung von 0.17 mm und einer Rate von 0.12 mm/a ab. In der horizontalen Komponente v von 185F ergab sich ein starker Anstieg direkt nach dem Einbau, der dann wieder abflachte.

Die benachbarten Konvergenzstationen 172 - 175K (Anlagen 2.1.183 - 2.1.190) zeigen eine starke Variation der vertikalen Konvergenzgeschwindigkeiten von -2 mm/a bis 0.4 mm/a. Dies ist auf unterschiedliche Hohlraumgeometrie in diesem Bereich zurückzuführen: Die Südstrecke, 4. Sohle, verläuft von Norden nach Süden auf den Abbau 9s der 4a-Sohle zu und liegt dann unter der Sohle des Abbaus. Da die Fissurometer und Konvergenzstationen nicht direkt benachbart sind, sind die Ergebnisse beider Methoden in diesem Fall nicht zusammen interpretierbar.

Südstrecke 4. Sohle über Abbau 2: Fissurometer 186F und 187F (Anlagen 2.3.12 und 2.3.13)

Die Fissurometer sind eng benachbart am östlichen Stoß über je einem horizontalen Riß angeordnet (siehe Anlage 2.1.12). Die horizontalen Komponenten zeigen noch keine Bewegungstrends. Bei den vertikalen Komponenten findet man bei 186F eine Rißöffnung von 0.2 mm bei einer Rate von 0.19 mm/a und bei 187F eine Rißöffnung von 0.27 mm bei einer Rate von 0.18 mm/a.

Von den beiden benachbarten Konvergenzstationen 068K und 069K (siehe Anlagen 2.1.179 - 2.1.182) kann nur 068K für eine gemeinsame Interpretation mit den

Fissurometermessungen herangezogen werden. (069K liegt südlich der Fissurometer schon im Pfeilerbereich zwischen den Abbauen 9n und 9s, 4a-Sohle, so daß die geometrischen Verhältnisse nicht vergleichbar sind.) Die vertikale Komponente von Konvergenzstation 068K zeigt keine Bewegungstendenz an. Dies ist mit den bestimmten Rißöffnungsweiten um 0.2 mm/a durchaus vereinbar.

2.3.4 Bewertung

Die bisherigen Messungen belegen, daß sehr geringe Relativverschiebungen an Rissen mit Fissurometermessungen nachgewiesen werden können. Es ergeben sich noch nicht in allen Meßreihen signifikante Werte und erkennbare Trends. Die festgestellten Verschiebungen betragen nach 1.5 a bzw. 1 a maximal rund 0.5 mm. Die Verschiebungen sind oft mit Sprüngen am Anfang der Meßreihen (Einbaueffekte) behaftet. Verlässlicher sind daher die ermittelten Raten nach Abklingen der Einbaueffekte. Die vertikalen Komponenten, d.h. die Änderungen der Rißöffnungen bei den im wesentlichen horizontal verlaufenden Rissen, zeigen bis auf eine Ausnahme Öffnungstendenz mit Verschiebungen bis ca. 0.3 mm und Raten bis 0.2 mm/a. Die horizontalen Komponenten in der Richtung quer zum Stoß zeigen keine Bewegungen an, während Bewegungen längs zum Stoß festgestellt werden mit maximal rund 0.5 mm Betrag und einer Rate von rund 0.3 mm/a.

Die Richtungen der Verschiebungen entsprechen z.T. nicht einem einfachen Bild des Bewegungsablaufs an den Rissen. Da immer 2 oder 3 Fissurometer eng benachbart an Einzelschlitzen installiert wurden, kann man engräumig z.T. deutliche Variationen der Bewegungen an den Rissen feststellen.

Beobachtungen an Konvergenzstationen in der Nähe der Fissurometer sind im wesentlichen mit den Fissurometermessungen vereinbar. Insbesondere die Verlängerung einer vertikalen Meßstrecke und die beobachtete Rißöffnung in der Nordstrecke auf der 1. Sohle stehen im Einklang und zeigen, daß hier Rißbildung einen Beitrag zur beobachteten Dilatanz im Konvergenzmeßquerschnitt liefert.

Die ermittelte Rißöffnungsrate von 0.17 mm/a am Weststoß des Abbaus 2n auf der 1. Sohle ist überschlagsmäßig mit der Beobachtung der Rißöffnung von etwa 5 mm an einer

Gipsmarke von 1963 gut vereinbar ($0,17 \text{ mm/a} \cdot 35 \text{ a} = 6 \text{ mm}$, siehe Anlage 2.3.2). Die maximalen Riffnungen am Stoß betragen ca. 10 - 15 mm, d.h. unter Annahme der ermittelten Rate über die gesamte Zeit seit Entstehen der Risse müßten ca. 75 Jahre vergangen sein. Dies entspricht etwa dem Alter der Abbaureihe (Abbau 2n 1. Sohle 69 Jahre, Abbau 2n 2a-Sohle 62 Jahre, Abbau 2n 2. Sohle 74 Jahre) und läßt darauf schließen, daß die Risse dort während oder - gemessen am Alter der Abbaue - kurz nach der Auffahrung entstanden sind und daß die geringen Riffnungsbewegungen seitdem relativ gleichmäßig verlaufen sind. Es ist nicht unplausibel, daß die Risse bei der Auffahrung des Abbaus 2n auf der 2a-Sohle entstanden sind (4 m Schwebenmchtigkei zu Abbau 2n 1. Sohle).

2.4 Lageänderungsmessung 2. Sohle Bartensleben

2.4.1 Meßziel und Meßlokation

Dem Zentralteil der Grube Bartensleben wird aus geomechanischen Gründen besondere Aufmerksamkeit gewidmet, insbesondere den höher gelegenen Bereichen. Die Gründe sind:

- Hoher Durchbaugungsgrad mit teilweise geringmächtigen Schweben und Pfeilern,
- Nähe der Abbaureihen 2 und 4 zum Anhydrit z3HA und Grauen Salzton z3GT,
- lokales Auftreten von Zugspannungen im Übergangsbereich von Steinsalz z3 und Anhydrit z3HA in geomechanischen Modellberechnungen,
- In-situ-Befunde wie Laugenzutritte auf der 1. Sohle (Schrapperkammer und Abbau 1a) und Auftreten lang aushaltender Risse im Abbau 2n auf der 1. Sohle.

Der Abbau 2n auf der 2. Sohle wurde als Lokation für eine Lageänderungsmessung gewählt (siehe Anlagen 2.4.1 und 2.4.2). Mit dieser Messung ist man in der Lage, die erwarteten Bewegungen des Steinsalzes in Richtung der Abbaue zu erfassen. Die Bohrung verläuft in ihrem hinteren Bereich oberhalb eines Abbaus im Kalilager C, so daß auch dort eventuelle Restverformungen um verfüllte alte Abbaue erfaßt werden können. Da die Bohrung die gesamte Abfolge vom Leinsteinsalz z3LS über Hauptanhydrit z3HA, Grauen Salzton z3GT und Kalilager z2SF bis ins Ältere Steinsalz z2HS3 durchteuft, ist eine Untersuchung des Verbundverhaltens dieser Schichten mit geomechanisch stark unterschiedlichen Eigenschaften möglich. Damit hat diese Messung exemplarischen Charakter für die Beurteilung dieser häufig in der Grube anzutreffenden geologisch-geomechanischen Situation.

Die Lage der Meßbohrung RB801 ist den Anlagen 2.4.1 und 2.4.2 (DBE-Unterlagen) zu entnehmen. Anlage 2.4.2 enthält die geologischen Grenzen nach älteren Darstellungen, die hier in etwa auch denen im geologischen Lagerstättenmodell der BGR entsprechen. Die Meßbohrung ist 104 m lang und 15 gon aus der Horizontalen nach oben gerichtet. Nach den für die Planung vorliegenden markscheiderischen Unterlagen sollte so ein Abstand von etwa 10 m über den Abbauen im Kalilager C erzielt und die Bohrung im hinteren Bereich ca. 10 m im Staßfurt-Steinsalz verlaufen. Die Bohrung wurde gekernt und die Kerne in der BGR in Hinblick auf Trennflächen ingenieurgeologisch aufgenommen (Tabelle 2.4.1).

Auffällig waren hierbei Risse im Übergangsbereich zwischen z3LS und z3HA sowie zahlreiche Risse und Klüfte im z3HA und z3GT mit Öffnungsweiten bis 15 cm, die mit Salzen gefüllt sind.

2.4.2 Meßmethoden und Auswerteverfahren

In der Bohrung befindet sich eine vermörtelte Meßverrohrung mit Meßringen im Abstand von 1 m. Gemessen werden die axialen Verschiebungen (Änderungen der Abstände der Meßringe) und die Neigungen (Verschiebung senkrecht zur Bohrung in der Vertikalebene bzw. deren Änderungen) entlang der Bohrung in Abständen von 1 m mit zwei Sonden der Fa. Interfels. Einzelheiten zur Meßmethode und zur Auswertung können den von DBE erstellten Meßberichten [7] und [8] sowie dem Bericht der BGR [2] entnommen werden. Die Systemgenauigkeit beträgt beim Extensometer $\pm 0,01$ mm und beim Inklinometer $\pm 0,1$ mm.

2.4.3 Ergebnisse

Die Nullmessung wurde in 2/96 und 4 Folgemessungen wurden in 3/96, 4/96, 6/96 und 9/96 durchgeführt. Über diese wurde im letzten AP-Bericht berichtet [2]. Weitere 3 Folgemessungen wurden in 3/97, 6/97 und 9/97 durchgeführt. Die Daten wurden in Meßberichten von DBE in aufbereiteter Form an BGR übergeben ([7] und [8]). Bei den Folgemessungen 6/97 und 7/97 ergaben sich beim Extensometer wesentlich höhere Abweichungen für die Doppelmessungen als bei den vorhergegangenen Folgemessungen ($> 0,05$ mm). Dies wirkt sich als erhöhtes Rauschen in den Daten aus. Aus diesem Grund werden in diesem Bericht nur die Daten der 5. Folgemessung von 3/97 bzw. deren Differenzen zu früheren Messungen dargestellt. Das Extensometer wurde von DBE zur Überprüfung an den Hersteller geschickt.

Anlage 2.4.3 stellt die Änderungen der Ringabstände (Daten Extensometer) und die Neigungsänderungen (Daten Inklinometer) gemeinsam als Funktion der Bohrlochteufe als Verformungen in mm/m bzw. in Promille (10^{-3}) dar. Aufgetragen sind die Differenzen der Meßwerte der 5. Folgemessung von 3/97 und der Nullmessung von 2/96. Zu beachten sind

die unterschiedlichen Skalen der Darstellung (Bereich ± 0.4 mm/m für die Änderung der Ringabstände und ± 4 mm/m für die Neigungsänderungen). Wie sich schon bei den früheren Messungen abgezeichnet hat, stellen sich in folgenden Teufenbereichen signifikante Änderungen ein :

- am 1. Meßpunkt direkt am Stoß im Steinsalz z3LS,
- von 20 m bis 25 m im z3LS,
- von 36 m bis 60 m vom Steinsalz z3LS in den Anhydrit z3HA hinein (Grenze bei 40 m),
- von 69 m bis 73 m im z3GT (Grenze z3HA und z3GT bei 71 m).

Teilweise korrelieren Änderungen der Ringabstände mit denen der Neigung, wobei allerdings die maximalen Beträge sehr unterschiedlich ausfallen (0.35 mm/m bei den Ringabständen und 5 mm/m bei den Neigungen)

An vielen Meßpunkten mit signifikanten Änderungen beobachtet man in der zeitlichen Entwicklung, also von der Nullmessung zu den Folgemessungen, eine Abnahme der Änderungsgeschwindigkeiten und eine Stabilisierung auf einem konstanten Niveau der Geschwindigkeiten ab der 2. Folgemessung [7]. Wahrscheinlich handelt es sich um Effekte, die mit der Erstellung der Bohrung zusammenhängen (anhaltende Spannungsumlagerungen), mit dem Einbau der Verrohrung (Aktivierung von Trennflächen durch Einpressen des Mörtels) oder einer anfänglichen Nachgiebigkeit der Vermörtelung. Solche Effekte werden häufig in der Zeit nach dem Einbau von Deformationsmeßeinrichtungen in Bohrungen beobachtet. Um ihren Einfluß auszuschalten, werden die Differenzen zwischen der 5. Folgemessung 3/97 und der 2. Folgemessung 4/96 in Anlage 2.4.4 aufgetragen. Die Skalierung der Meßwerte wird dabei verändert: der Wertebereich ist nur halb so groß wie in Anlage 2.4.3.

Der Bezug auf die 2. Folgemessung hat bei den Neigungen einen größeren Einfluß als bei den Ringabständen. Relativ erhöhen sich die Änderungen der Ringabstände zu den Neigungsänderungen, wenn man die Diagramme der Anlagen 2.4.3 und 2.4.4 vergleicht. Aus der Meßzeit von 336 Tagen zwischen den Messungen in Diagramm 2.4.4 ergibt sich am Bohrlochmund eine Rate der Abstandänderungen von ca. $0.3 \cdot 10^{-3}/a$ als maximaler Wert (hohlraumnahe Auflockerung). Im Gebirge betragen die Raten der Abstandsänderungen maximal $0.1 \cdot 10^{-3}/a$ (z3GT). Bei den Neigungen ergibt sich eine maximale Rate von $\sim 1.6 \cdot 10^{-3}/a$ direkt an der Grenze von Steinsalz und Anhydrit. Dieser Wert liegt deutlich

unter dem Wert von $-4.5 \cdot 10^{-3}/a$, den man in Anlage 2.4.3 mit den Differenzen der Nullmessung 2/96 bestimmt (Meßzeit 404 Tage).

Auch der räumliche Verlauf der Neigungsänderungen entlang der Bohrung ändert sich durch den Bezug auf die 2. Folgemessung an einigen Stellen. Insbesondere die Form des starken Signals an der Grenze Steinsalz - Anhydrit wird jetzt etwas einfacher. Dadurch korreliert es in diesem Bereich gut mit dem Signal der Ringabstandsänderungen. Korrelation oder Anti-Korrelation deutet sich auch in anderen Bereichen der Bohrung an. Hier muß der weitere Verlauf der Messungen Klarheit verschaffen.

Bei den Folgemessungen 6/97 und 9/97, die hier aus den o.g. Gründen nicht dargestellt sind, verlaufen die Neigungsänderungen gleichmäßig so weiter, wie es Anlage 2.4.3 zu entnehmen ist.

2.4.4 Bewertung

Die Bewegungen entlang der Bohrung RB801 stabilisieren sich seit der 2. Folgemessung auf einem deutlich geringeren Niveau als vorher, was auf die Beruhigung des Gesamtsystems nach dem Einbau zurückzuführen ist. Die Raten der Neigungsänderungen weisen maximal einen Betrag von $1.6 \cdot 10^{-3}/a$ auf, die der Abstandänderungen einen Betrag von $0.1 \cdot 10^{-3}/a$ im Gebirge und $0.3 \cdot 10^{-3}/a$ direkt an der Kontur. Deutliche Trends ergeben sich in den Übergangszonen von Steinsalz z3LS und Anhydrit z3HA sowie von Anhydrit und Salzton z3GT. Maximale Bewegungen in Form von Neigungsänderungen finden sich am Übergangsbereich von z3LS zum z3HA. Sie erfassen aber auch noch tiefer gelegene Bereiche des Anhydrits.

Die Bewegungen am Übergangsbereich von z3LS und z3HA deuten Scherung des Gesteins in diesem Bereich an, die etwa schichtungsparell stattfinden könnte. Der räumlichen Verteilung der Neigungsänderungen nach kann es sich nicht um eine einzelne Scherfläche handeln, sondern es könnte sich um mehrere gestaffelte Flächen handeln. Zu berücksichtigen ist auch, daß sich Hohlräume auf der 3 a- und der 3. Sohle genau unterhalb dieses Bereichs befinden. Weiter wurde durch 2 etwa parallele Bohrungen ca. 15 m nördlich von RB801 belegt, daß die geologische Struktur doch komplexer ist, als es

vermutet wurde. Der Anhydrit wird in diesen Bohrungen bei etwa 20 m, statt wie hier bei 40 m Teufe angetroffen. Damit muß mit einer Zerlegung des Anhydrits in mehrere Schollen und dreidimensionalen geologischen Verhältnissen im Nahbereich der Bohrung RB801 gerechnet werden.

Axiale Längenänderungen treten direkt am Bohrlochmund auf und können dort als stoßnahe Aufblätterung angesehen werden. Weitere Bereiche mit axialen Längenänderungen, aber auch Neigungsänderungen finden sich mitten im z3LS sowie im z3GT. Hier kann die Existenz von Hohlräumen unterhalb dieser Bereiche ebenfalls eine Rolle spielen. Am Übergang zwischen z3HA und z3GT findet sich in den Kernen eine markante Kluft von 15 cm Öffnungsweite, die mit Carnallit gefüllt ist.

Die Lageänderungsmessungen in der Bohrung RB801 zeigen, daß im Gebirgsverband von Steinsalz, Anhydrit, Salzton und Kaligesteinen Bewegungen bevorzugt in diskreten Bereichen, insbesondere an den Grenzflächen auftreten. Diese Bewegungen werden durch das unterschiedliche Deformationsverhalten dieser Gesteine hervorgerufen. Bei der ingenieurgeologischen Aufnahme der Bohrung RB801 wurden viele Risse und Klüfte festgestellt (siehe Tabelle 2.4.1). Sie liegen gerade in den Bereichen, die in den Messungen auffallen. An solchen Trennflächen werden sich die Bewegungen an den Grenzflächen wie auch innerhalb der nicht duktilen Gesteine Anhydrit und Salzton abspielen.

2.5 Untertägige Höhenmessungen

Mit den Unterlagen [9] und [10] stehen erstmals zusammenfassende Auswertungen der untertägigen Nivellements zur Verfügung. In ihnen werden die weitgehend jährlich durchgeführten Messungen von 1970 bis 1997 berücksichtigt. Im Laufe dieser Jahre erfolgte eine Erweiterung des Meßumfanges, eine Änderung der Meßmittel und der Auswertbedingungen sowie des Auswertverfahrens. Die Zusammenführung dieses heterogenen Ausgangsmaterials mußte durch ein flexibles Auswertverfahren erreicht werden, welches durch die Methode der Kalman-Filterung vorlag.

2.5.1 Meßnetz und Meßverfahren

Umfang und Entwicklung des Meßnetzes der untertägigen Höhenmessung sind in den Unterlagen [9], [11] und [2] beschrieben. Ausgehend von Messungen in den Querschlägen auf der 2. (-291 mNN) und 4. (-372 mNN) Sohle der Grube Bartensleben im Jahre 1970 und einem ersten Netz in 1974 auf der 360-m-Sohle (-231 mNN) der Grube Marie, dessen Messung nach 1977 vorübergehend wieder eingestellt wurde, erfolgte in den 80-iger Jahren eine ausgedehnte Erfassung des Grubengebäudes durch Nivellements. 1994 wurde das Netz auf seine heutige Gestalt erweitert (siehe Anlagen 2.1.2, 2.1.4, 2.1.5, 2.1.7, 2.1.8 und 2.1.10), wobei insbesondere im Grubenteil Marie zusätzliche Strecken in das Nivellement aufgenommen wurden, die durch Schleifenbildung eine größere Aussagesicherheit der Messungen erreichen sollten. Weiterhin wurden zur Vernetzung der Sohlen untereinander das Flachen 2 (Verbindung 3. zur 4. Sohle, Bartensleben) und der Fluchtweg zwischen der 3. Sohle Bartensleben über den Bremsberg nach Marie und von dort durch die 1. nördliche Richtstrecke zurück zur 2. Sohle Bartensleben in das Nivellement eingebunden. Die 1. Sohle Bartensleben, die keine Streckenverbindung mit dem übrigen Grubengebäude hat, wird seit 1996 durch Teufenmessungen im Schacht Bartensleben und im D-Gesenk meßtechnisch mit den anderen Sohlen verbunden. Dennoch verbleibt ein hoher Anteil nur einseitig an das Netz angeschlossener Linien, die die Gefahr von ungünstigen Fehlerfortpflanzungen in sich bergen. Dies betrifft vor allem den Grubenteil Bartensleben.

Die Punktvermarkungen bestanden bis 1993 aus Nivellierhaken, die ca. 6 cm tief in der Firste eingeschossen oder verschraubt wurden. Durch Kunststoffhülsen mit Holzdeckeln

wurden die Haken gegen aggressive Wetter und mechanische Beschädigungen geschützt. Der mittlere Abstand zwischen den fest installierten Meßpunkten betrug ca. 40 m. Zuletzt wurden ca. 420 Festpunkte gemessen. Viele dieser Vermarkungen waren durch Korrosion angegriffen. 1993/1994 wurden die Nivellierhaken durch Meßbolzen ersetzt. Diese sind ca. 80 cm tief im Gebirge verankert, wobei sie mit einer Kopfplatte gegen die Firne verspannt sind. Seit 1995 werden andere Spreizhülsenanker verwendet, die eine Fixierung nur bei 80 cm Tiefe erlauben. Durch dieses Verfahren wird erreicht, daß punktuelle Schalenbildungen, oberflächennahe Einflüsse unterschiedlicher Wetterführung und mechanische Beschädigungen (die Bolzen sind zudem versenkt eingebaut und stehen nicht über die Kontur hinaus) geringere Auswirkungen auf die Meßergebnisse haben. Bei einer derzeitigen Länge des Nivellements von ca. 25 km mit ca. 860 Meßbolzen ergibt sich ein mittlerer Abstand zwischen den Meßpunkten von ca. 30 m.

Bis 1993 wurde die Höhenmessung mit dem Kompensatornivellier Ni 007 der Firma Zeiss, Jena, als Doppelnivellement durchgeführt. Die Ablesung erfolgte an einem Nivellierband aus Federstahlband, welches in die Haken eingehängt und mit einem Gewicht gespannt wurde. Ab 1994 wird das Nivellement mit dem registrierenden Digitalnivelliersystem NA3000 der Firma Leica und Invar-Strichcodelatten gemessen. Bei der Teufenmessung als Kombination aus elektrooptischer Distanzmesung, trigonometrischer Höhenmessung und nivellitische Höhenübertragung kommt zusätzlich ein Wild TC1610 zum Einsatz.

2.5.2 Auswerteverfahren

Das Auswerteverfahren des Kalman-Filters ist im Detail in der DBE-Unterlage [12] für die Auswertung der untertägigen Höhenmessung auf der Schachtanlage Konrad beschrieben und dort auch erprobt worden.

Das Verfahren liefert zwei Ergebnisgrößen: Die gesamte Höhenänderung des Meßpunktes zwischen Nullmessung und aktueller Meßepoche (Gesamtverformung) sowie die Geschwindigkeit des Meßpunktes, die sequentiell von Meßepoche zu Meßepoche ermittelt wird. Der zu ermittelnden Geschwindigkeit wird ein Bewegungsmodell in Form eines linearen Geschwindigkeitsansatzes unterstellt. Durch statistische Verfahren wird die Güte dieses Modells zwischen aufsummierter jährlicher Geschwindigkeit und Gesamt-

höhenänderung geprüft. Dabei wird ein "Gebirgsrauschen" aus Höhendifferenzänderungen benachbarter Meßpunkte berücksichtigt, die keine systematischen Bewegungen enthalten. Die statistischen Prüfverfahren besitzen außerdem den Vorteil, die Identifikation größerer Meßfehler, die durch übliche markscheiderische Verfahren nicht aufgedeckt werden können, wahrscheinlich machen zu können.

Über die Verformungsgeschwindigkeiten lassen sich die Ergebnisse der Höhenmessungen bei unterschiedlicher Meßdauer oder bei ausgefallenen Meßepochen bzw. nicht gemessenen Punkten vergleichen und bewerten. Dies ist bei der Entwicklung des Nivellements mit ständigen Erweiterungen und Ersatz von einzelnen Meßpunkten bzw. Erneuerung von Meßbolzen ganzer Meßlinien notwendig. Mit zunehmendem Umfang der Wiederholungsmessungen nimmt die Aussagefähigkeit der Meßpunktgeschwindigkeiten zu.

Für die Gesamtauswertung ist weiterhin ein gemeinsames Bezugssystem (Lagerung) notwendig. Für ein untätiges Nivellement ergibt sich die Schwierigkeit, einen stabilen Fixpunkt im Grubenbereich zu finden bzw. einen Punkt, dessen absolute Bewegung bekannt ist. Prinzipiell sind 3 Vorgehensweisen möglich:

1. Eine zwangsfreie Ausgleichung durch Anschluß des gesamten Netzes an einen Festpunkt. Dieser sollte möglichst stabil sein bzw. seine Eigenbewegung sollte von außen meßbar oder durch Vergleiche mit ähnlich positionierten Punkten einschätzbar sein.
2. Eine Lagerung auf mehreren Punkten, wobei das Netz durch eine Transformation (partielle Helmerttransformation) mit möglichst geringen inneren Widersprüchen (Minimum der Restklaffungen) auf diese Punkte bezogen wird. Diese Punkte sollten geringe Eigenbewegungen besitzen und untereinander in ihrer Positionierung (geologische und bergbauliche Umgebung) vergleichbar sein.
3. Eine Ausgleichung unter Zwang, bei der das Netz auf zwei oder mehrere Punkte gelagert wird, deren Eigenbewegungen zu Null bzw. im Bereich des Gebirgsrauschens gesetzt werden.

Bei den vorliegenden Auswertungen wurde eine Lagerung auf mehreren Punkten nach dem 3. Verfahren gewählt, wobei je Sohle und Grubenbereich ein Punkt herangezogen wurde. Diese Punkte sollten keine oder nur geringe, nichtsystematische Eigenbewegungen aufweisen, die sich im Rahmen des Systemrauschens bewegen sollten.

Den einzelnen Meßpunkten wird bei der Ausgleichung eine Wichtung in Abhängigkeit von ihrer meßtechnischen Sicherheit zugeordnet. Diese ergibt sich aus der Anzahl der Aufstellungen bei der Horizontal- (Strecken, Kammern), Schräg- (Flachen, Verbindungsstrecken) und Teufenmessung (Gesenke, Schächte) im Verhältnis zu ihren auf Erfahrung beruhenden Standardabweichungen.

2.5.3 Ergebnisse

Auswertbare und nachvollziehbare Daten stehen der DBE erst mit der Messung 1979 zur Verfügung, so daß erst ab diesem Zeitpunkt eine umfassende Auswertung mit dem vorgenannten Verfahren vorgenommen werden konnte. Die Messungen im Zeitraum 1979-1994 (altes Netz) und 1994-1997 (neues Netz) werden getrennt betrachtet, da sich die Punktvermarkung erheblich und die Netzkonfiguration teilweise geändert hat, was n.U. einen Einfluß auf die Ergebnisse haben kann.

Für die Lagerung des Netzes wurden folgende Meßpunkte ausgewählt, die im alten bzw. neuen Netz auf den einzelnen Sohlen in unterschiedlichen Feldesteilen ausgewählt wurden; lediglich auf der 1. Sohle Bartensleben ist die Lage fast identisch:

Punktnummer altes Netz	Punktnummer neues Netz	Ort
500420	2071270	360-m-Sohle Marie, 3. Südstrecke bzw. Ostquerschlag
100300	2090380	1. Sohle Bartensleben, Nordstrecke
200170	2120520	2. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag bzw. 2. nördliche Richtstrecke
300460	2150580	3. Sohle Bartensleben, 2. Querschlag SE-Feld bzw. nördliche Verbindungsstrecke
400160	2170510	4. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag bzw. Nordstrecke

Alle Punkte liegen in Streckenabschnitten, in denen Hauptanhydrit (z3HA) ansteht. Nur der Punkt im alten Netz für den Grubenteil Marie befindet sich im Steinsalz. A priori besitzen die Lagerungspunkte keine Geschwindigkeiten, sondern lediglich ein Systemrauschen von $\pm 0,75$ mm.

Als signifikante Punktbewegungen werden die zweifache (95%) bis dreifache (99% Sicherheitswahrscheinlichkeit) Standardabweichung zugrundegelegt. Dies ergibt

- signifikante Höhenänderungen ab $\pm 2,0$ mm im alten Netz,
- signifikante Höhenänderungen ab $\pm 1,5$ mm im neuen Netz,
- signifikante Geschwindigkeiten ab $\pm 0,3$ mm/a im alten Netz und
- signifikante Geschwindigkeiten ab $\pm 0,5$ mm/a im neuen Netz

Neben den Randbedingungen der unterschiedlichen Punktvermarkungen und der häufig einseitigen Anschlüsse der Meßlinien geht die Anzahl der Wiederholungsmessungen in diese Werte ein.

Im folgenden wird auf die signifikanten Verformungen nach Sohlen und Grubenbereichen eingegangen. Die Ergebnisse des alten Netzes werden unter "a" und die des neuen Netzes unter "b." beschrieben. Neben der auf den Meßzeitraum bezogenen maximalen Gesamtsenkung wird auch die maximale Senkungsgeschwindigkeit mit der zugehörigen Meßepoche angegeben. Da die Senkungsgeschwindigkeit über ein Modell errechnet wird, ist ihre Aussagekraft bei nur einer oder wenigen Wiederholungsmessungen gering. Dies zeigt sich besonders in der ersten Meßepoche, bei der die Verformungsgeschwindigkeit häufig stark überschätzt wird und in den Folgeepochen i.a. einer deutlichen Korrektur unterliegt. Aus diesem Grund wird in Klammern die maximale Senkungsgeschwindigkeit der letzten Meßepoche hinzugefügt, die methodisch bedingt eine realistischere Größe darstellt.

1. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag:

- a. Die Messungen von 1987 bis 1994 wurden ausgewertet. Es treten nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung im genannten Zeitraum beträgt 6,4 mm, die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,5 mm/a (0,8 mm/a) in der Meßepoche 1989. Senkungsmaxima befinden sich im östlichen Schachtsicherheitspfeiler um das Lagerteil A zwischen dem Hauptgesenk und den Abbauen 1n und 1s, im Zentrum des östlichen Schachtsattels mit der Steinsalzabfolge des z2HS2 und z2HS3, ohne benachbarte Abbaue, und im Übergang vom östlichen Schachtsattel zur Hauptmulde, wobei ein Meßpunkt noch im z2HS3 des östlichen Schachtsattels, ein weiterer im Hauptanhydrit

z3HA und ein dritter im Brückenfeld der westlichen Zugänge zu den Abbauen 2n und 2s im z3LS liegt.

- b. Die Messungen von 1994 bis 1997 im neuen Netz zeigen (noch) keine signifikanten Ergebnisse.

1. Sohle Bartensleben, Nordstrecke:

- a. Die Messungen von 1987 bis 1994 wurden ausgewertet. Um den Abbau 7a treten geringfügige Hebungen auf, ansonsten Senkungen, die eine maximale Gesamtsenkung von 5,8 mm erreichen. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit beträgt 1,1 mm/a (0,7 mm/a) in der Meßepoche 1988. Ein Senkungsmaximum liegt im Abbau 2n im z3OS.
- b. Im neuen Netz wird das vorgenannte Senkungsmaximum im nördlichen Abbau 2n mit einer maximalen Gesamtsenkung von 1,9 mm und einer maximalen Senkungsgeschwindigkeit von 1,4 mm/a (0,6 mm/a) in der Meßepoche 1996 ebenfalls signifikant.

1. Sohle Bartensleben, Richtstrecke Südostfeld:

- a. Die Messungen von 1987 bis 1994 wurden ausgewertet. Es werden nur Senkungen ermittelt. Die Gesamtsenkung erreicht maximal 5,1 mm bei einer maximalen Senkungsgeschwindigkeit von 1,3 mm/a (0,6 mm/a) in der Epoche 1988. Die Senkungsmaxima sind auf die Abbaue 2s, 13, 15a, 15 und 14a am Westrand der Hauptmulde im z3OS bezogen.
- b. Die Messergebnisse des neuen Netzes sind noch nicht signifikant, weisen aber eine Tendenz von Hebung auf.

2. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag (Anlage 2.5.1):

- a. Vom Schacht Bartensleben bis zum Lagerteil E wurden die Messungen von 1979 bis 1994 ausgewertet, der östliche Bereich bis in das Ostfeld hinein von 1983 bis 1994. Es wurden nur Senkungen gemessen. Lediglich der Lagerungspunkt im Hauptanhydrit z3HA westlich vom Lagerteil D weist in einem Senkungsabschnitt unvermittelt keine Bewegungen auf. Westlich vom Lagerteil E treten i. a. höhere Gesamtsenkungen von maximal 15,9 mm bei einer maximalen Senkungsgeschwindigkeit von 1,3 mm/a (1,0 mm/a) in der Meßepoche 1981 auf. Der östlich anschließende, jüngere Nivellementabschnitt erreicht maximale Senkungen von 3,8 mm mit einer maximalen Senkungsgeschwindigkeit von 0,4 mm/a (0,3 mm/a) in den Meßepochen 1984-1987 und

1990. Hier fällt ein einzelner Meßpunkt (200640) auf, der mit seinen Werten eher in den westlichen Nivellementabschnitt paßt (Meßzeitraum 1979-1994, Gesamtsenkung 15,6 mm, maximale Geschwindigkeit 1,2 mm/a) und im Hauptanhydrit (z3HA) der Westflanke der Ostrmulde installiert wurde. Zwischen dem Schachtbereich und dem Lagerteil D ist der Durchbauungsgrad relativ hoch, so daß die höheren Senkungswerte i.w. diesem Umstand zugeschrieben werden können. Die Maximalsenkungen liegen in der Hauptmulde in den Brückenfeldern der Abbaue 2n/2s und 4n/4s mit dem Ostquerschlag.

- b. Im neuen Netz konnten wegen Nachrißarbeiten in der Strecke und Montagearbeiten an den Meßbolzen zu den Meßepochen 1996 und 1997 nur die Meßpunkte im Sicherheitspfeiler zu allen Meßepochen gemessen werden. Mit 2,4 mm Senkungen ist nur ein Punkt in dem Zeitraum 1994 bis 1997 signifikant.

2. Sohle Bartensleben, 2. nördliche Richtstrecke:

- a. Die Messungen von 1984 bis 1994 wurden ausgewertet. Es treten nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 10,1 mm, die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,4 mm/a (1,0 mm/a) in der Meßepoche 1985. Die größeren Senkungen erfolgen in den Abbauen 2n und 1a, kleinere Nebenmaxima liegen beim Durchgang durch die Abbaue 7 und 3.

2. Sohle Bartensleben, (1. südliche) Richtstrecke:

- a. Die Messungen von 1984 bis 1994 wurden ausgewertet. Nur Senkungen wurden ermittelt. Die maximale Gesamtsenkung beträgt 11,2 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,1 mm/a in den Meßepochen 1987 bis 1994. Das Maximum der Senkungen liegt im Streckenabschnitt im östlichen Schachtsattel im z2HS3 in einem Bereich mit geringem Durchbauungsgrad. Etwas höhere Senkungswerte besitzen auch die Nivellementpunkte im südöstlichen Streckenabschnitt parallel zum Abbau 11s.
- b. Die Messungen von 1994 bis 1997 im neuen Netz bestätigen die vorgenannten Feststellungen, wobei maximale Gesamtsenkungen von 2,8 mm erreicht werden und maximale Senkungsgeschwindigkeiten von 1,4 mm/a (1,0 mm/a) in der Meßepoche 1995.

2. Sohle Bartensleben, 1. nördliche Richtstrecke (Verbindungsstrecke nach Marie):

- b. Die Messungen 1994 bis 1997 wurden ausgewertet. Es treten nur Senkungen auf, die im Gesamtmaximum 5,0 mm erreichen und eine maximale Senkungsgeschwindigkeit von 2,2 mm/a (1,7 mm/a) in der Epoche 1995 aufweisen. Die deutlicheren Senkungen umfassen den Abschnitt, in der die Verbindungsstrecke im z2HS2 und z2HS3 steht, weitere Grubenbaue sind in der Umgebung dieser Strecke nicht vorhanden. Sie wurde in den Jahren 1988 bis 1990 aufgefahren.

3. Sohle Bartensleben, Westquerschlag und Ostquerschlag:

- a. Die Messungen 1986 bis 1994 wurden ausgewertet. Abgesehen von den westlichen Meßpunkten vom Schacht bis zum Abbau 1, in denen bis 1989 auch geringfügige Hebungen gemessen wurden, treten nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 4,8 mm, die maximale Senkungsgeschwindigkeit 0,8 mm/a in der Meßepoche 1994. Es haben sich drei Senkungsmaxima ausgebildet. Das erste befindet sich unmittelbar westlich des durchbauten Lagerteils B, das zweite auf der Ostseite des östlichen Schachtsattels im z2HS2 und das dritte im Zentralteil im Brückenfeld der Zugänge zu den Abbauen 2n/2s.
- b. Die Messungen der Jahre 1994 bis 1997 erreichen maximale Gesamtsenkungen von 2,8 mm und maximale Senkungsgeschwindigkeiten von 1,1 mm/a in der Meßepoche 1997. Das Senkungsmaximum scheint sich hier im Bereich des Schachtes Bartensleben, der im z2HS3 steht, auszubilden. In der Meßepoche 1997 konnten nur die westlichen und östlichsten Abschnitte gemessen werden, da in den übrigen Bereichen Sanierungsarbeiten durchgeführt wurden.

3. Sohle Bartensleben, I. nördliche Richtstrecke und Fluchtweg nach Marie

- a. Die Messungen 1987 bis 1994 wurden ausgewertet. Es werden nur Senkungen ermittelt. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 7,3 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit beträgt 1,2 mm/a (0,9 mm/a) in der Meßepoche 1988. Neben einem kleineren Senkungsbereich noch im Schachtsicherheitspfeiler Bartensleben im z2HS3, ist die Hauptsenkungszone weiter nördlich im östlichen Schachtsattel zwischen den Grubenteilen Bartensleben und Marie, ebenfalls im z2HS3.
- b. Die Messungen im neuen Netz ergeben Hebungen und Senkungen. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 1,9 mm bei einer maximalen Senkungsgeschwindigkeit von 0,7 mm/a in den Meßepochen 1995 und 1997 und einer maximalen Hebungsgeschwindigkeit von 0,5 mm/a in der Meßepoche 1996.

geschwindigkeit von 0,8 mm/a in der Meßepoche 1995. Das Verformungsprofil entlang der Strecke ist noch wenig differenziert.

3. Sohle Bartensleben, 2. nördliche Richtstrecke und Verbindungsstrecke zur 1. nördlichen Richtstrecke:

- a. Die Messungen 1986 bis 1994 in der nördlichen Richtstrecke wurden ausgewertet. Es wurden hier nur Senkungen gemessen. Die maximale Gesamtsenkung beträgt 4,2 mm, die maximale Senkungsgeschwindigkeit 0,9 mm/a (0,4 mm/a) in der Meßepoche 1989. Für die Verbindungsstrecke wurden die Messungen 1987 bis 1994 ausgewertet, wobei die maximale Gesamtsenkung 5,7 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,1 mm/a (0,7 mm/a) in der Meßepoche 1989 erreicht. Die Senkungen in der 2. nördlichen Richtstrecke sind relativ gleichmäßig, während in der Verbindungsstrecke ein Meßpunkt im Kaliflöz Staßfurt (z3SF) den vorgenannten höheren Wert aufweist.

3. Sohle Bartensleben, 1. südliche Richtstrecke und 2. Querschlag:

- a. Die Messungen 1986 bis 1994 wurden ausgewertet. Nach anfänglichen geringen Hebungen setzen sich überall Senkungen durch. Die maximale Gesamtsenkung beträgt am Ostquerschlag (Zentralbereich) 5,1 mm mit einer maximalen Senkungsgeschwindigkeit von 0,8 mm/a (0,6 mm/a) in der Meßepoche 1990, im Bereich der Richtstrecke selbst werden maximale Gesamtsenkungen von 2,3 mm mit maximalen Senkungsgeschwindigkeiten von 0,6 mm/a in der Meßepoche 1987 erreicht. Das erste Senkungsmaximum befindet sich im Zugang zum Abbau 2s, der zweite etwas deutlichere Senkungsbereich verläuft durch die Abbaue 13a, 14 und 15s im z3BK-BD.
- b. Im neuen Netz werden 1995 überwiegend Hebungen von bis zu maximal 3,5 mm gemessen, die in den beiden Folgemeßepochen etwas reduziert werden. Die maximale Hebungsgeschwindigkeit beträgt 4,2 mm/a (0,4 mm/a) in der Meßepoche 1995. Ausgehend vom Ostquerschlag bis in den 2. Querschlag im Südostfeld hinein ist eine Zunahme der Hebungen feststellbar. Auf den höhergelegenen Sohlen sind keine nennenswerten Hohlräume vorhanden, die eine Fließbewegung ins Hangende verursachen könnten. Eine ungünstige Fehlerfortpflanzung in diesen langen, einseitig angeschlossenen Schenkel des Nivellements ist dagegen nicht auszuschließen und muß als primäre Ursache bei der Interpretation des Ergebnisses angesehen werden. Die

Verminderung der Hebungswerte im Laufe der Meßepochen unterstützt diese Sichtweise.

4. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag (Anlagen 2.5.2 und 2.5.3):

- a. Die ausgewerteten Messungen sind in ihrem Meßumfang zweigeteilt. Der Abschnitt vom Schacht Bartensleben bis zum UM-Feld liegt von 1981 bis 1994 bearbeitet vor, weiter östlich bis in das Ostfeld hinein wurden die Meßepochen 1982 bis 1994 ausgewertet. Es treten nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 25,5 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,9 mm/a (1,8 mm/a) in den Meßepochen 1985 bis 1989 und 1993. Insgesamt haben sich 4 Senkungsmaxima ausgebildet. Das erste liegt mit einer Gesamtsenkung von 11,0 mm nahe dem Schacht im östlichen Brückenfeld der Schachtumfahrung im z2HS3. Das zweite mit 25,5 mm befindet sich im Kreuzungspunkt des Ostquerschlags mit dem durchbauten Lagerteil B; obwohl hier spezielle petrographische und bergbauliche Bedingungen als erklärende Ursache vorliegen, handelt es sich doch um ein singuläres Ereignis, das aus seiner Umgebung mit Werten von 5 mm bzw. 10 mm herausfällt und deshalb nicht überbewertet werden sollte. Das dritte Senkungsmaximum mit 10,7 mm fällt mit dem flächiger abgebauten Lagerteil C zusammen, an dem auch Schichten des z2HG-UE beteiligt sind und der vierte, breitere Senkungsbereich mit einer maximalen Gesamtsenkung von 18,2 mm umfaßt den Ostsattel mit den Schichten des z2HS2 und z2HS3. Hier sind zusätzlich die Hohlräume des Flachen 2, des UMF und des Ortes 17YER42 zu berücksichtigen, die aber volumenmäßig einen geringeren Durchbauungsgrad darstellen.
- b. Im neuen Netz werden sowohl Senkungen als auch geringere Hebungen ermittelt. Die maximale Gesamtsenkung beträgt 5,2 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 3,0 mm/a (1,8 mm/a) in der Meßepoche 1995. Das Senkungsmaximum liegt wiederum am Schacht Bartensleben, dieses Mal aber westlich der Schachtröhre.

4 Sohle Bartensleben, Nordstrecke:

- a. Die Messungen 1983 bis 1994 wurden ausgewertet. Es treten nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 5,2 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 0,6 mm/a (0,4 mm/a) in den Meßepochen 1984 und 1985. Das Senkungsmaximum befindet sich nahe dem Ostquerschlag im Zentralbereich.

4. Sohle Bartensleben, 1. südliche Richtstrecke (Südstrecke) (Anlage 2.5.4):

- a. Die Messungen 1982 bis 1994 wurden ausgewertet. Abgesehen von den ersten zwei Meßepochen mit sehr geringen Hebungen an einigen Meßpunkten sind nur Senkungen eingetreten. Die maximale Gesamtsenkung beträgt 19,0 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,8 mm/a (1,5 mm/a) in der Meßepoche 1987. Ein untergeordnetes Senkungsmaximum mit 7,1 mm befindet sich im Beginn der Südstrecke in den Brückenfeldern zu den Abgängen zur parallel verlaufenden Werkstatt im z3OS. Der Hauptsenkungsbereich mit drei Senkungsspitzen wurde zwischen den Abzweigungen zur Versturzstrecke bis ca. 50 m nördlich der Verbindungsstrecke zwischen der Südstrecke und dem Lagerteil B ermittelt. Im Osten wird dieser Streckenabschnitt durch die bis fast auf das Niveau der 4. Sohle gestrossten Abbaue 8s, 9n und 9s der 4a-Sohle und im Liegenden durch die Einlagerungskammern 1, 2 und 3 der 5a-Sohle begleitet. Die weniger stark abgesenkten Meßpunkte zwischen den Senkungsspitzen bezeichnen die Pfeilerabschnitte zwischen den Abbauen sowohl der 4a- als auch der 5a-Sohle, die dem System eine höhere Steifigkeit verleihen. Stratigraphisch liegt der Senkungsabschnitt im z3OS-BK-BD.
- b. Die Messungen 1994 bis 1997 weisen die gleichen Trends auf wie die älteren Messungen. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 4,4 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 2,7 mm/a (1,4 mm/a) in der Meßepoche 1995. Die Lage der Senkungsmaxima stimmt mit den vorgenannten überein.

4. Sohle Bartensleben, 2. südliche Richtstrecke und 2. Querschlag:

- a. Die Messungen 1984 bis 1994 wurden ausgewertet. Es treten bis auf wenige Ausnahmen in den ersten Meßepochen nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 4,5 mm, die maximale Senkungsgeschwindigkeit 0,9 mm/a (0,4 mm/a) in der Meßepoche 1985.
- b. Die maximale Gesamtsenkung im neuen Netz beträgt 2,8 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 3,2 mm/a (0,8 mm/a) in der Meßepoche 1995.

360-m-Sohle Marie, Nordstrecke und Südstrecke:

- a. In der Südstrecke wurden die Messungen von 1981 bis 1994 ausgewertet, in der Nordstrecke von 1982 bis 1994. Einzelne Punkte wurden 1988 ergänzt. Von einer Ausnahme in der ersten Meßepoche abgesehen, wurden nur Senkungen ermittelt. Die

maximale Gesamtsenkung beträgt 17,7 mm, die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,8 mm/a (1,2 mm/a) in der Meßepoche 1985. Ein ungewöhnliches Verhalten weist der Meßpunkt 500120 / 500121 auf (falls kein Meß- oder Auswertefehler vorliegt), der unmittelbar nördlich am Schacht Marie gelegen ist. Im Zeitraum von 1981 bis 1985 erfährt dieser Punkt eine Hebung von 12,2 mm mit einer maximalen Hebungsgeschwindigkeit von 3,2 mm/a in den Meßepochen 1983 und 1984. 1988 wird der Meßpunkt ersetzt und weist nun Senkungen bis 1994 von 8,3 mm aus bei maximalen Senkungsgeschwindigkeiten von 1,5 mm/a (1,2 mm/a) in der Meßepoche 1989. Eine Ursache für diese Bewegungsumkehrung ist nicht bekannt. Die Senkungen in der Süd- und Nordstrecke liegen in weiten Bereichen zwischen knapp 4 mm und gut 9 mm. Ab dem 1. Nordquerschlag nehmen die Senkungen nach Norden hin zu und verdoppeln sich. Da von dem Durchbauungsgrad und auch von der Anlage der Strecke im z2HS2 und z2HS3 gegenüber dem südlichen Teil keine großen Unterschiede bestehen, ist für die Senkungszunahme u.U. eine auswertetechnische Ursache anzunehmen. Durch fehlende Nivellementschleifen im alten Netz des Grubenteils Marie kann eine ungünstige Fehlerfortpflanzung erfolgen. Das alte Netz endete im Norden am 2. Nordquerschlag.

- b. Das neue Netz wurde nach Norden bis zum 4. Nordquerschlag erweitert. Die maximale Gesamtsenkung beträgt 3,9 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,4 mm/a in der Meßepoche 1997.

360-m-Sohle Marie, 2. Nordquerschlag (Lager H) und Westquerschlag und 1. Südquerschlag (Bunte Firste):

- a. Die Messungen 1981 / 1982 bis 1994 wurden ausgewertet. Es treten sowohl Hebungen als auch Senkungen auf. Diese sind, abgesehen von den Anschlüssen an die Süd- bzw. Nordstrecke, nicht signifikant.
- b. Auch die Ergebnisse im neuen Netz sind noch nicht signifikant. Lediglich der westliche Teil des 2. Nordquerschlages, der gegenüber dem alten Netz erweitert wurde, weist maximale Gesamtsenkungen von 3,5 mm und maximale Senkungsgeschwindigkeiten von 1,3 mm/a in der Meßepochen 1997 auf. Das Senkungsmaximum liegt an einem Brückenfeld sich kreuzender Strecken.

360-m-Sohle Marie, 1. Südstrecke:

- b. Abgesehen von geringen Hebungen in der ersten Meßepoche treten nur Senkungen auf. Die maximale Gesamtsenkung erreicht 2,3 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 0,8 mm in allen drei Wiederholungsmessungen.

360-m-Sohle Marie, West- und Ostquerschlag (Anlage 2.5.5):

- b In der ersten Meßepoche treten bereichsweise geringe Hebungen auf. In den Folgeepochen werden nur Senkungen ermittelt. Die maximale Gesamtsenkung beträgt 4,4 mm und die maximale Senkungsgeschwindigkeit 1,6 mm/a (1,5 mm/a) in der Meßepoche 1996. Der Bereich der deutlicheren Senkungen umfaßt die Umgebung des Schachts Marie. Hier ist das Nivellement vom Westquerschlag kommend über die nördliche Umfahrung in den Ostquerschlag geführt worden. Die Senkungsspitzen liegen in der Streckeneinmündung des Westquerschlages zum Schacht und dem großen Brückenfeld des Ostquerschlages mit der Schachtumfahrung.

Die vorgenannten Zahlen stellen Maximalwerte in den jeweiligen Grubenbereichen dar. Höhenänderungen in vergleichbaren Positionen auf den vier Hauptsohlen im Grubengebäude Bartensleben werden in Tabelle 2.5.1 dargestellt. Dort sind Meßpunkte im Zentrum des östlichen Schachtsattels im Ostquerschlag (z2HS), in der Hauptmulde im Ostquerschlag (Zentralbereich, aber außerhalb von Brückenfeldern, z3OS-BD), in der Hauptmulde in der Nordstrecke (Nordfeld, außerhalb von Abbauen, z3LS-BD) und in der Hauptmulde in der 1. bzw. 2. südlichen Richtstrecke (Südostfeld, außerhalb von Abbauen, z3LS-BD) aufgeführt. Dabei werden die Ergebnisse unmittelbar benachbarter Punkte sowohl des alten als auch des neuen Netzes ungeachtet ihrer Signifikanz dargestellt. Aus den Daten ist ersichtlich, daß i.a. ein wesentlich niedrigeres Verformungsniveau aus dem Nivellement abzuleiten ist als von der vorangegangenen Zusammenstellung her vermutet werden könnte. Während sich im alten Netz weitgehend Senkungen durchgesetzt haben, sind im neuen Netz noch häufiger Hebungen anzutreffen. Dies ist vermutlich auf die bereits oben erwähnte ungünstige Netzkonfiguration, aber auch auf die im Verhältnis zu den geringen Verformungen noch zu kurze Meßzeit zurückzuführen. Damit wird deutlich, daß die Interpretation von nichtsignifikanten Meßwerten und kurzen Meßreihen für sich allein zu falschen Bewertungen führen kann.

Die Größe der Verformungen kann von einer Reihe von Einflußfaktoren bestimmt sein. Neben den Unsicherheiten aus der Netzkonfiguration, der Messung selbst und dem Auswerteverfahren, zu deren Einschätzung die Angabe von Signifikanzgrenzen dient, sind folgende Ursachen denkbar:

- Mechanisch-physikalische Gesteins- und Gebirgseigenschaften,
- Bergbaulicher Durchbauungsgrad,
- Überlagerungsdruck,
- Geologische Umgebungssituation,
- Gebirgsdurchfeuchtung,
- Bergtechnische Ausbaumaßnahmen.

Aus den in der Tab. 2.5.1 wiedergegebenen Daten der Ostquerschläge mit den an diesen Lokationen relativ hohen Durchbauungsgraden könnte der Schluß gezogen werden, daß die Teufe die entscheidende Rolle für die Verformungen spielt. Man stellt in der Tendenz fest, daß mit abnehmender Teufe die Verformungsrate über alle Sohlenniveaus zunehmen würde. Im Bereich des östlichen Schachtsattels ist jedoch der Einfluß des Kriechverhaltens des Hauptsalzes (z2HS) zu berücksichtigen, das mit zunehmender Beanspruchung in der geologischen Vergangenheit ein geringeres Kriechvermögen aufweist [13]. Durch die Verengung des östlichen Schachtsattels mit der Teufe ist eine solche Beanspruchung zu unterstellen und eine Verminderung der Verformungen auch deshalb anzunehmen (s.u.). Im benachbarten Abschnitt des Ostquerschlags in der Hauptmulde spießt aus der Teufe ein Anhydritsattel in den Bereich der 4. und 3. Sohle hoch, der eine aussteifende Wirkung aufgrund seiner als nicht fließfähig anzusetzenden Materialeigenschaften hat und dadurch eine zusätzliche Verformungsreduktion hervorrufen kann. Die Beispiele sollen aufzeigen, daß im Einzelnen eine vollständige Interpretation und die Differenzierung des Umfanges der jeweiligen Beeinflussung nicht oder nur schwer durchgeführt werden kann. Die nachfolgende Bewertung beruht daher auf einer integrativen Betrachtung der komplexen Gegebenheiten.

2.5.4 Bewertung

Erstmals seit Beginn der Messung des untertägigen Nivellements auf der Schachtanlage Morsleben liegt eine zusammenhängende Auswertung der Meßergebnisse vor. Die zeitliche Einschränkung der Meßreihe, die seit dem Jahr 1979 ausgewertet wurde und damit knapp

10 Jahre an Meßergebnissen nicht berücksichtigen konnte, ist nicht auf das neue Auswerteverfahren zurückzuführen, sondern auf die Qualität der zur Verfügung stehenden Datendokumentation. Der Umfang dieses "Verlustes" ist jedoch sehr gering, da nur die Strecken des Ostquerschlages auf der 2. und auf der 4. Sohle im Grubenteil Bartensleben sowie die Südstrecke und der Südquerschlag im Grubenteil Marie betroffen sind.

Räumlich hat in den achtziger und nochmals in der ersten Hälfte der neunziger Jahre eine umfangreiche Erweiterung des Meßnetzes stattgefunden. Dadurch wurden weite Bereiche der zugänglichen Grubenbaue erfaßt und den Anforderungen einer Optimierung der Meßkontrolle Rechnung getragen. Leitgedanken vor allem der letzten Änderungen, die zu dem jetzt vorliegenden Meßnetz führten, waren eine umfassende, zusammenhängende Überwachung der Verformungen auf der Schachanlage und die Ermittlung des Verformungsverhaltens des Gebirges aufgrund seines Materialverhaltens in seiner geologischen und bergbaulichen Umgebung.

Die Auswertung im alten Netz (ca. 1979/1984 bis 1994) zeigt aufgrund der Meßdauer bisher die deutlicheren Verformungsmuster. Diese werden in der Tendenz i. a. im neuen Netz (1994 bis 1997) bestätigt, sind hier aber häufig noch nicht signifikant. Aus den Messungen lassen sich derzeit folgende allgemeine Schlüsse ziehen:

- Relative Verformungsmaxima (i.d.R. Senkungen) treten in Bereichen höheren Durchbauungsgrades und an Brückenfeldern auf. Hier sind der Zentralbereich in der Hauptmulde, die Umgebung der Schächte und die 1. südliche Richtstrecke der 4. Sohle Bartensleben zu nennen. Weitere Bereiche sind die Nivellementabschnitte, die im Nord- und Südostfeld durch oder neben Abbauen verlaufen.
- Durch Senkung etwas auffällige Bereiche sind Streckenabschnitte, die im Hauptsalz der Staßfurtfolge (z2HS) angelegt wurden. Durch Verformungen bei geringem Durchbauungsgrad machen sie auf sich aufmerksam. Dies trifft für die Verbindungsstrecken zwischen Bartensleben und Marie, Strecken im östlichen Schachtsattel, die Umgebung des Schachtes Bartensleben sowie mit Einschränkungen auf die Umgebung des Schachtes Marie und den Ostsattel (4. Sohle Ostquerschlag) zu. Die Laboruntersuchungen zum Kriechverhalten der Salzgesteine im ERA Morsleben [13] weisen für das Hauptsalz grundsätzlich ein gutes Kriechvermögen aus und erklären damit die höheren Verformungen in dieser geologischen Formation. Für Bereiche mit einer hohen tektonischen Vorbeanspruchung (ausgedünnte und ausgewalzte Gesteinsbereiche)

wie in Teilen des östlichen Schachtsattels, ergeben sich geringere Kriechraten für das z2HS. Im Einzelnen muß also die jeweilige Situation im Grubengebäude berücksichtigt werden, ob das Hauptsalz durch einen "Flaschenhals" gezwängt wurde oder Platz in einem breiteren Sattel einnehmen konnte.

- Die Muldenstrukturen im Grubenteil Bartensleben sind vor allem durch Hohlräume im Orange- und Bank-/Bändersalz erschlossen, das das Ziel der Mineralgewinnung war. Dieses Salz besitzt i.a. ein eher mäßiges Kriechvermögen [13], so daß aus dem Material selbst keine erhöhten Verformungen zu erwarten sind. Dies entspricht weitgehend den Nivellementbeobachtungen.
- Punktuell treten Meßpunkte mit z.T. erheblichen Senkungen hervor, die beim alten Netz im Kaliflöz Staßfurt (z2SF) eingerichtet wurden. Im neuen Netz wurden keine Nivellementbolzen im z2SF installiert, sofern sie nicht speziell als Konvergenzstation ausgewiesen wurden. Carnallitgestein als auch sylvinitisches Hartsalz besitzen gute bis sehr gut Kriecheigenschaften, kieseritisches Hartsalz dagegen weniger gute [13]. Die Laborbefunde stimmen mit den Ergebnissen des Nivellements in den eng begrenzten Abschnitten der Kalilager überein.
- Entsprechend den Erwartungen tritt der Hauptanhydrit weniger durch Verformungen in Erscheinung, obwohl auch er nicht verformungslos ist. An zwei Stellen im Meßnetz ist er auch an Senkungsmaxima beteiligt.
- Die maximalen Senkungsgeschwindigkeiten in den einzelnen Nivellementabschnitten lassen sich besonderen Bedingungen zuordnen und sind damit plausibel zu erklären. In Tab. 2.5.2 sind die mittleren maximalen Senkungsgeschwindigkeiten zusammengestellt. Die Werte ergeben sich aus den signifikanten maximalen Gesamtverformungen dividiert durch die Anzahl der Meßepochen. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit beträgt danach 1,94 mm/a. Diese Werte stimmen gut mit den sich langfristig einstellenden Werten aus dem Filter-Auswerteverfahren überein. Auch der Vergleich zwischen dem alten und dem neuen Netz ergibt i.a. eine gute Übereinstimmung, die für mehr zufällig gewählte Punkte (Tab. 2.5.1) noch nicht so befriedigend ausfällt.
- Einen Hinweis darauf, daß die unterschiedliche Vermarkungsart im alten und neuen Netz grundsätzlich zu anderen Ergebnissen führt, ist bisher nicht zu erkennen. Der Einfluß von Schalenbildung in der nahen Streckenkontur auf die Meßpunkte, scheint damit gering zu sein.
- Die Bereiche des Abbaus 1a auf der 1. Sohle Bartensleben, des Lagers H und der Bunten Firste im Grubenteil Marie sind im untertägigen Nivellement unauffällig.

Die Erfahrung des Grubenbetriebes, daß abgesehen von einzelnen begrenzten Bereichen nur geringe Deformationen in den untertägigen Hohlräumen ablaufen, wird durch die Auswertung des untertägigen Nivellements bestätigt und mit Zahlen untermauert. Das Filter-Auswerteverfahren ist in besonderer Weise dazu geeignet, die heterogenen Ausgangsdaten und -bedingungen zu einem plausiblen Verformungsbild zusammenzufügen. Die richtige Einschätzung des vorliegenden Datenmaterials und seiner Aufbereitung (z.B. Wichtung, Lagerung) darf dabei aber nicht aus dem Auge gelassen werden und scheint hier gelungen zu sein. Sie ist wichtig für die Aussagegenauigkeit und bildet die Grundlage, um längerfristige Verformungsprognosen abgeben zu können und frühzeitig höher belastete Grubenbereiche zu identifizieren.

Die aus mehr formalen Gründen durchgeführte Trennung in ein altes und ein neues Netz erweist sich für die Bewertung als ein Vorteil, weil dadurch eine Grundlage geschaffen wurde, an der ein optimiertes Meßnetz mit moderner Meßtechnik überprüft werden kann. Obwohl die Verformungen über weite Grubenbereiche auch für dieses Meß- und Auswerteverfahren zu gering sind, um Aussagen zu erhalten, sind die signifikanten Ergebnisse gut interpretierbar und vertrauenswürdig. Dem statistischen Ansatz entsprechend sollten für 1998 und 1999 noch jährliche Messungen erfolgen, um die Aussagestabilität im neuen Netz zu erhöhen, bevor eine grundsätzliche Entscheidung über eine Verlängerung des Meßrhythmus getroffen wird. Eine solche Verlängerung scheint aufgrund der vorliegenden Ergebnisse möglich zu sein, muß aber dem Aspekt der Überwachung des Grubengebäudes, speziell des Zentralteils, Rechnung tragen.

2.6 Übertägige Höhenmessungen

Am Standort Morsleben werden seit 1970 übertägige Höhenmessungen durchgeführt. Die Historie dieser Nivellements ist in [14], [15], [11] und [2] beschrieben. Daraus lassen sich 4 Zeitabschnitte definieren, in denen die Meßnetze und das Meßverfahren für sich weitgehend identisch waren. Das heutige Netz wurde 1991 / 1992 errichtet und 1992 die Nullmessung durchgeführt. Es umfaßt ca. 325 Meßpunkte auf einer Fläche von ca. 40 km² und eine Linienlänge von ca. 91 km. Durch verschiedene Ursachen (Beschädigungen, Unzugänglichkeit, Abriß) sind bis 1997 im neuen Netz ca. 20 Meßpunkte verlorengegangen.

Auch die Verfügbarkeit und Dokumentation der Meßdaten über die gesamte Meßzeit ist sehr heterogen, wobei die Unsicherheit in dem Material mit zunehmendem Alter wächst. Teilweise standen der DBE nur prozessierte und keine Ausgangsdaten zur Verfügung, die für eine vertrauenswürdige Auswertung notwendig gewesen wären. So sind erst die Daten ab der Messung 1979 belastbar. Aber auch hier gibt es noch deutliche Unterschiede in der Qualität der Meßverfahren und ihrer Ergebnisse.

All diesen Unwägbarkeiten mußte ein Auswerteverfahren Rechnung tragen können, wenn es einerseits möglichst viele Meßepochen mit vergleichbaren Ergebnissen behandeln und andererseits auch belastbare Interpretationen zulassen sollte. Aufgrund seines Aufbaus war das Filter-Verfahren dazu am ehesten in der Lage.

2.6.1 Auswerteverfahren

Auf das Verfahren, dem das Kalman-Filter zugrunde liegt, wurde im vorangegangenen Kapitel 2.5 etwas ausführlicher eingegangen. Es basiert auf der Berücksichtigung der kinematischen Eigenschaften von mehrfach vermessenen Nivellementnetzen. Neben der statischen Höhenberechnung wird jedem Meßpunkt eine Bewegungskomponente zugeschrieben, die einem linearen Geschwindigkeitsansatz folgt. Hier können stochastische Gesichtspunkte einfließen, die der Vertrauenswürdigkeit der jeweiligen Messung entsprechen. Durch Wichtungen und statistische Betrachtungen kann jedem Meßpunkt, jeder Meßepoche und jedem Meßverfahren ein Vertrauensniveau zugeordnet werden, was

zu einer Gesamtsignifikanz der Aussage beiträgt. Mit zunehmendem Meßumfang nimmt i.a. die Belastbarkeit der Ergebnisse zu. Meßepochen, die sich nicht in das zeitliche Gesamtbild einfügen, schlagen dann in das Gesamtergebnis weniger durch. Bei wenigen Meßepochen mit größerem Einfluß der Einzelepoch auf das Gesamtergebnis wurde die Nullmessung gestärkt, indem die eigentliche Nullmessung und die erste Wiederholungsmessung gemittelt wurden. Für die vorliegende Auswertung erfolgte dies bei den Meßepochen 1983 und 1984 sowie 1992 und 1993.

Aufgrund von Vorauswertungen zeigten sich zwischen den Messungen 1981 und 1983 größere Sprünge in den Höhenunterschieden, die durch nicht mehr korrigierbare Punktverwechslungen in dem zu diesem Zeitpunkt neu angelegten Netz entstanden sein können. Die Auswertung mußte daher in zwei Blöcken für die Zeiträume 1979 bis 1983 und 1983 bis 1995 zerlegt werden. Zusätzlich wurde das neueste Netz seit 1992 für sich allein ausgewertet, da es eine vor allem auch für die Zukunft homogene Einheit bildet.

Unter dem Aspekt, daß a priori kein stabiler Punkt in dem Höhennetz bekannt ist und über längere Zeit davon auszugehen ist, daß alle Meßpunkte Bewegungen ausgesetzt sein werden, wird das gesamte Netz auf mehreren Punkten gelagert. Diese Datumspunkte sollten von ihrer Anlage her möglichst stabil sein, nur geringen Eigenbewegungen unterliegen und weitgehend verteilt im Meßgebiet liegen. Den Datumspunkten wird eine Punktunruhe von 0,2 mm je Meßepoche als Höhenänderung zugewiesen, jedoch keine Geschwindigkeit als Ausdruck der langfristigen Quasi-Stabilität. Mit einer Punktgruppe kann eine gegenseitige Kontrolle der einzelnen Datumspunkte erfolgen und der Einfluß individueller Störungseinflüsse minimiert werden. Durch einen Ausgleich werden alle Punkte des Höhennetzes frei auf diesen Datumspunkten gelagert. Die Zuweisung einer absoluten Höhe erfolgt über die Anbindung an einen Höhenfestpunkt, der aus dem staatlichen Nivellementnetz stammt.

Für die Meßepochen 1979 bis 1983 konnten, basierend auf den vorgenannten Kriterien für die Datumspunkte, nur 2 Meßpunkte für die Lagerung ausgewählt werden. Dem Meßzeitraum von 1983 bis 1992 liegen 26 Datumspunkte zugrunde, wobei westlich des Grubengebäudes wegen zu starker Bewegungen keine Meßpunkte benutzt werden konnten. Die Lagerung des Netzes von 1993 bis 1997 erfolgt auf 9 Datumspunkten. Das ist eine Änderung, die sich aus der Neukonfiguration des Meßnetzes mit einer Reduzierung im

Osten und einer Erweiterung im Westen und Süden ergibt; auch hier wurde die stärkere Bodenunruhe im westlichen Meßgebiet berücksichtigt.

Der Anschluß an die absolute Höhe erfolgte bis 1992 über den Meßpunkt 4803, der in einem ehemaligen kleinen Steinbruch in Kalkstein liegt und eine Höhe von 160,586 mNN besitzt. Durch Benutzung des Steinbruchs als Schuttkippe wurde dieser Meßpunkt fast verschüttet und ist nur noch schwer einzumessen. Aus diesem Grunde wird für den Anschluß des Höhennetzes ab 1993 der Meßpunkt 3009 mit einer Höhe von 163,289 mNN benutzt.

2.6.2 Ergebnisse

Für den separat ausgewerteten Meßzeitraum 1979 bis 1983 liegen nur 3 Wiederholungsmessungen vor, wobei in der Meßepoche 1983 häufig ein auffälliger Sprung in Richtung Hebung zu verzeichnen ist. Die geringe Anzahl von Messungen erlaubt nur Aussagen mit beschränkter Belastbarkeit. Aus diesem Grund wird auf diese Ergebnisse im einzelnen nicht eingegangen. Auch in den folgenden Meßepochen ist der Umfang der Wiederholungsmessungen an allen Einzelpunkten i.a. eingeschränkt. In den 10 Meßepochen von 1983 bis 1995 konnten in 5 Epochen lediglich 53% aller Höhenfestpunkte und in 8 Epochen nur 27 % durchgängig beobachtet werden. In absoluten Zahlen ausgedrückt wurden von 1979 bis 1997 nur 8 Punkte in jeder Meßepoche beobachtet (Festpunktnetz 1981: 51 Punkte), während es von 1983 bis 1997 bereits 105 Punkte waren (Festpunktnetz 1983/1992: 320/325 Punkte). Diese Einschränkungen schlagen sich in der Genauigkeit der Ergebnisse nieder. Für die älteren Messungen bis 1992 ergeben sich Genauigkeiten der berechneten Höhenänderungen von ± 2 mm bis ± 3 mm, in Gebieten mit stärkeren Bodenbewegungen bis ± 4 mm. Als Schwellenwerte für mögliche signifikante Verformungen werden Höhenänderungen von ± 2 mm und Geschwindigkeiten von $\pm 0,3$ mm/a angesetzt. Im neuen Netz der Meßepochen 1993 bis 1997 liegen die Standardabweichungen für die mittlere Höhenänderung bei $\pm 1,2$ mm und für die ausgeglichenen Geschwindigkeiten bei $\pm 0,3$ mm/a.

Für das neue Netz liegen mit den Meßepochen 1995 und 1997 nur zwei Folgemessungen vor. Insgesamt besitzt dieser Meßabschnitt eine höhere Genauigkeit als der vorangegangene Meßabschnitt. Die zwei Wiederholungsmessungen widersprechen sich jedoch in ihrer Trendaussage: 1995 werden gegenüber 1997 stärkere Senkungen ausgewiesen, die durch die Messung 1997 bis auf wenige Ausnahmen wieder abgeschwächt werden. Für sich allein ergibt das neue Netz noch keine Grundlage einer vergleichenden Bewertung der Meßabschnitte.

In den Anlagen 2.6.1 bis 2.6.3 sind die Zeitreihen einiger durchgehend gemessener Punkte mit Bewegungsbeträgen größer 4 mm dargestellt. Aus dieser Auswahl wird bereits deutlich, daß Bodenbewegungen mit gleichsinniger Verformung über die Jahre nur sehr selten angetroffen werden. Neben fast jährlich sich umkehrenden Bewegungen, aus denen sich im Laufe der Zeit aber ein Trend in eine Richtung entwickeln kann, sind auch Bewegungen mit länger anhaltenden Richtungszyklen erkennbar. Ersteres deutet auf die jährlich erreichte Meßgenauigkeit hin und ist in der Messung selbst begründet, während letzteres eher auf die Untergrundverhältnisse zurückzuführen ist.

Bei folgenden Meßpunkten konnten Sonderbewegungen erkannt werden, die sich aufgrund der Vermarkung in Verbindung mit dem Untergrund ergeben. Diese Punkte werden in der weiteren Bewertung nicht berücksichtigt:

- Punkt 4705 (Linie 4) ist ein Mauerbolzen am Sperrwerk der Aller. Mit knapp 40 mm über die Meßepochen 1983 bis 1997 wurden hier die maximalen Verformungen im gesamten Netz ermittelt (siehe Anlage 2.6.3). Diese sind auf Setzungen des Bauwerkes in den weichen Erdschichten der Talaue zurückzuführen.
- Punkt 5804 (Linie 16) ist ein Mauerbolzen am ehemaligen Tischlereigebäude auf dem Gelände der Tagesanlage Schacht Bartensleben. Auch wenn die eigentliche Ursache der von 1983 bis 1997 gemessenen Senkungen von ca. 24 mm nicht bekannt ist (siehe Anlage 2.6.2), so fällt dieser Wert in dem hier engen Meßgitter heraus. Übliche Meßwerte liegen für den gleichen Zeitraum unter 10 mm.

Das gesamte Meßnetz ist in einzelne Meßlinien aufgeteilt, die grob Nord-Süd und Ost-West verlaufen. Innerhalb dieser Linien treten Abschnitte mit größeren und kleineren Bewegungen auf, die zusammen mit Abschnitten anderer Linien Bereiche verstärkter und geringer Bodenunruhe erkennen lassen. Nivellementlinien mit größeren Verformungen im

gesamten Meßzeitraum sind vor allem die Linien 4, 5, 6 und 16 (siehe Anlagen 2.6.4 bis 2.6.6). Im südwestlichen Meßgebiet auf dem Lappwald zwischen Marienborn, westlich Morsleben und Beendorf, Bad Helmstedt und Autobahnabfahrt Helmstedt-Ost treten nach anfänglichen Hebungen von 1979 bis 1983 mit Werten bis zu 7,8 mm von 1983 bis 1992 Senkungen bis zu 20 mm auf, deren Maxima um 1990 erreicht werden. Anschließend gehen die Senkungen wieder in Hebungsbewegungen über, die die Senkungen aber noch nicht wieder aufgezehrt haben. Die Anlagen 2.6.7 und 2.6.8 mit den Höhenisolinien der Meßabschnitte 1983 bis 1995 und 1993 bis 1997 lassen die derzeitige Hebungstendenz dieses Bereiches erkennen.

Im nördlichen Lappwaldabschnitt zwischen Bad Helmstedt, westlich Beendorf und südlich Walbeck herrschten Anfang der 80-iger Jahre geringere Hebungen (kleiner 4 mm) vor, die dann in Senkungen (wenige Millimeter, punktuell bis knapp 10 mm) übergingen und schließlich wieder in Hebungen geringerer Beträge mündeten. Das Allertal bzw. die geologische Struktur des Allertalgrabens ist im Meßgebiet in 4 Abschnitte gliederbar, die u. U. auch durch die Linienführung des Nivellements akzentuiert werden. Im Süden zwischen Allingersleben und nördlich Morsleben dominieren in allen Meßzeiträumen Senkungen, die punktuell 10 mm übersteigen. Nördlich schließt sich bis zur Schachanlage Marie ein Gebiet mit überwiegenden Hebungen bis zu knapp 10 mm an (s. Punkte 21010 / 24040 / 24050 in Anlage 2.6.1). Das Gebiet zwischen Beendorf und Groß Bartensleben wird wiederum von Senkungen bestimmt, die in der Summe kaum 5 mm übersteigen. Nördlich schließen sich bei Schwanefeld geringe Hebungen an.

Die Weferlinger Triasplatte unterliegt zwischen Allingersleben und Klein Bartensleben geringen Senkungen. Nach Norden gehen sie in geringfügige Hebungen über.

Das Auswerteverfahren liefert als eine wesentliche Basisgröße die jährlichen Geschwindigkeiten der Punktbewegungen. Dadurch werden unterschiedlich lang gemessene Höhenpunkte oder auch Nivellementabschnitte vergleichbar. Die Geschwindigkeiten werden mit einem linearen Ausgleichmodell aus den gemessenen Verformungen abgeleitet. Mit zunehmender Anzahl der Wiederholungsmessungen werden die Schwankungen der Einzelmessungen geglättet, aber auch längerfristige Bewegungsumkehrungen ausgeglichen. Die Geschwindigkeiten erlauben dadurch, längerfristige Trends anzugeben, so daß es sinnvoll ist,

sich bei dieser Betrachtung hauptsächlich auf die längeren Meßreihen zu beziehen, in diesem Fall auf die Meßreihe 1983 bis 1995.

In weiten Bereichen des Nivellements sind Punktgeschwindigkeiten unter oder um 0,5 mm/a anzutreffen (siehe Anlage 2.6.9, Meßpunktgeschwindigkeiten für das Jahr 1992). Dies gilt vor allem für das östliche und nördliche Meßgebiet. Dagegen sind westlich des Grubengebäudes auf einigen Linienabschnitten höhere Geschwindigkeiten zwischen 1,0 mm/a und 2,0 mm/a, punktuell auch darüber, vorhanden. Über die Zeit sind die Bewegungsrichtungen, wie zuvor beschrieben, nicht konstant. So sind z.B. im Jahr 1997 im Südwesten häufig Hebungen zu verzeichnen. In der Ortslage Morsleben und bis zum Schachtgelände Bartensleben treten immer wieder signifikante Punktgeschwindigkeiten überwiegend als Senkungen auf. Ihr Betrag liegt i.a. um 1 mm/a. Auch um die Ortslage Beendorf werden signifikante Senkungsgeschwindigkeiten ermittelt, die um 0,5 mm/a schwanken.

2.6.3 Bewertung

Aus den vorliegenden Auswertungen des übertägigen Nivellements ist ein differenziertes Bewegungsgeschehen der Geländeoberfläche abzuleiten. Dieses vermittelt ein Bild unterschiedlicher Gebiete mit für sie typischen Mustern. Neben ruhigeren Bereichen im Norden und Osten sind bewegtere Bereiche im Westen festzustellen, die von der Größenordnung der Bewegungen und von dem Umfang der Wechsel der Bewegungsrichtung weiter unterteilbar sind. Diese Art von Bewegungen weisen eher auf geologisch-hydrogeologische Ursachen der Verformungen hin, die ein schollenartig zerlegtes Gebirge andeuten. Im Einzelnen sind jedoch unterschiedliche Gründe zu berücksichtigen, die sich aus der Topographie, dem Verhalten der oberflächennahen und tieferen Erdschichten, dem Grundwasserstand, eventuellen Subrosionsvorgängen und der Tektonik zusammensetzen.

Aussagen zur Stabilität der Schachtanlage Morsleben lassen sich am ehesten aus den Bodenbewegungen direkt oberhalb der Grubenräume ableiten. Der im Salz umgegangene Bergbau hat ein Massendefizit geschaffen, das im Salz überwiegend durch bruchlose, im Deckgebirge eher durch bruchhafte Verformungen ausgeglichen wird. Daraus ergeben sich oberhalb des Grubengebäudes Senkungen. Diese sind um so größer, je höher der

Hohlraumanteil pro Gebirgsvolumen ist. Der größte Durchbauungsgrad ist im Grubenteil Bartensleben um die Ostquerschläge speziell im Zentralteil, im Südfeld, nördlichen Südostfeld und untergeordnet auch im Nordfeld gegeben. Im Grubenteil Marie ist ein erhöhter Durchbauungsgrad im Bereich der Langabbau vorhanden, der aber gegenüber demjenigen aus dem Grubenteil Bartensleben geringer ausfällt.

Senkungen oberhalb der Abbaue treten im gesamten Südtail der Grube südlich einer Linie Westfeld - Ostfeld auf (Ortslage Morsleben und Tagesanlagen Bartensleben) mit einem Senkungsmaximum im Bereich nördliche Südstrecke, Wetterstrecke Süd, westlicher Zentralteil und Ostquerschlag. Die geringeren Senkungen im Bereich der Ortslage Beendorf betreffen den Grubenabschnitt Marie zwischen dem 1. und 3. Nordquerschlag (um das Lager H), der nur gering durchbaut ist. Zwischen diesen beiden Senkungsbereichen treten Hebungen auf, die zwischen dem 1. Südquerschlag und einschließlich der Langabbau der Grube Marie am ausgeprägtesten sind. Die Senkungsgebiete über dem Grubengebäude lassen sich nach den Messungen 1983 - 1995 in ein Ost-West-gerichtetes regionales Senkungsfeld einbinden (siehe Anlage 2.6.7). Ein Teil der über dem Grubenfeld gemessenen Senkungen wäre dann auf geologische Ursachen zurückzuführen. Die Messungen 1993 - 1997 lassen diesen regionalen Einfluß nicht erkennen, wobei aber der kurze Meßzeitraum zu berücksichtigen ist (siehe Anlage 2.6.8).

Generell ist davon auszugehen, daß sich im Einflußbereich des Grubengebäudes abbaubedingte Senkungen der Tagesoberfläche einstellen. Die Annahme, daß Senkungen abbaubedingt sind, kann am ehesten für die Bereiche mit dem höchsten Durchbauungsgrad (Grubenteil Bartensleben: Bereiche um die Ostquerschläge) unterstellt werden. Aus dem untertägigen Nivellement (s. Kapitel 2.5) ergeben sich hier maximale Firstsenkungsgeschwindigkeiten der 1. Sohle Bartensleben von knapp 1 mm/a. Die Geländesenkungen an der Tagesoberfläche entsprechen weitgehend diesem Wert.

Im Grubenteil Marie gelingt dieser Nachweis nicht. Über den Langabbauen, mit einem flächenmäßig deutlich höheren Durchbauungsgrad, werden entgegen den Erwartungen Hebungen festgestellt, so daß der geringer durchbaute Bereich um das Lager H sich nicht an der Geländeoberfläche mit Senkungen bemerkbar machen sollte. Das untertägige Nivellement ermittelte in diesem Grubenabschnitt keine auffälligen Firstverformungen. Der Einfluß äußerer Vorgänge ist hier höher einzuschätzen.

Die erstmals vorliegende übergreifende Auswertung des übertägigen Nivellements mit einem einheitlichen und den Randbedingungen weitgehend offenen Verfahren zeigt ein komplexes Bewegungsverhalten um die Grube Morsleben. Die älteren Nivellementnetze der Jahre 1970 bis 1983, die i. w. nur das Grubengebäude abdecken, erweisen sich als zu beschränkt, um die wichtigen übergeordneten Zusammenhänge zu erfassen und damit eine angemessene Interpretation und Auswertung zuzulassen. Erst die Messungen seit 1983 mit der Berücksichtigung der geologischen Einheiten des Lappwaldes, der gesamten Allertalstruktur und der Weferlinger Triasplatte geben einen ausreichenden Überblick über die Zusammenhänge der Strukturelemente. Es ist erkennbar, daß der Einfluß des Grubengebäudes an den Gesamtbewegungen räumlich und in der Intensität begrenzt ist. Nur im südlichen Teil der Grube Bartensleben kann ein signifikanter Anteil der Senkungen an der Geländeoberfläche dem Bergbau zugerechnet werden.

2.7 Mikroakustische Messungen

2.7.1 Einsatz der Methode

Im ERAM sollen gebirgsmechanische Vorgänge erkundet und überwacht werden. Dies umfaßt innerhalb dieses AP zum einen die direkte Messung von Bewegungen und Verformungen. Zum anderen wird die Mikroakustik als indirekte Methode eingesetzt, die Aussagen über Prozesse der Mikrorißbildung (Dilatanz, Bildung von Auflockerungszonen) bis hin zu makroskopischen Brucherscheinungen im Gebirge zuläßt. Nach den Ergebnissen von Laborversuchen der BGR an Steinsalzproben nimmt die akustische Emission mit dem Auftreten von Dilatanz im Versuch deutlich zu [16]. Der Nachweis akustischer Emissionen und ihre Ortung kennzeichnen demnach Gebirgsbereiche, in denen Auflockerung aktuell stattfindet. Für Spannungszustände oberhalb der Dilatanzgrenze kann auf lange Sicht die Permeabilität des Steinsalzes zunehmen und es kann auch bei konstanter Beanspruchung zum Kriechbruch kommen [17]. Die Dilatanzgrenze wird daher als eine Sicherheitsgrenze für den Nachweis der langfristigen Integrität des Gebirges und der Standsicherheit von Hohlräumen im Steinsalz angesehen. Da im Vergleich zu den Laborversuchen in-situ nur der Anteil stärkerer akustischer Emissionen erfaßt werden kann, ist davon auszugehen, daß der Spannungszustand in den ausgewiesenen Gebirgsbereichen deutlich über der Dilatanzgrenze liegt.

Die Methode ist dann besonders nützlich, wenn eine enge räumliche Erfassung der oben beschriebenen Phänomene notwendig ist, die mit den direkten Methoden der Verformungsmessungen aufgrund einer großen Anzahl von notwendigen Bohrungen nicht vertretbar wäre. Ebenso ist ihr Einsatz angezeigt, wenn Sicherheitsbedenken gegen das Stoßen von längeren Bohrungen bestehen. Aus diesen Gründen ist die mikroakustische Methode zur Überwachung von durchbauten Gebirgsabschnitten gut geeignet.

Mikroakustische Messungen können anzeigen, ob der Spannungszustand im Steinsalz oberhalb der Dilatanzgrenze liegt. In diesem Sinne können sie einen Beitrag zur Beurteilung der Standsicherheit von Grubenbauen und der Integrität des Salzgebirges liefern, nicht jedoch alleine entsprechende Aussagen erbringen. Zur Beantwortung dieser Fragen müssen die Ergebnisse sowohl der anderen In-situ-Messungen und Kartierungen als auch der

Laborexperimente und Modellrechnungen herangezogen werden und zusammenschauend bewertet werden.

2.7.2 Meßtechnik und Auswertung

Bei den mikroakustischen Messungen wird die Abstrahlung hochfrequenter akustischer Energie aus dem Gebirge erfaßt ('Ereignisse', akustische Emissionen (AE), Frequenzbereich der hier eingesetzten piezoelektrischen Aufnehmer 1-100 kHz), welche mit der Entstehung oder der Erweiterung von Rissen auch kleiner Ausdehnung im mm - cm-Maßstab verbunden ist. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Verfahren, die die Registrierung von akustischen Emissionen als Zählung (Ereignisraten an einzelnen Sonden) erfassen und Verfahren, mit denen darüber hinaus eine räumliche Ortung der Emissionen im Gebirge möglich ist. Bei letzteren werden die bestimmten Welleneinsätze in den Signalen von räumlich verteilten Aufnehmern gemeinsam ausgewertet (Netzwerke, Vielkanalanlagen). Es können so Bereiche im Gebirge identifiziert werden, in denen Ribbildung aufgrund erhöhter Beanspruchung stattfindet. Bei den hier benutzten Meßanlagen der Fa. GMuG, Ober-Mörlen, wird die Auswertung der Signale automatisch untertage durchgeführt, nämlich das Festlegen von Ereignissen, die Ortung der Ereignisse und die Bestimmung ihrer Magnitude. Eine automatische Bearbeitung ist aufgrund der hohen Ereignisraten unumgänglich. Von den stärkeren Ereignissen werden die Signalformen abgespeichert.

Die Einsätze der P- und S-Wellen werden anhand von Schwellenwerten für die Amplituden ermittelt, die in den einzelnen Aufnehmerspuren zuvor bestimmt wurden. Dann wird die Ortung mit einem modifizierten Gradientenverfahren als Lösungsmethode für das überbestimmte, linearisierte Gleichungssystem für die räumliche Lage und die 'Herdzeit' durchgeführt. Dabei werden Qualitätskriterien berücksichtigt, z.B. daß die Mindestanzahl von 10 verwendbaren Laufzeiten für die einzelne Ortung erreicht sein muß, damit das Ereignis als gültig geortet gilt.

Für die Ortung wird ein homogenes Modell der seismischen Geschwindigkeiten angesetzt. Die Werte der P- und S-Geschwindigkeiten für das Steinsalz um die Abbaue herum wurden bei Testmessungen ermittelt. Diese Testmessungen ergaben auch, daß man in den

Bereichen der hier betriebenen Netzwerke mit einer Ortungsgenauigkeit von 3 m und niedriger rechnen kann.

Die Maximalamplituden der Aufnehmersignale, in dB spezifiziert, werden ausgewertet, um die relative Empfindlichkeit der Aufnehmer zueinander zu vergleichen und die Stärke der Ereignisse zu quantifizieren. Die Bestimmung des Ortes der akustischen Emissionen ist Voraussetzung für die Bestimmung eines Stärkemaßes in Anlehnung an die Vorgehensweise in der Seismologie (Bezeichnung Magnitude). Die Amplituden der Aufnehmer von einem Ereignis (bzw. Produkte Laufweg und Amplitude) werden dabei im halblogarithmischen Plot gegen die Laufwege aufgetragen. Dabei ergibt sich ein linearer Zusammenhang wegen der exponentiellen Abnahme der Amplituden mit dem Laufweg aufgrund der Dämpfung. Für die Amplituden wird dann eine Ausgleichsgerade bestimmt. Ihr Wert für den Laufweg $r = 50$ m (Definition) wird als Magnitude des Ereignisses bestimmt. Nimmt man viele Ereignisse in einer statistischen Auswertung zusammen, lassen sich mittlere Abweichungen der Amplituden der einzelnen Aufnehmer von den Ausgleichsgeraden bestimmen. Diese Abweichungen bezeichnen Unterschiede in der relativen Empfindlichkeit der einzelnen Aufnehmer zueinander. Solche Unterschiede sind vor allem auf die Ankopplung oder auf besondere Bedingungen im Bereich des Aufnehmers zurückzuführen, da die Aufnehmer vor der Installation auf gleichmäßige Empfindlichkeit im Labor getestet wurden. Die mittleren Abweichungen werden für die Magnitudenbestimmung als Korrekturwerte benutzt. Der mittlere Wert der Steigung der Ausgleichsgeraden von vielen Ereignissen ist ein Maß für die Dämpfung der Wellen entlang des Laufwegs (anelastische Dämpfung und Streuungseffekte). Zeitliche Veränderungen der eben besprochenen mittleren Werte geben Veränderungen in der Ankopplung der Aufnehmer oder im Medium wieder, z.B. Effekte fortschreitender Rißbildung.

Die Magnituden vieler Ereignisse werden statistisch ausgewertet und ihre kumulativen und distributiven Häufigkeitsverteilungen für auszuwählende Orts- und Zeitbereiche bestimmt. Zusammen mit den Ortungen dienen sie der Charakterisierung räumlich-zeitlicher Variationen der AE-Aktivität und der Charakterisierung unterschiedlichen Materialverhaltens im Gebirge. Als Kenngröße wird zum einen die Steigung der Verteilung in Anlehnung an Seismologie und Schallemissionsanalyse bestimmt, nämlich der sogenannte b-Wert als negative Steigung im halblogarithmischen Plot der Verteilung. Er

charakterisiert das Verhältnis der Häufigkeiten von schwachen und starken Ereignissen. Weiter wird eine maximal mögliche obere Magnitude aus der Verteilung bestimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß jede Verteilung nach oben begrenzt ist aufgrund maximal möglicher Rißgrößen, z.B. könnte dies die Mächtigkeit einer Anhydritschicht sein. Die Bestimmung der Kennwerte der Verteilungen hat für die Bereiche mit variierender Geologie nur die Bedeutung, zeitliche Änderungen der Rißbildungsaktivität zu charakterisieren, kann aber nicht für die Charakterisierung der möglicherweise unterschiedlichen Rißbildungsprozesse in den einzelnen Einheiten herangezogen werden.

2.7.3 Meßziele im ERAM

Im ERAM werden zur Zeit zwei 24-Kanal-Meßanlagen betrieben. Für die Anlage im Zentralteil Bartensleben, Bereich Abbau 1a, 1. Sohle bzw. 1a-Sohle, wurden Ergebnisse und deren Bewertung schon in früheren AP-Berichten mitgeteilt [2]. Die Meßdauer beträgt hier mittlerweile etwa 3 Jahre. Eine Optimierung der Anlage wurde 1997 durchgeführt [2]. Das Meßziel für diese Anlage ist zum einen die Erkundung und Überwachung des Bereichs der Tropfstellen im Abbau 1a und in der Schrapperkammer (SK) auf der 1. Sohle. Hier geht es um die Frage, ob aktuell Auflockerung stattfindet, so daß mit einer Erweiterung von Wegsamkeiten gerechnet werden muß. Weiter wird der Bereich der Risse am westlichen und nördlichen Stoß des Abbaus 2n auf der 1. Sohle und im anschließenden Bereich der Nordstrecke untersucht (Frage der lokalen Standsicherheit im Bereich der Risse). Das Netzwerk erfaßt weiterhin den Bereich westlich der Abbaue unterhalb des Anhydrits mit der Grenzfläche von Steinsalz und Anhydrit und den Bereich des Anhydrits. Dort sind erhöhte geomechanische Belastungen aufgrund des stark unterschiedlichen Deformationsverhaltens von Steinsalz (duktil) und Anhydrit (annäherend elastisch) zu erwarten.

Über die Ergebnisse der Messungen auf der 4. Sohle Bartensleben in der 1. südlichen Richtstrecke - als 'Südstrecke' bezeichnet - wird hier erstmalig berichtet. Die Anlage wird seit September 1997 betrieben. Das Meßziel ist eine Erkundung und Überwachung der Schweben und Stöße im stark durchbauten Bereich der 4a- bis 5a-Sohle (Frage der lokalen Standsicherheit). Hier treten Risse in den Stößen der Südstrecke auf. Auch die Deformationsmessungen belegen die auftretenden Belastungen. Unterhalb der Südstrecke im untersuchten Bereich liegen die Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle.

2.7.4 Einsatz der 24-Kanal-Anlage 1. Sohle Bartensleben

2.7.4.1 Betrieb der Anlage

Die Anlage wird nach einem vorangegangenen Testbetrieb seit Mai 1995 betrieben. Die Meßzeiten schließen

Arbeitszeiten der Grube nicht ein. Anhand der vorliegenden Erfahrungen und Ergebnisse wurde 1997 eine Optimierung der Anlage vorgenommen. Dies betraf die Anordnung der Sonden, um die Aktivität westlich und oberhalb der Abbaureihe 2 besser erfassen zu können. Die neue Anordnung ist in Anlage 2.7.1 dargestellt. Weiter wurde ein leistungsfähigerer Steuerrechner installiert, so daß die Auswertung längerer Signalausschnitte möglich wurde und damit die Detektion auch weiter vom Netzwerk entfernter Ereignisse.

Im Berichtszeitraum kam es bis 1/98 nur zu wenigen Störungen oder Ausfällen der Anlage. Die Betriebszeiten sind Tabelle 2.7.1 in der 1. Spalte zu entnehmen. Ab etwa 1/98 traten jedoch starke Beeinträchtigungen des Meßbetriebs aufgrund von umfangreichen Bohrarbeiten im Untersuchungsbereich auf (Beschädigungen von Meßkabeln und Ausfall von Sonden, notwendiger Ausbau von Sonden wegen angekündigter Sprengarbeiten, reduzierte Meßzeiten durch Mehrschichtbetrieb etc.). Die Anlage konnte in dieser Zeit nicht funktionsgemäß betrieben werden. Aus diesem Grund wird hier nur über den Zeitraum 6/97 - 1/98 berichtet. Nach Abschluß der bergmännischen Arbeiten im Untersuchungsbereich muß eine Sanierung der Meßkabel durchgeführt werden.

2.7.4.2 Ergebnisse

Ereignisraten

Überschreitungen eines Schwell- oder Triggerwertes der Signalspannung von 0.1 V an den einzelnen Aufnehmern werden registriert und als Ereignisraten abgespeichert. Mittlere Werte der Ereignisraten an den einzelnen Sonden schwanken um Werte zwischen 3/h (Sonde 1) und 30/h (Sonde 10). Entscheidend für diese Werte ist die Nähe der Aufnehmer

zu Zentren der mikroakustischen Aktivität. Ein Kennwert für das Netzwerk unter den eingestellten Betriebsbedingungen ist die Anzahl der Ortungen, die im Winter 1997/1998 im Mittel bei 10/h lag. Es zeigt sich, daß es jahreszeitliche Schwankungen in der Ortungsrate gibt. Im Sommer werden deutlich mehr Ereignisse registriert als im Winter (siehe Tabelle 2.7.1 mit Angabe der gültig georteten Ereignisse in den einzelnen Monaten). Diese Anstiege im Sommer traten seit Meßbeginn 1995 immer auf. Dabei beobachtet man, daß die zusätzlichen Ereignisse i.w. aus den stoßnahen Bereichen stammen, also aus den Auflockerungszonen um die Hohlräume. Eine mögliche Erklärung für die Schwankungen sind Variationen der Temperatur und/oder der Feuchte in den Wettern. Temperaturschwankungen in der Grube sind i.a. sehr gering, so daß kein erheblicher Einfluß auf das mechanische Verhalten des Steinsalzes zu erwarten ist. Man beobachtet jedoch i.a. einen deutlichen Anstieg der relativen Feuchtigkeit in gut bewetterten Grubenteilen. Der Einfluß der Feuchte auf das Kriechverhalten von aufgelockertem Steinsalz ist bekannt [17] und könnte sich auch in der Rißbildungsrate auswirken.

Ortungen im (engeren) Untersuchungsbereich

Tabelle 2.7.1 enthält die gültig georteten Ereignisse (10 oder mehr benutzte Laufzeiten). Hierbei wurde keine räumliche Einschränkung des Untersuchungsbereichs vorgenommen. Es ist aber davon auszugehen, daß weit weg vom Netzwerk größere Ortungsfehler auftreten. Der in der Planung der Messungen vorgesehene Untersuchungsbereich um das Netzwerk herum wird in den Anlagen 2.7.2 - 2.7.22 dargestellt (siehe Meßziele in Abschnitt 2.7.3). Es werden Horizontal- und Vertikalschnitte angefertigt, in die die Ortungsergebnisse hineinprojiziert werden. Je größer die dabei ausgewählten Bereiche in der horizontalen oder vertikalen Erstreckung sind, desto größer werden Fehler bei der Zuordnung von Ereignissen zu den Hohlraumkonturen und der Geologie, da es sich um komplexe dreidimensionale geometrische und geologische Bedingungen handelt. Geometrie und Geologie liegen BGR bisher in Form von Sohl- und Seigerrissen vor. Die Anlagen 2.7.2 - 2.7.7 mit größeren Ausschnitten sollen einen Überblick über die Aktivität geben, während die Anlagen 2.7.8 - 2.7.16 die Aktivität in relativ schmalen Horizontalschnitten zeigen, um eine möglichst genaue Zuordnung zu Konturen und geologischen Grenzen zu ermöglichen.

Die Anlagen 2.7.2 - 2.7.4 zeigen beispielhaft die Verteilung der Ortungen für einen Monat. Teilbild a) zeigt jeweils eine Horizontalprojektion (Sohlriß) mit Ereignissen aus dem

gesamten Teufenbereich (Koordinaten x gegen y in m). Teilbild b) zeigt eine Vertikalprojektion (Seigerriß) als Ansicht von der Seite in x -Richtung (Koordinate Teufe z in mNN gegen y); Teilbild c) zeigt eine Vertikalprojektion als Ansicht von der Seite in y -Richtung (z gegen x). Teilbild b) ist ein Längsschnitt durch die Hohlräumenordnung, Teilbild c) ein Querschnitt. Die Zahlen an den Achsen bezeichnen die jeweiligen Anfangs- und Endkoordinaten, der Gitterabstand beträgt 20 m. Das Koordinatensystem ist um einen Winkel von 25° um eine vertikale Achse nach Osten gedreht worden, damit die Ereignisse im nördlichen Bereich (Rolllochsystem 1a von -20 m und 60 m in x - und 20 und 40 m in y -Richtung) lagerichtig zu den Abbauen in die Vertikalschnitte projiziert werden. Die Signaturen der Hohlraumkonturen der drei oberen Sohlen sind neben Teilbild a) angegeben. In den Teilbildern b) und c) wurde wegen der starken Variation der Geometrie der Hohlräume auf die Konturen verzichtet, dafür aber Sohl- und Firstniveaus der Abbaue angegeben (S : Sohle, F: Firste). Die Lage der Aufnehmer ist zur Orientierung mit Kreuzen gekennzeichnet.

Anlage 2.7.2 enthält unabhängig von der Magnitude alle Ortungen für August 1997 ($M > 0$: 23 197 Ereignisse in 8/97). Teilbild a) ist zu entnehmen, daß der überwiegende Anteil in der Nähe der Abbaustöße, insbesondere im Rolllochbereich, liegt. Teilbild b) zeigt die Konzentration auf den Rolllochbereich von der 1. Sohle bis zur 2. Sohle und weitere markante Aktivitätshäufungen auf der 1. Sohle im linken Bereich und in der Firste der 2a-Sohle im rechten Bereich. Teilbild c) zeigt die Konzentration der Ereignisse entlang der Anordnung der Abbaue der 1. - 2. Sohle, die gemäß dem generellen Einfallen der Schichten jeweils nach Westen gegeneinander versetzt aufgeföhren wurden. Auffällig sind aber auch Ereignisse links bzw. westlich der Abbaue, die nach Kenntnis der Geologie im Steinsalz zum Anhydrit hin und im Anhydrit liegen.

In Anlage 2.7.3 sind die Ereignisse mit Magnituden $M > 40$ dB dargestellt (5 074 Ereignisse). Bei dieser Beschränkung bilden sich Stöße und Firste etwas deutlicher ab, besonders die Firste des Abbaus 1a auf der 2a-Sohle in Teilbild b) im rechten Bereich. Anlage 2.7.4 enthält schließlich nur Ereignisse mit $M > 50$ dB (969 Ereignisse). Hier findet man nur wenige Ereignisse in Abbaunähe. Man erkennt im Vergleich der drei Anlagen 2.7.2 - 2.7.4, daß die Ereignisse in Abbaunähe überwiegend schwach sind mit $M < 40$ dB, während die abbaufern gelegenen Ereignisse, z.B. westlich und südlich des Netzwerks, einen hohen Anteil starker Ereignisse $M > 50$ dB aufweisen.

Die Abbildungen 2.7.5 - 2.7.7 zeigen Vertikalschnitte mit Abbaukonturen und geologischen Grenzen. Die Datenbasis bilden hier und bei allen folgenden Anlagen bis 2.7.16 alle bisher registrierten Ereignisse von 2/95 - 1/98 ohne Einschränkung der Magnituden. Etwa die Hälfte der Ereignisse stammt dabei aus dem Zeitraum nach der Optimierung der Anlage (7/97 - 1/98). Die Lage der Schnitte ist in Anlage 2.7.1 dargestellt. Bei Anlage 2.7.5 handelt es sich um den Schnitt 3.3 des Rißwerks durch die Abbaureihe 1a und das benachbarte Rollochsystem 1a, in dem das neue geologische Lagerstättenmodell der BGR vorliegt. Die mikroakustischen Ereignisse wurden aus einem 30 m breiten Streifen um die Schnittebene in den Schnitt projiziert. Damit wird der gesamte Bereich des Abbaus 1a auf der 1. Sohle erfaßt. Ereignisse, die in den Abbaukammern liegen, stammen von den südlichen Stößen der Abbaue zum Rolloch hin. Man erkennt die Auflockerung des Bereichs um die Abbaue herum bis hin zum Anhydrit. Entlang des Aufbaus zum Abbau 1a auf der 1. Sohle beobachtet man eine mittelstarke Aktivität. Oberhalb von Abbau 1a erkennt man zwar wenige, aber deutlich dem Abbau zuzuordnende Ereignisse im Anhydrit. (Da sich in der Firste von Abbau 1a aus Sicherheitsgründen keine Aufnehmer befinden, kann aus dem Bereich bis 10 m oberhalb der Firste prinzipiell kein Ereignis geortet werden.) Vom Abbau 1a auf der 2a-Sohle zieht sich ein schmales Aktivitätsband in Richtung des Anhydrits. Solche Bänder dilatanter Zonen von Abbauen im Steinsalz unter einer Anhydritschicht werden auch in geomechanischen Modellberechnungen gefunden. Weiter beobachtet man deutliche Aktivität im Anhydrit. Auffällig ist hier eine Ansammlung gegenüber von Abbau 1a, 1. bzw. 1a-Sohle, die auch die Form eines Bandes aufweist bzw. in der räumlichen Ausdehnung einer in Nordrichtung streichenden Fläche zuzuordnen ist.

Die Anlagen 2.7.6 und 2.7.7 zeigen einen Vertikalschnitt durch die Abbaureihe 2n (Schnitt quer zur Achse der Hohlräume). Der Schnitt verläuft in der Mitte des Abbaus 2n auf der 1. Sohle (siehe Anlage 2.7.1). In Anlage 2.7.6 sind die Ereignisse aus einem Streifen von 30 m Breite dargestellt, der nördlich des Schnitts liegt, in Anlage 2.7.7 aus einem 30 m breiten Streifen, der südlich davon liegt. Für diesen Bereich existiert kein Schnittriß mit Geologie. Aus diesem Grund wurde ein Ausschnitt aus Anlage 2.1.12 benutzt, die in pauschalisierter Form für den Bereich direkt nördlich des Hauptquerschlags gilt. Damit ist eine Zuordnung gemäß der Teufenlage, aber nur eine annähernd zutreffende Zuordnung zu den Konturen und den geologischen Grenzen bis zur Grenze Steinsalz - Anhydrit möglich.

Die Ereignisse, die in Anlage 2.7.6 innerhalb der Abbaue 2n auf der 1. und 2a-Sohle liegen, stammen von der Aktivität am nördlichen Kammerabschluß bzw. am östlichen Kammerrand. Ihre Ausläufer werden von dem 30 m breiten Streifen noch erfaßt. Deutlich ist die Auflockerung im Firstbereich der Abbaue zu sehen. Die westliche Aktivität in der Schwebe zwischen 2a-Sohle und 1. Sohle kennzeichnet den Bereich der Risse im Weststoß auf der 1. Sohle. Oberhalb der Abbaue 2n erkennt man voneinander abgesetzte Bänder von Aktivität, die sich bis in den Anhydrit hinein fortsetzen. Diese Tendenz ist im Fall der 1. und 3a-Sohle als schwach zu bezeichnen, während sie über der 2. und 2a-Sohle deutlich festzustellen ist. In Anlage 2.7.7 mit dem südlichen Bereich der Abbaue 2n erkennt man ähnliche Tendenzen, aber schwächer ausgeprägt. Festzustellen ist weiter, daß es eine diffuse Aktivität auch weit jenseits der Grenze zum Anhydrit gibt.

Die Anlagen 2.7.8 - 2.7.16 zeigen Horizontalschnitte von der 2. Sohle bis über die 1a-Sohle hinaus, zusammen mit den Abbaukonturen aus dem aktuellen Rißwerk sowie geologischen Grenzen für die Tiefenbereiche um die 1. und 2. Sohle. Rechts oben findet man jeweils den Tiefenbereich, aus dem die Ereignisse in den Horizontalschnitt projiziert wurden. Aufgrund der mittlerweile großen Datenmenge können jetzt relativ geringmächtige Schnitte gewählt werden und auch Details innerhalb der markanten Häufungspunkte klarer herausgestellt werden. Die Achsen entsprechen bei dieser Darstellung der Nordrichtung (y) und der Ostrichtung (x). Es sind jeweils die letzten 3 Stellen der ausführlichen Rechts- und Hochwerte im Gauß-Krüger-System angegeben. Die Signaturen für die Konturen finden sich jeweils rechts von den Abbildungen. Die durchgezogenen Linien kennzeichnen dabei immer die Abbaue, die näher am dargestellten Tiefenbereich liegen.

Anlage 2.7.8 zeigt den Bereich der 2. Sohle bis in den Firstbereich. Hier findet man Aktivität im Pfeiler zwischen den Abbauen 2n und 1a sowie entlang der Konturen des Abbaus 1a und des Abbaus 3n (wahrscheinlich jeweils Vorkommen von z3AM in Abbaunähe). Westlich vor dem Abbau 2n liegt der untere Teil des ringförmigen Clusters R1 von 5/97 mit schichtparalleler Lage (zu den Clustern siehe weiter unten). Nach den Ergebnissen einer Bohrung liegt es direkt an der Grenze zum z3HA, so daß hier das geologische Modell modifiziert werden kann. Schwache Aktivität findet sich im Steinsalz

vor dem Übergang zum Anhydrit und im Anhydrit selbst. Diese setzt sich in den nächsten Schnitten nach oben fort.

Den Anschluß bildet Anlage 2.7.9 vom Firstbereich der 2. Sohle bis zur 2a-Sohle. Am deutlichsten ist wieder die Aktivität im Pfeiler zu erkennen. Weiter findet man Anzeichen oberhalb der Firste des Abbaus 2n der 2. Sohle. Westlich der Abbaue findet man den oberen Teil des Clusters R1 von 5/97 und nördlich davon ein weiteres Cluster R3 in Form eines halben Rings, das vor allem Ende 1997 stärker emittierte.

Anlage 2.7.10 zeigt den Tiefenbereich um die 2a-Sohle. Deutlich zeichnen sich hier Stöße im Bereich des Rollochs ab ('Nase' nach Westen zwischen Abbauen 1a und 2n) und der sich anschließende Weststoß des Abbaus 2n. Im Pfeiler zwischen Abbau 1a und 2n beobachtet man Ereignisse, die sich nach oben zu markanten Aktivitätsanhäufungen an den Stößen und Firsten der Abbaue entwickeln (Anlagen 2.7.11 und 2.7.12). In der Firste des Abbaus 3n der 2. Sohle, dessen Verlauf teilweise angedeutet ist, erkennt man auch im nächsten Schnitt eine Aktivität, die ein Cluster bildet (vermutlich z3AM). Westlich des Abbaus 2n taucht das weitere ringförmige Cluster R2 auf, das wie R1 wahrscheinlich auf der Grenze zwischen Steinsalz und Anhydrit liegt. Ähnliche Beobachtungen finden sich im anschließenden Schnitt in Anlage 2.7.11, der bis zum Firstbereich der 2a-Sohle reicht. Der östliche Stoß des Abbaus 2n bildet sich hier zusätzlich ab.

Anlage 2.7.12 zeigt den Bereich der Schweben zwischen 1. Sohle und 2a-Sohle, die teilweise mit 4 m nur geringe Mächtigkeit aufweist. Hier tritt eine weit höhere Ereignisdichte als in den unteren Bereichen auf. Deutlich zeichnen sich Stöße und Firsten, auch Sohlbereiche der Abbaue 1a und 2n sowie der Schrapperkammer ab. Die Aktivität am östlichen Stoß des Abbaus 2n kann nicht weiter verfolgt werden, da der darüberliegende Abbau 2n der 1. Sohle die Wellenausbreitung zu den Aufnehmern verhindert (Abschattung). Vor der Nordwest-Ecke des Abbaus 2n auf der 1. Sohle findet sich eine Anhäufung von Ereignissen, die nahe den Rissen am West- und Nordstoß des Abbaus liegen und diesen daher zugeordnet werden müssen. Die Aktivität erstreckt sich vom Abbau 2n etwa 10 m in das Gebirge hinein. Direkt am westlichen Nordstoß des Abbaus 2n der 1. Sohle beobachtet man kaum Aktivität. Dies korreliert mit den Rissen sowohl am westlichen Nordstoß des Abbaus als auch in beiden Stößen der anschließenden Nordstrecke und deutet auf eine aus der Ribildung resultierenden Entlastung in diesem Bereich hin.

Westlich des Abbaus 2n findet man ausgeprägte Aktivität im Steinsalz im Bereich der Abscherung im Anhydrit mit einer Änderung des Streichens der Schichten. Die Grenze zum Anhydrit ist bereichsweise durch Ereignishäufungen markiert, wobei hier ein Cluster in Linienform auffällt. Eine weitere Auswertung zeigt, daß es im Ansteigen der Schichtgrenze liegt. Zwischen dieser Linie und der Aktivität vor den Rissen auf der 1. Sohle liegen ebenfalls einige Ereignisse.

Anlage 2.7.13 zeigt den Tiefenbereich oberhalb der 1. Sohle. Die Verteilung der Aktivität hat sich im Vergleich mit dem darunter liegenden Bereich deutlich verändert. Im Bereich der Hohlräume ist ein starkes Aktivitätsmaximum am östlichen Nordstoß des Abbaus 2n zu erkennen. Von den zeitlich relativ gleichmäßig emittierenden Bereichen in Abbaunähe - abgesehen von den jahreszeitlichen Schwankungen - ist hier die höchste Ereignisdichte zu finden. Das Maximum liegt dort, wo sich die Abbaulinien der 2a-Sohle und der 1. Sohle schneiden und hohe Spannungskonzentrationen zu erwarten sind. Am Weststoß des Abbaus 2n findet man dagegen nur geringe Anzeichen. Es ist anzunehmen, daß die Rißöffnung an den Stößen von Westen her nach Norden und Osten erfolgt ist (siehe Beschreibung der Risse oben), und daß heute die Rißbildungsaktivität im wesentlichen an dem Aktivitätsmaximum im Nordstoß des Abbaus 2n stattfindet sowie weiter nördlich im Bereich der Nordstrecke vor der Schrapperkammer. Auffällig ist dabei auch eine Ansammlung von Ereignissen im Abbau 2n direkt vor dem Eingang zur Nordstrecke (siehe auch Anlage 2.7.14). Dieser Bereich ist teilweise geankert, da man offenbar mit Abschaltungsproblemen rechnete. Rißbildung findet auch oberhalb des geankerten Bereichs statt (Ankerlängen vermutlich 80 cm).

Im darüberliegenden Tiefenbereich in Anlage 2.7.14, der von -249 mNN bis etwa zum Firstniveau des Abbaus 2n bei -243 mNN reicht, zeigt sich eine ähnliche Verteilung wie direkt über der 1. Sohle in Anlage 2.7.13. Die engbegrenzte Konzentration etwa 20 m westlich der Schrapperkammer (SK), die sich auch in Anlage 2.7.13 findet, muß nach eingehender Überprüfung auf Fehlortungen von Ereignissen aus dem Bereich der 2a-Sohle zurückgeführt werden (siehe westlichen Bereich in Anlage 2.7.11 zwischen den Abbauen 1a und 2n). Für diese Ereignisse können nur Aufnehmer herangezogen werden, die annähernd in einer Ebene liegen. Dadurch ergibt sich eine Mehrdeutigkeit in der Lösung für ihre Ortslage und es kann zu einer Art Spiegelung der wahren Lage an der durch die Aufnehmer aufgespannten Ebene kommen. Ein solches methodisches Problem trat bisher

schon einmal bei Ereignissen beim Teufen der Bohrung RB702 auf, die genau diesen Bereich auf dem Niveau der 2a-Sohle durchfährt. Von anderen Bereichen des Untersuchungsgebiets ist der Effekt nicht bekannt.

Anlage 2.7.15 stellt den Tiefenbereich um den Abbau 1a der 1. bzw. 1a-Sohle dar und erstreckt sich bis in sein Firstniveau hinein. Am Abbau 1a fallen Ereignisse entlang des Aufhauens besonders auf. Direkt über der Firste können prinzipiell keine Ereignisse geortet werden, da sich keine Aufnehmer in der Firste befinden. Weiter ist Aktivität über dem Abbau 2n I. Sohle festzustellen und auch nördlich davon über Abbau 2n der 2a-Sohle. Es handelt sich um das Ausklingen der starken Aktivität im darunterliegenden Tiefenbereich nach oben hin. Westlich der Abbaue findet sich Aktivität, die aller Wahrscheinlichkeit nach im Übergangsbereich zum Anhydrit und im Anhydrit selbst stattfindet. Deutlich erkennt man das Umbiegen des Streichens von Süden nach Norden hin. Vor den beiden Aufhauen aus dem Kalilager C im westlichen Bereich liegen prägnante Ansammlungen. Sie kennzeichnen - vom Netzwerk her gesehen - die Rückseite des Anhydrits. Insgesamt vermittelt die Aktivität westlich der Abbaue den Eindruck, daß viele Ereignisse räumlich gruppiert auftreten.

Anlage 2.7.16 schließlich zeigt den Tiefenbereich oberhalb von Abbau 1a, 1. Sohle, bis - 200 mNN. Oberhalb von Abbau 1a als auch oberhalb von Abbau 2n finden sich einige Ereignisse, die geringe Auflockerung andeuten. Die Ereignisse liegen aller Wahrscheinlichkeit nach im Anhydrit. Westlich der Abbaue findet eine Fortsetzung der entsprechenden Aktivität in Anlage 2.7.15 nach oben hin statt. Es fällt auf, daß die Aktivität pauschal gesehen von Norden nach Süden zunimmt. Diese Tendenz wird später noch weiter dargestellt und diskutiert.

Ortungen von Clustern

Der überwiegende Anteil der AE, deren räumliche Verteilung in den Anlagen 2.7.8 - 2.7.16 dargestellt ist, zeigte im bisherigen Beobachtungszeitraum eine relativ gleichmäßige zeitliche Verteilung, wenn man von den langfristigen jahreszeitlichen Schwankungen absieht. Dies deutet auf eine im wesentlichen gleichbleibende geomechanische Situation hin. Abweichungen von dieser Beobachtung treten selten als kurzfristige zeitliche Variationen in räumlich meist eng begrenzten Bereichen auf. Diese werden hier Cluster genannt. Sie werden anhand der bloßen Inspektion der Ereignisverteilungen und nicht

anhand eines statistischen Kriteriums identifiziert. Die Anzahl der einzelnen AE dieser Cluster beträgt zwischen wenigen Ereignissen und etwa 1000 Ereignissen mit zeitlicher Korrelation, d.h. die Ereignisse folgen kurz aufeinander und dann fällt die Ereignisrate in diesem Bereich wieder ab. Die Verteilung von Clustern wurde schon im letzten AP-Bericht dargestellt [2]. Es zeigte sich, daß die Cluster zum überwiegenden Teil am Übergang Steinsalz-Anhydrit oder hinter dieser Schichtgrenze auftreten und ihre räumliche Anordnung eine deutliche Korrelation mit dem Streichen des Anhydrits zeigt. Die Optimierung der Meßanlage, die Mitte 1997 abgeschlossen war, brachte gerade für diese Bereiche verbesserte Beobachtungsmöglichkeiten. Im folgenden wird die Entwicklung im Berichtszeitraum im Bereich westlich der Abbaue zwischen 2. Sohle und 2a-Sohle dargestellt, wo die prägnantesten Cluster auftreten.

Die Anlagen 2.7.17 - 2.7.20 zeigen Horizontalschnitte mit den Ereignissen zwischen -290 mNN und -260 mNN im eben genannten Bereich westlich der Abbaue 2n und 1a. Die Teilbilder zeigen jeweils die Daten eines Monats von 5/97 bis 1/98, Anlage 2.7.20 zeigt den gesamten Berichtszeitraum von 7/97 bis 1/98. Zur Orientierung ist die Lage der Aufnehmer mit Kreuzen gekennzeichnet. Auf das Einzeichnen der Konturen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Konturen der Abbaue 2n und 1a sind den Anlagen 2.7.1, sowie 2.7.8 - 2.7.10 zu entnehmen. Die Bereiche der 3 Cluster R1, R2 und R3 mit deutlicher oder angedeuteter Ringform sind jeweils mit einem Kasten gekennzeichnet, der Bereich B1 mit leicht schwankender Aktivität ist gestrichelt gekennzeichnet. Cluster R1 wurde im April 1998 durch Bohrungen erschlossen, die in seinem Bereich den Übergang von Steinsalz zu Anhydrit antrafen. Es ist anzunehmen, daß auch die beiden anderen Cluster an dieser Grenze liegen. Bereich B1 liegt im Übergangsbereich zwischen Steinsalz und Anhydrit bis in den Anhydrit hinein.

Der Zeitausschnitt in Anlage 2.7.17 beginnt in Teilbild a) mit Monat 5/97, in dem die deutlichste Beobachtung eines Clusters stattfand (Bezeichnung R1). Ereignisse treten dann in diesem Bereich im gesamten Beobachtungszeitraum viel seltener auf (Anlagen 2.1.17 - 2.1.20). Südlich liegt R2, das in 5/97 schwächer emittierte, aber über die gesamte Zeit gleichmäßiger als R1 zu beobachten ist. R2 liegt oberhalb von R1 und liegt ebenfalls schichtungsparallel. Im Bereich von R3, das in der Tiefe zwischen R1 und R2 liegt, beginnt eine bemerkenswerte Aktivität in 11/97, die dann wieder abebbt. Der Bereich von R3 ist möglicherweise nach Osten hin etwas größer zu fassen, hier umfaßt der Kasten nur

die als halben Ring angedeutete Form. R3 ist mit 25 m Durchmesser deutlich größer als R1 und R2. In 12/97 deutet sich die Entspannung um das damals gestoßene Bohrloch RB546 durch einige Ereignisse an, was die gute Ortungsgenauigkeit für diesen Bereich belegt (direkt unter Bezeichnung 'R3', Bohrung steht völlig im Steinsalz).

Die Aktivität im Bereich B1 unterscheidet sich deutlich von der Aktivität weiter nördlich in den Ring-Clustern (Anlagen 2.7.17 - 2.7.19). Es handelt sich sowohl um weit weniger starke zeitliche Variationen als auch um eine schwächere räumliche Konzentration. Es deuten sich hier also Unterschiede in der Aktivität im nördlichen und im südlichen Bereich des Ausschnitts an. Eine geologische Deutung dieser Unterschiede könnte nach der anstehenden Verfeinerung des geologischen Lagerstättenmodells aufgrund der neuen Bohraufschlüsse im Ausschnittsbereich möglich sein.

Anlage 2.7.20 zeigt den Ausschnitt für den gesamten Beobachtungszeitraum, d.h. ohne die starke Aktivität in R1 in 5/97.

In den Anlagen 2.7.17 - 2.7.20 ist am östlichen oder rechten Bildrand jeweils starke Aktivität zu erkennen. Diese stammt von dem Pfeiler zwischen den Abbauen 1a und 2n auf der 2. Sohle und der 2a-Sohle. Man erkennt hier in den konturnahen Bereichen deutlich die Zunahme der Ereignisraten vom Frühjahr in den Sommer hinein und dann wieder eine Abnahme zum Winter hin.

Ortungen in der Nähe der Risse im Abbau 2n, 1. Sohle

Über diesen Bereich ist schon im Zusammenhang mit Anlage 2.7.12 berichtet worden. Anlage 2.7.21 zeigt einen Horizontalschnitt mit Ereignissen unterhalb der am Stoß beobachteten Risse im westlichen und nördlichen Stoßbereich des Abbaus 2n. In diesem Teufenbereich tritt die überwiegende Aktivität an den Rissen auf. Das Einfallen der Schichten, in dem auch die Risse liegen, ist nach Westen gerichtet, d.h. die Schichten fallen vom Abbau nach unten ein. Weiter sind in der Anlage die Konturen und der Verlauf der Grenze zwischen Steinsalz und Anhydrit dargestellt. Die Schwebenmächtigkeit zwischen 1. und 2a-Sohle beträgt etwa 4 - 5 m. Auffällig ist die linienförmige Anordnung der Ereignisse vor dem Abbau 2n auf der 1. Sohle, die über der Firste des Abbaus auf der 2a-Sohle liegt. Dahinter liegt ein Bereich, vor allem nördlich der Nordwest-Ecke des Abbaus 2n auf der 1. Sohle, in dem weniger oder gar keine Ereignisse auftreten. Diese

Konfiguration läßt sich so deuten, daß im näheren Bereich um den Abbau eine Entspannung durch die Bildung der (makroskopischen) Risse stattgefunden hat und heute Mikrorißbildung etwa 10 m tief im Gebirge stattfindet. Letztere führt auf Dauer gesehen sicherlich zu einer Erweiterung der makroskopischen Risse. Diese Vorgänge gehen allerdings sehr langsam vor sich, wie auch die Fissurometermessungen belegen (siehe Abschnitt 2.3). Anlage 2.7.22 zeigt die Ereignisse des Monats 8/97, in dem ein größerer Teil der Ereignisse an der linienförmigen Struktur ca. 10 m westlich von Abbau 2n auftrat.

Die Aktivität am nordöstlichen Stoß des Abbaus 2n und in der anschließenden Nordstrecke wurde schon oben im Zusammenhang mit Anlage 2.7.13 beschrieben. Sie ist erheblich stärker und markiert den Bereich, in dem heute intensive Mikrorißbildung stattfindet.

Ortungen westlich und südlich des (engeren) Untersuchungsbereichs

Aufgrund der Optimierung der Anlage können jetzt auch weiter vom Netzwerk entfernte Ereignisse detektiert werden. Die Ortungsgenauigkeit ist für diese allerdings weit schlechter als im eigentlichen Untersuchungsbereich, der bisher dargestellt wurde. Außerdem müssen Laufweganteile in anderen Salzgesteinen als Steinsalz unterstellt werden, so daß die Annahme einer einheitlichen seismischen Geschwindigkeit für die Ortung nur noch näherungsweise erfüllt ist. Trotzdem ergibt sich die Tendenz, daß die Aktivität südlich und südwestlich der Abbaue generell zum Zentrum des Zentralteils hin zunimmt, also nach Süden hin.

Anlage 2.7.23 enthält dieselben Darstellungen wie die Anlagen 2.7.2 - 2.7.4 (Horizontalschnitt oder Sohldrif mit Drehung um vertikale Achse in Teilbild a), Vertikalschnitt oder Seigerriß in Längsrichtung in Abbildung b), Vertikalschnitt oder Seigerriß quer in Teilbild c)). Der Bereich in x- und y-Richtung ist allerdings viel größer gewählt. Weiter sind nur die starken Ereignisse mit Magnituden $M > 60$ dB dargestellt, da aus den entfernteren Bereichen schwächere Ereignisse nicht registriert werden können. Zur Orientierung sind die Lagen der Aufnehmer und im Teilbild a) die Konturen der 1. Sohle eingezeichnet worden. Im Teilbild c) verdeutlicht die Lage der Aufnehmer in etwa die Lage der Hohlräume. Der Drehwinkel um eine vertikale Achse beträgt hier 30° (siehe vorne bei der Erläuterung der Anlagen 2.7.2 - 2.7.4). Dies bewirkt einen Ausgleich zwischen dem Streichen des Anhydrits und dem Verlauf der Abbaue. Dargestellt ist der gesamte Berichtszeitraum. Auffällig ist die große Ansammlung in Teilbild a) etwa 120 m westlich

und südlich des Zentrum des Netzwerks in der Form eines breiten Bandes. Es erstreckt sich entlang des Hauptquerschlags bis hin zum Kalilager C. Verglichen mit dieser Ansammlung treten die im näheren Bereich des Netzwerks georteten Ereignisse mit $M > 60$ dB an Häufigkeit weit zurück. In den Teilbildern b) und c) erkennt man, daß die Ereignisse des Bandes überwiegend im Teufenbereich von -320 mNN bis -180 mNN verteilt sind. Teilbild b) zeigt, daß sie überwiegend südlich vom Netzwerk liegen, und Teilbild c) zeigt, daß sie sich überwiegend über und westlich vor dem Netzwerk befinden.

Das Band von Ereignissen liegt im Bereich des Schichtpakets aus Anhydrit z3HA, Grauem Salzton z3GT und Kalisalz z2SF, das den äußeren Teil des westlichen Schenkels der Hauptmulde darstellt, sowie dahinter im z2HS (siehe auch Anlage 2.1.12). Innerhalb des Bandes von Ereignissen lassen sich 2 Häufungspunkte etwa entlang des Hauptquerschlags erkennen (Teilbild a). Sie können grob dem Liegenden und Hangenden des Schichtpakets aus Anhydrit, Salzton und Kalisalz zugeordnet werden, das im Hauptquerschlag aufgeschlossen ist.

Die eben dargestellte Beobachtung liefert eine neue Einschätzung der mikroakustischen Aktivität im oberen Zentralteil (westlicher Bereich). Man findet im Bereich des Netzwerks, also dem nördlichen Abschluß des Zentralteils, ausgeprägte Aktivität innerhalb und außerhalb der Abbaubereiche im Steinsalz, an der Grenze zum Anhydrit und im Anhydrit. Im Vergleich dazu deutet sich aber im Zentrum des Zentralteils eine stärkere Aktivität außerhalb der Abbaubereiche an. Von diesem Zentrum im Bereich des Hauptquerschlags sind die großen Abbaue Richtung Norden und annähernd symmetrisch Richtung Süden aufgeföhren worden. Eine solche Anordnung in Form eines Kleeblatts oder Schmetterlings findet man von der 2a-Sohle bis zur 3. Sohle hinunter (Abbaue 2n und 3n nördlich des Hauptquerschlags sowie 2s und 3s südlich davon, siehe Skizze in Anlage 2.7.24), auf der 1. Sohle liegen die Abbaue 2 und 3 weiter voneinander entfernt. Die Richtung des Bandes von Ereignissen stimmt nicht genau mit der Richtung des Hauptquerschlags auf der 1. Sohle überein. Dies läßt sich mit der Verlagerung des Hauptquerschlags und damit der Hohlraumanordnung von Süden nach Norden erklären, die von der 1. Sohle hinab bis zur 3. Sohle festzustellen ist.

Insgesamt deutet sich als geomechanischer Befund an, daß am westlichen Schenkel der Hauptmulde eine höhere Beanspruchung im mittleren Bereich des Zentralteils als in seinem nördlichen Bereich auftritt.

Amplitudenanalyse und Magnitudenverteilungen

Tabelle 2.7.1 enthält Ergebnisse der Amplitudenanalyse jeweils für die einzelnen Monate des Berichtszeitraums. Die Meßzeiten sind in Spalte 1 in Klammern angegeben. Dann folgen die mittleren Abweichungen in dB für die 24 Aufnehmer in den einzelnen Monaten, die als Korrekturwerte für die Berechnung der Magnituden benutzt werden (vgl. Abschnitt 2.7.2). Die untere Zeile enthält jeweils wieder Mittelwerte für den gesamten Zeitraum. Die Werte geben die relative höhere oder niedrigere Empfindlichkeit untereinander an (positive bzw. negative Werte). Es zeigen sich für die einzelnen Aufnehmer überwiegend konstante Werte, die konstante Ankopplungsbedingungen belegen. Die Variationen bei den Aufnehmern 1 und 24 müssen weiter beobachtet werden und eventuell muß eine Neuinstallation der Aufnehmer erfolgen. Weiter sind die Gesamtanzahl der georteten Ereignisse im Zeitraum angegeben, der mittlere Wert der Steigung der Ausgleichsgeraden durch die Amplituden der Aufnehmer in dB/10m (siehe Abschnitt 2.7.2) und die mittlere Magnitude in dB im jeweiligen Zeitraum.

Für den Berichtszeitraum werden nachfolgend die kumulativen Häufigkeitsverteilungen für den gesamten Untersuchungsbereich und für 11 einzelne Ortungsbereiche dargestellt. Kumulativ bedeutet dabei, daß für einen bestimmten Wert der Magnitude die Anzahl von Ereignissen angegeben wird, die eine höhere Magnitude als den betrachteten Wert besitzen. Die räumliche Begrenzung der Bereiche sowie eine Beschreibung der Lage und der Geologie ist Tabelle 2.7.2 zu entnehmen (Grenzen in x, y und z im geographischen Bezugssystem). Die ausgewählten Bereiche umfassen jeweils entweder Zentren der Aktivität in Abbaunähe (Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6), oder abbauferne Gebiete, die durch Aktivität auffallen (Nr. 7 und 8 westlich der Abbaue in unterschiedlichen Teufenbereichen, Nr. 9 weit westlich und südlich des Netzwerks) oder Gebiete mit erwarteter einheitlicher Geologie (Nr. 10 im Anhydrit gegenüber Abbau 1a 1a-Sohle, Nr. 11 westlich der Abbaue im Steinsalz). Zur Einordnung der Lage der Bereiche können die Anlagen 2.7.8 - 2.7.16 dienen. Bereich 4 erfaßt das Gebiet um die Risse am Weststoß des Abbaus 2n. Er liegt entlang der Abbaukontur, also nicht parallel zu den geographischen Achsen wie die

anderen Bereiche. Daher sind in diesem Fall in Tabelle 2.7.2 auch die Summen und Differenzen der begrenzenden Koordinaten angegeben.

In den Anlagen 2.7.25 - 2.7.36 findet man im Kopf die Nummer des Bereichs, die räumlichen Grenzen und die Anzahl der Ereignisse in diesen räumlichen und zeitlichen Abschnitten. Die mittlere Magnitude, die auch angegeben ist, ist für zeitliche Variationen in einzelnen Bereichen interessant. Sie hängt von der Entfernung des Bereichs zum Netzwerk ab, da die Empfindlichkeit für schwache Ereignisse mit der Entfernung stark abnimmt.

Die Verteilungen in den Anlagen zeigen jeweils eine untere Grenze, die der Detektionsschwelle für schwache Ereignisse im Bereich entspricht. Bis dorthin ist die Verteilung flach. Die Detektionsschwelle liegt für die abbaunahen bzw. netzwerknahen Bereiche bei 20 dB. Oberhalb dieser Schwelle erfolgt ein Abfall der Verteilung, der annähernd lineare Form besitzt. Diese Form im halblogarithmischen Plot ist aus der Seismologie und der Schallemissionsanalyse bekannt und wird zumindest annähernd auch hier angetroffen. Der b-Wert (negative Steigung des Abfalls der Verteilung) wird hier als Kennwert der Verteilung unter Annahme einer Geraden ermittelt, z.B. im Steinsalz in der Regel an den Werten für 40 und 60 dB Magnitude (siehe gestrichelte Gerade in den Anlagen 2.7.25 - 2.7.36). Nach dem Abfall in Form einer Geraden findet man in den Verteilungen oft bei höheren Magnituden einen weiteren Knick, der einer Sättigungsgrenze für die Magnituden entspricht. Hier kommt es zu einer Übersteuerung des Systems aus Gründen der dynamischen Beschränktheit, wodurch höhere Amplituden gekappt werden. Dieser Effekt ist wie die Detektion schwacher Ereignisse entfernungsabhängig. Weiter weg vom Netzwerk ist man in der Lage, stärkere Magnituden nachzuweisen, da die Signalamplituden entlang der Laufwege so stark gedämpft werden, daß sie nicht mehr gekappt werden. Für die abbaunahen bzw. netzwerknahen Bereiche liegt der Wert für die größten zu bestimmenden Magnituden bei ca. 60 dB.

Tabelle 2.7.2 enthält die bestimmten b-Werte der Magnitudenverteilungen. Da die Bestimmung des b-Wertes eine gewisse Willkür beinhaltet - man könnte den Wert z.B. auch durch lineare Regression ermitteln - wird er hier als pauschaler Kennwert für die Verteilung, gerundet auf 2 Stellen hinter dem Komma, angegeben. Der b-Wert wird hier für die Einheit dB der Magnitude ermittelt. Er hat die Dimension 1/dB, wird im Text aber

ohne Dimension angegeben. Weil in der Literatur die Magnituden und Amplituden oft nicht in dB angegeben werden, wird in Klammern auch der b-Wert ohne den Vorfaktor $1/20$ in der Definition für Dezibel angegeben. Als Kennwert ist weiter der Wert der maximal auftretenden Magnitude der Verteilung für den jeweiligen Bereich interessant. Sie wird durch Extrapolation des linearen Abfalls der Verteilung zu großen Magnituden hin bestimmt, wo aufgrund des oben beschriebenen Effektes keine Bestimmung der Magnituden möglich ist.

Für die Bereiche, die völlig im Steinsalz liegen - sowohl in Abbaunähe (Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6) als auch abbaufern (Nr. 11) - finden sich höhere b-Werte (zwischen 0.08 und 0.14) als für die anderen Bereiche. Die maximal auftretenden Magnituden liegen sehr einheitlich um 70 - 75 dB. Im Bereich 9, in dem entsprechend dem geologischen Lagerstättenmodell nur oder überwiegend Anhydrit vorkommt, erhält man den niedrigsten b-Wert von 0.03. Die maximale Magnitude erreicht dagegen mit 145 dB den höchsten Wert.

Im Vergleich der Magnitudenverteilungen für Steinsalz und Anhydrit sieht man demnach deutliche Unterschiede. Im Steinsalz findet man eine viel schmalere Verteilung der Magnituden als im Anhydrit. Es gibt im Steinsalz viel mehr schwache Ereignisse im Verhältnis zu den starken Ereignissen als im Anhydrit (Aussage des b-Wertes). Die mit der Rißbildung verbundene mögliche akustische Abstrahlung und damit die mögliche Energiefreisetzung ist im Steinsalz deutlich geringer als im Anhydrit (Aussage der maximal möglichen Magnituden).

In den übrigen Bereichen, in denen keine einheitliche Geologie herrscht, kommt es zu einer Überlagerung der Verteilungen von Steinsalz und Anhydrit sowie auch Salzton und Kaligestein, die allerdings volumenmäßig geringer vertreten sind. Die Kennwerte liegen entsprechend zwischen den angesprochenen Werten im Steinsalz und im Anhydrit. Interessant ist der Vergleich der Bereiche 7 (westlich der Abbaue oberhalb I. Sohle) und 8 (westlich der Abbaue unterhalb I. Sohle). Für Bereich 7 sind mehr Ereignisse im Anhydrit als für Bereich 8 zu erwarten. Man findet dieser Erwartung gemäß b-Werte von 0.04 bzw. 0.06. Die Verteilung des weit vom Netzwerk entfernten Bereichs 9, der die oben angesprochenen Ereignisse westlich und südlich im Bereich des Hauptquerschlags enthält, zeigt wie erwartet die niedrigsten Magnituden erst bei 50 dB (Detektionsschwelle) und die höchsten nachweisbaren Magnituden bei etwa 95 dB (Sättigungsgrenze). Die mittlere

Magnitude liegt bei 64 dB, wo die Verteilungen im Steinsalz praktisch keine Ereignisse mehr zeigen. Dies erklärt auch die Beobachtung für den Gesamtbereich in Anlage 2.7.25, bei dessen Verteilung zwei lineare Abschnitte vorhanden sind (Abschnitt I mit 0.04 und Abschnitt II mit 0.06 für den b-Wert). Der Knick im Abfall wird von den Ereignissen aus Bereich 9 mit Magnituden $M > 50$ dB bewirkt.

2.7.4.3 Bewertung

Die im letzten AP-Bericht [2] berichteten Tendenzen und Bewertungen sind von den Daten des Berichtszeitraums im wesentlichen bestätigt worden. Die Erkenntnisse aus den mikroakustischen Messungen haben sich aber nach der Optimierung der Anlage deutlich erweitert. Dies betrifft die Beobachtungen westlich der Abbaureihe in der Nähe der Grenze zum Anhydrit und die Detektion von weiter entfernt liegenden Ereignissen südlich und südwestlich des Netzwerks.

Allgemeine Charakterisierung der Aktivität am Standort

Die Beobachtungen der mikroakustischen Aktivität am Standort zeigen, daß trotz der bisher im Zentralteil gemessenen relativ geringen Verformungsraten und des i.a. bruchlosen Fließvermögens des Steinsalzes Deformationen auch tiefer im Gebirge stattfinden, die mit Mikrorißbildung einhergehen. Der Großteil der Aktivität zeigt eine räumlich und zeitlich gleichmäßige Verteilung, die man z.B. im Vergleich von Darstellungen für jeweils einen Monat erkennt. Daraus kann man schließen, daß sich die generelle geomechanische Situation nicht geändert hat. Langfristige, jahreszeitliche Schwankungen der Ereignisraten sind festzustellen. Für diese Schwankungen könnte der Einfluß von Feuchte auf die mechanischen Eigenschaften in aufgelockerten Bereichen eine mögliche Erklärung sein [17].

In kleineren räumlichen Bereichen beobachtet man dagegen kurzfristige zeitliche Variationen der Aktivität, hier Cluster genannt. Oft fallen die Ereignisraten in den Clustern nach einem Anstieg innerhalb von Tagen oder Wochen wieder deutlich ab. Dies wird als ein Vorgang gedeutet, bei dem sich die Mikrorisse aufgrund einer erreichten hohen Rißdichte zu größeren (makroskopischen) Rissen verbinden und/oder vorhandene größere Risse wachsen. Cluster werden selten beobachtet. Bisher gibt es sowohl von eigenen

Untersuchungen hier als auch in der Literatur keine Erfahrungen über den Zusammenhang von Cluster-Ereignissen und Fragen der Standsicherheit und Integrität.

Die Clusterereignisse liegen überwiegend in der Nähe der Grenze von Steinsalz und Anhydrit westlich der Abbaureihe oder im Anhydrit selbst. Die prägnantesten Beispiele treten im Bereich westlich der Abbaue 2n und 1a zwischen 2. und 2a-Sohle auf. In einem Fall konnte durch Bohrungen nachgewiesen werden, daß die Aktivität an der Grenze von Steinsalz und Anhydrit stattfindet. Das Cluster R3 in diesem Bereich befindet sich nahe der Firste des Abbaus 1a auf der 2. Sohle und hat eine Ausdehnung von ca. 25 m.

Konturnahe Aktivität

Der größte Anteil der AE-Ereignisse stammt aus konturnahen Bereichen in Pfeilern, Schweben und Firsten. Dies läßt auf konturnahe Auflockerung des Gebirges schließen, die z.B. mit Abschalung verbunden sein kann. Auf der 2. Sohle ist ein schmaler Pfeilerbereich zwischen den Abbauen 2n und 1a über den gesamten Querschnitt betroffen. In einem Bereich der Firste des Abbaus 3n, 2. Sohle, die eine große Spannweite besitzt, wurde eine vorübergehende Aktivität beobachtet. Diese liegt vermutlich im z3AM, an dessen Anhydritmitteln potentielle Löserflächen existieren. Ein dickbankiger Abriß von Steinsalz an Anhydritmitteln aus der Firste wurde im Abbau 3n auf der 2a-Sohle festgestellt.

Der Bereich der großen Risse im nördlichen Teil des Weststoßes des Abbaues 2n auf der 1. Sohle zeigt keine starke Häufung von Ereignissen. Es läßt sich eine linienförmige Aktivität im Gebirge etwa 10 m vor den Rissen am Stoß feststellen. Die in diesem Bereich angebrachten Fissurometer weisen auf geringe Öffnungsbewegungen an den Rissen im Stoß hin (siehe Abschnitt 2.3). Die Befunde lassen darauf schließen, daß ein geringes Rißwachstum im Gebirge erfolgt. Eine prägnante Häufung von Ereignissen ergibt sich am Nordstoß des Abbaus 2n der 1. Sohle östlich der Nordstrecke. In diesem Bereich wird ein Auslaufen der Risse am Stoß beobachtet. Diese starke Aktivität zieht sich bis in den Bereich der Nordstrecke kurz vor der Schrapperkammer hinein. Die Fissurometermessungen in der Nordstrecke ergeben geringe Rißöffnungsraten. Die Schweben zwischen Abbau 2n auf der 1. Sohle und dem darunterliegenden Abbau 2n auf der 2a-Sohle hat in diesem Bereich eine Mächtigkeit von nur 4 m. Zu bemerken ist weiterhin die in diesem Bereich stattfindende Rißbildung im Abbau 2n auf der 1. Sohle über dem Eingang zur Nordstrecke.

Aktivität im Bereich des Abbaus 1a, 1. bzw. 1a- Sohle Bartensleben

Unterhalb des Firstniveaus beobachtet man eine mittelstarke Aktivität um den Abbau 1a herum. Direkt oberhalb bis ca. 10 m über der Firste des Abbaues 1a sind keine Ortungen möglich, da dort aus Sicherheitsgründen keine Bohrungen gestoßen werden konnten. Im Bereich darüber, in dem wieder Ortungen möglich sind, finden sich einige Ereignisse, die wahrscheinlich im Anhydrit liegen. Auch die Ereignisraten an den drei Aufnehmern im oberen Bereich des Abbaus 1a lassen auf eine nur geringe AE-Aktivität schließen.

Aktivität westlich der Abbaureihe 2

Die Aktivität westlich der Abbaukammern im Steinsalz in Richtung des Anhydrits ist nicht räumlich konzentriert, sondern ist eine räumlich diffuse Verteilung, z.B. vor der Abscherung im Anhydrit gegenüber der 1. Sohle oder von den großen Abbauen hinüber zum Anhydrit. Die Mikrorißbildung weiter weg von den Hohlräumen kann durch den Einfluß des westlich überlagernden steifen Hauptanhydrits erklärt werden, der den Deformationen des kriechfähigen Steinsalzes der Leinefolge nicht oder nur eingeschränkt folgt. In dem Maße, in dem das Steinsalz rheologisch auf die Belastung reagiert, nimmt die Beanspruchung des Anhydrits zu. Es fällt auf, daß die Aktivität in der Nähe der Grenze Steinsalz - Anhydrit nicht gleichmäßig verteilt ist, sondern sich im Bereich der Abscherung im Anhydrit konzentriert.

Nach dem neu erarbeiteten geologischen Lagerstättenmodell findet sich AE auch im Anhydrit. Einige Strukturen sind dort zu erkennen, wie z.B. ein im Schnitt steil stehendes Band von Ereignissen westlich oberhalb der 1. Sohle. Die Untersuchung der Magnituden zeigt, daß hier im Vergleich mit den AE-Ereignissen im Steinsalz höhere Magnituden auftreten. Da der kompakte Anhydrit eine weit höhere Festigkeit als das Steinsalz aufweist, sind zum Entstehen von Rissen im kompakten Anhydrit sehr hohe Scher- oder Zugbeanspruchungen nötig. So könnten die hohen Magnituden im Anhydrit erklärt werden. Eine andere Erklärung ist das Aufreißen von mit Salzen verheilten Klüften durch bergbauliche Einflüsse. Solche in der geologischen Vergangenheit angelegten Klüfte oder Kluftzonen treten im Anhydrit auf und sind z.B. auf der 1. Sohle in der Nordstrecke aufgeschlossen (Lage der geschlossenen, verheilten Kluft ca. 100 m nördlich Schrapperkammer, Kluft erfaßt gesamten Streckenquerschnitt, Kluftweite ca. 1 m,

Kluftfüllung Carnallit und Steinsalz zwischen zerbrochenem Anhydrit). Die Salze in den geringmächtigen Kluftfüllungen erfahren bei Belastung hohe Deformationen, da der kompakte Anhydrit sich kaum verformt. Dabei tritt sicherlich ein anderer Mechanismus der Ribbildung auf als bei den Mikrorissen, die sich im Zusammenhang mit der Kriechverformung in mächtigeren Steinsalzpartien bilden. Dies kann sich auf die Verteilung der Riblängen und die damit verbundene Stärke der seismischen Abstrahlung auswirken. Vom geologischen und auch geomechanischen Standpunkt aus erscheint die Ribbildung in Kluftzonen im Anhydrit plausibler als die Annahme von Ribbildung im kompakten Anhydrit.

Aktivität weit südlich und südwestlich des Netzwerks

Die nach der Optimierung der Anlage erhaltenen Daten zeigen, daß sich etwa im Bereich des Hauptquerschlags der 1. Sohle ein Band von Ereignissen befindet, die oberhalb und westlich der Abbaue des Zentralteils liegen. Aus diesem weit entfernten Bereich lassen sich nur starke Ereignisse ab etwa 50 dB Magnitude detektieren. Wegen des großen Abstands vom Netzwerk muß mit relativ hohen Ortungsfehlern gerechnet werden im Vergleich mit der Ortungsgenauigkeit im Bereich des Netzwerks, die bei 3 m liegt. Trotz der nur groben Lokalisation ist die Aktivität signifikant. Bei der Betrachtung der Ereignisse mit Magnituden über 60 dB findet man, daß im hier angesprochenen Band deutlich mehr Ereignisse stattfinden als im Bereich des Netzwerks. Dies läßt darauf schließen, daß die höchsten Beanspruchungen um die hier untersuchte Abbaustruktur unterhalb der Anhydritschollen im mittleren Teil des Zentralteils auftreten und nicht an seinem nördlichen Abschluß, wo sich das Netzwerk befindet. Diese Vermutung gilt für die untersuchte westliche Flanke des Zentralteils, an der Anhydrit oberhalb der Abbaue liegt.

Auswertung der Magnitudenverteilungen

Es zeigt sich, daß in Bereichen mit ausschließlich Steinsalz schmale Verteilungen mit starker Steigung oder hohem b-Wert und niedriger maximaler Magnitude bestimmt werden. Dies ist qualitativ mit der Vorstellung der Auflockerung im Steinsalz vereinbar, nämlich der Mikroribbildung durch einzelne Salzkörner oder entlang deren Korngrenzen, also Prozesse in einem nach oben durch die Dimension der Korngröße beschränkten Bereich von Ribgrößen von mm - cm. Dagegen findet man im Anhydrit deutlich niedrigere Steigungen oder b-Werte und höhere maximale Magnituden. Wie oben diskutiert, könnte die Aktivierung von verheilten Klüften der Mechanismus der Ribbildung im Anhydrit sein.

Dabei wären - den Beobachtungen der Kluftlängen untertage entsprechend - auch größere als die für das Steinsalz angenommenen Rißlängen möglich. Solche Ereignisse wären mit einer höheren Magnitude bzw. einer höheren Energiefreisetzung verbunden.

Ausblick

Nach der Ausführung umfangreicher Bohrarbeiten im Bereich des Netzwerks muß eine Sanierung der Verkabelung der Anlage durchgeführt werden.

2.7.5 Einsatz der 24-Kanal-Anlage 4. Sohle Bartensleben

2.7.5.1 Untersuchungsbereich sowie Installation und Betrieb der Anlage

Anlage 2.7.39 zeigt die Anordnung der Aufnehmer in einem Sohlriß. Alle Aufnehmer sind in Bohrungen von der Südstrecke aus installiert worden, da die Hohlräume darunter und darüber nicht zugänglich sind. Die längeren Bohrungen von 30 m Länge wurden so weit wie möglich an den Hohlräumen vorbei nach unten und oben gestoßen, um eine gute Ortungsgenauigkeit in der Teufe zu erhalten. Mit dieser Anordnung kann der Bereich der Schweben zwischen den Abbauen der 4a-Sohle, 4. Sohle und 5a-Sohle erfaßt werden. Schweben zwischen anderen Sohlenniveaus können (und sollten) nicht erfaßt werden, da die Wellenausbreitung zu den Aufnehmern hin von den Abbauen verhindert wird. Ereignisse tiefer im Gebirge, von denen aus die Wellen zu den Aufnehmern nicht durch Abbaue in der Ausbreitung behindert werden, werden erfaßt, insbesondere die Bereiche tiefer im Gebirge zwischen der Sohle der 4a-Sohle und der Firste der 5a-Sohle. Im Bereich des Rollochsystems 9 sind auch Ortungen weiter oberhalb und weiter unterhalb möglich.

Die Durchbauung dieses Grubenbereichs variiert räumlich sehr stark. Dies ist den Angaben in Anlage 2.7.39 im Sohlriß, Anlage 2.7.40 im Längsschnitt parallel zur Südstrecke - hier seitenverkehrt zum Rißwerk - sowie den Anlagen 2.7.44 und 2.7.46 in Querschnitten zu entnehmen (in letzteren jeweils Teilbild c): 2.7.44 im Bereich Abbau 9n und Abbau 2 (Schnitt S1), 2.7.46 im Bereich Abbau 9s und Abbau 3, Schnitt S3). Die Südstrecke, 4. Sohle, im Sohlriß in Anlage 2.7.39 durchgezogen dargestellt, liegt im nördlichen Teil der Anordnung zwischen den Abbauen 9n, 4a-Sohle, und Abbau 2, 5a-Sohle, und im südlichen

Teil zwischen Abbau 9s und Abbau 3. Von der Südstrecke gibt es einen heute abgemauerten Zugang zur 4a-Sohle über das Rollochsystem 9, das zwischen den Abbauen 9n und 9s liegt. Die tatsächliche Sohlenteufe der Abbaue 9n und 9s der 4a-Sohle schwankt im Untersuchungsbereich sowohl entlang der Länge als auch der Breite der Abbaue, da diese nachträglich vom Niveau der 4a-Sohle bei -346 mNN bis ins Niveau der 4. Sohle bei -372 mNN gestößt wurden. In den beiden Querschnitten in den Anlagen 2.7.44 und 2.7.46 ist die Schwankung des Sohlenniveaus vom Rolloch bis zum Schnitt jeweils durch 2 Linien angegeben. In Anlage 2.7.40 erkennt man im Längsschnitt, daß im Sohlenniveau von Abbau 9s etwa in der Abbaumitte ein Sprung von -355 mNN fast bis hinunter zur 4. Sohle auftritt (siehe auch Konturen im Sohlriß 2.7.39: im südlichen Teil des Abbaus 9s wird diese Hochlage mit einer anderen Signatur gekennzeichnet als im nördlichen Teil).

Die Abbaue liegen im Jüngeren Steinsalz z3LS-AM, das in enge isoklinale Falten gelegt ist. Die Schichten fallen steil nach Westen ein. Östlich der Abbaue befindet sich Anhydrit z3HA, der aber nicht von den Hohlräumen erschlossen wird (siehe Anlage 2.7.48 mit Geologie im Niveau der Südstrecke). Westlich der Abbaue befindet sich das Kalilager z2SF mit geringer Mächtigkeit und anschließend das Ältere Steinsalz z2HS.

Die Mikroakustikanlage wurde im Juni 1997 installiert und nach einem Testbetrieb ab September 1997 in Betrieb genommen. Anlage 2.7.37 zeigt die eingesetzten Aufnehmer: MABls40 für die Ankopplung an der Stirn des Bohrlochs in den kurzen Bohrungen bis 4 m Länge und MABlw90 für die Ankopplung an der Bohrlochwand in den langen Bohrungen von 30 m Länge (jeweils 2 Aufnehmer pro Bohrloch, siehe Anlage 2.7.39). In Anlage 2.7.38 ist die Zentralstation abgebildet, die auf einem Sockel über der Sohle der Südstrecke im Bereich des Rollochsystems 9 steht. Per Modem können die Funktion überprüft und Daten abgerufen werden. Die Meßanlage ist baugleich mit der 24-Kanal-Anlage auf der 1. Sohle. Sie wird im Vergleich mit der Anlage auf der 1. Sohle mit leicht abweichenden technischen Einstellungen betrieben, aber so, daß die Stärkemaße der Ereignisse (Magnituden) der beiden Anlagen direkt vergleichbar sind. Die Empfindlichkeit der Anlage ist etwas geringer als auf der 1. Sohle gewählt worden, um die Anzahl der Ereignisse auf ein handhabbares Maß zu begrenzen. Dies erreicht man durch Wahl eines größeren Quantisierungsintervalls der Amplituden bei konstanter Anzahl der Quantisierungsstufen, wobei dann auch der auswertbare Amplitudenbereich ansteigt. Damit verschieben sich die Detektions- und Sättigungsgrenzen der Magnituden zu höheren Werten. Das Verhältnis zur

Trigger-Schwelle bleibt aber im Vergleich zu der Anlage auf der 1. Sohle gewahrt (siehe Abschnitt 2.7.4.2).

Im Berichtszeitraum kam es zu wenigen Störungen, so daß auch nur wenige Ausfallzeiten zu registrieren sind. Die Betriebszeiten der Anlage sind in Tabelle 2.7.3 in der 1. Spalte für die einzelnen Monate angegeben. Es wird nur außerhalb der Arbeitszeiten der Grube gemessen.

2.7.5.2 Ergebnisse

Nach der bisherigen, noch relativ kurzen Meßdauer von einem halben Jahr erfolgt in diesem Bericht zunächst eine Übersichtsdarstellung der mikroakustischen Aktivität im Untersuchungsbereich.

Ereignisraten

Aufgrund der Vormessungen der BGR mit einer 1-Kanal-Meßanlage war schon bekannt, daß in der Südstrecke hohe Ereignisraten auftreten [2]. Im Vergleich zur Anlage auf der 1. Sohle liegen die Ereignisraten an den einzelnen Aufnehmern im Mittel deutlich mehr als eine Größenordnung über denen auf der 1. Sohle (siehe Abschnitt 2.7.4.2). Mittlere Werte lagen im Winter 1997/1998 zwischen 10 /h bei Aufnehmer 3 und 400 /h bei Aufnehmer 6. Entscheidend für die Höhe der Ereignisraten der einzelnen Aufnehmer ist die Nähe zu Zentren der mikroakustischen Aktivität. Die mittlere Anzahl der Ortungen betrug 90 /h und lag damit im Winter fast eine Größenordnung über der Rate der Anlage auf der 1. Sohle im Zentralteil. Hier deutet sich im Vergleich schon eine höhere geomechanische Belastung an.

Wie man Tabelle 2.7.3 weiter entnehmen kann, liegt die Anzahl der Ortungen pro Monat etwa zwischen 40 000 und 50 000. Damit sind Unterschiede zwischen Sommer und Winter hier schwächer ausgeprägt als im Zentralteil. Insgesamt ist eine bemerkenswerte zeitliche Konstanz in den Ereignis- und Ortungsraten festzustellen.

Ortungen im Untersuchungsbereich

Wie bei der Anlage auf der 1. Sohle werden die Ortungen im gesamten Untersuchungsbereich in Horizontal- und Vertikalschnitten dargestellt, um eine Übersicht über die

mikroakustische Aktivität zu ermöglichen. Die Anlagen 2.7.41 - 2.7.43 zeigen beispielhaft die Verteilung der Ortungen für einen Monat in einer Horizontalprojektion (Sohlriß mit Ereignissen aus gesamtem Teufenbereich in Teilbild a): Koordinaten x gegen y in m) und zwei Vertikalprojektionen (Seigerriß in Teilbild b): Koordinate Teufe z in mNN gegen y als Ansicht von der Seite in x -Richtung sowie in Teilbild c): z gegen x als Ansicht von der Seite in y -Richtung). Teilbild b) ist ein Längsschnitt durch die Hohlraumanordnung, Teilbild c) ein Querschnitt. Die Zahlen an den Achsen bezeichnen die jeweiligen Anfangs- und Endkoordinaten, der Gitterabstand beträgt 20 m. Das Koordinatensystem ist um einen Winkel von 18° um eine vertikale Achse nach Osten gedreht worden (Verlauf der Südstrecke gegen Nordrichtung), damit die Ereignisse lagerichtig zu den Abbauen in die Vertikalschnitte projiziert werden. Die Signaturen der Hohlraumkonturen der 5a-Sohle sind neben Teilbild a) angegeben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf die Konturen der anderen Sohlen verzichtet. In den Teilbildern b) und c) wurde wegen der Variation der Geometrie der Hohlräume entlang der Schnitte auf die Konturen verzichtet, dafür aber Sohl- und Firstniveaus der Abbaue angegeben (S.: Sohle, F.: Firste). Die Lage der Aufnehmer ist zur Orientierung mit Kreuzen gekennzeichnet.

Anlage 2.7.41 enthält unabhängig von der Magnitude alle Ortungen für September 1997 ($M > 0$ dB: 51 759 Ereignisse in 9/97). Teilbild a) ist zu entnehmen, daß die Verteilung der Aktivität mit den Konturen der 5a-Sohle korreliert und nur wenige Ereignisse außerhalb der Hohlraumanordnung auftreten. Der Großteil der Ereignisse wird an den einander zugewandten Seiten der Abbaue 2 und 3 bzw. 9n und 9s mit dem Rolloch in der Mitte beobachtet. Die Teilbilder b) und c) zeigen die Konzentration auf einen etwa 60 m breiten Teufenbereich mit der 4. Sohle im Zentrum. In Teilbild b) zeichnen sich die Sohl- und Stoßbereiche der Abbaue 9 der 4a-Sohle und die Firstbereiche der Abbaue 2 und 3 der 5a-Sohle ab (Schwebe zur Südstrecke). Die Südstrecke auf der 4. Sohle ist als Unterbrechung dieser starken Aktivitäten zu erkennen. Im Rollochbereich zeichnen sich Stöße von der 4. Sohle nach oben und nach unten ab. Im Sohlbereich des Abbaus 3 verläuft eine Verbindungstrecke zum Abbau 2, in deren Firste viele Ereignisse liegen. Der Südstoß des Abbaus 2, dessen Sohle tiefer liegt, zeichnet sich ebenfalls ab. In Teilbild c) erkennt man einige Ereignisse aus dem Bereich der 5. Sohle unter den Hohlräumen.

In Anlage 2.7.42 sind die Ereignisse mit Magnituden $M > 40$ dB dargestellt (14 236 Ereignisse). Bei dieser Beschränkung bilden sich Stöße und Firsten deutlicher ab,

besonders die Tiefenlage der Firste der Abbaue 2 und 3 der 5a-Sohle in Teilbild b), die über dem Abbau 2 am Rolloch etwas höher liegt. Hier fällt auch der Sprung im Sohlniveau des Abbaus 9s über dem südlichen Teil des Abbaus 3 auf (links in Teilbild b). Die Aktivität im Bereich des Sohlneaus des Abbaus 9s zieht sich bis in eine Höhe von -355 mNN.

Anlage 2.7.43 enthält nur Ereignisse mit $M > 50$ dB (1 991 Ereignisse). Hier findet man in Bezug auf die Dichte der Ereignisse eine andere Verteilung als in Anlage 2.7.41. Die starken Ereignisse liegen gehäuft in der Schwebel zwischen Südstrecke und 5a-Sohle und sind mit Unterbrechungen über die gesamte (beobachtbare) Abbaulänge zu verfolgen. Es ist anzumerken, daß schwache Ereignisse unter 40 dB nur innerhalb des Netzwerkbereichs registriert werden können. Besonders im Teilbild c) fällt eine diffuse Ansammlung von Ereignissen westlich bzw. links von der Hohlräumen im Tiefenbereich von -440 bis -380 mNN auf. Sie korreliert mit dem Vorkommen von z3AM in einem sehr engen Muldenkern. Östlich der Hohlräume bzw. rechts davon finden sich einzelne Ereignisse, die nach dem geologischen Lagerstättenmodell teilweise im Anhydrit liegen.

Die Abbildungen 2.7.44 - 2.7.47 zeigen jeweils 20 m breite Ausschnitte des Untersuchungsbereichs in y- bzw. Längsrichtung im Bereich der Vertikalschnitte S1 und S3 für den Monat September 1997. Dies sind die Schnitte für die geomechanischen Modellberechnungen, in denen auch Extensometer in der Schwebel zwischen 4. und 5a-Sohle installiert wurden. Die Schnittbilder mit den Konturen der Abbaue 9n bzw. 9s, 5a-Sohle, der Südstrecke, 4. Sohle, und der Abbaue 2 bzw. 3 der 5a-Sohle sind jeweils im Teilbild c) dargestellt. Die Sohlen der Abbaue 9s und 9n sind jeweils durch 2 Linien gekennzeichnet, die die Variationsbreite des Niveaus im Ausschnitt angeben (nach DBE-Unterlagen). Die Ausschnitte in y sind so gewählt worden, daß die Geometrie im gesamten Ausschnitt in etwa durch den Schnitt repräsentiert wird. Dies wird für den Schnitt S3 weniger gut erfüllt, da die Südstrecke nicht genau in der Achse des Abbaus 3 verläuft. Dieser Umstand ist bei der Zuordnung von Ereignissen zu den Konturen zu berücksichtigen. Schnitt S1 verläuft am nördlichen Rand des gewählten Ausschnitts, Schnitt S3 südlich des Ausschnitts (zur Lage der Schnitte siehe Anlage 2.7.39). Der Ausschnitt für den Vergleich mit S3 wurde nicht weiter südlich gewählt, da unmittelbar südlich von S3 ein markanter Sprung im Sohlniveau des Abbaus 9s erfolgt, der durch den Schnitt nicht repräsentiert ist.

Anlage 2.7.44 enthält alle Ortungen im ausgewählten Ausschnitt um S1 unabhängig von der Magnitude, Anlage 2.7.45 nur die Ereignisse mit Magnituden $M > 40$ dB. Die Aktivität in den Teilbildern c) beschränkt sich auf den Bereich oberhalb der Firste des Abbaus 2. Markante Ansammlungen finden sich jeweils direkt an den Abbauecken. Dazwischen wird in Anlage 2.7.44 eine Häufung von schwachen Ereignissen gefunden, die unterhalb der Firste des Abbaus 2 endet. Eine schlüssige Erklärung für diese Ereignisse steht z.Z. noch aus, möglich sind Variationen des Firstniveaus oder auch Verminderungen der seismischen Geschwindigkeiten in einem stark aufgelockerten Bereich wie es die Firste sein könnte. In diesem Ausschnitt befinden sich die Risse im Oststoß der Südstrecke, die mit Fissurometern überwacht werden (siehe Anlage 2.1.11). Wie man den beiden Anlagen entnehmen kann, findet man östlich bzw. rechts von der Südstrecke (S) eine Aktivitätsansammlung, die sich hinüber zur Ecke des Abbaus 9n zieht.

Anlage 2.7.46 enthält die Ortungen im Ausschnitt für den Vergleich mit dem Schnitt S3. Auch hier findet sich Aktivität über der gesamten Firste des unteren Abbaus, aber markante Ansammlungen beschränken sich auf den Bereich unterhalb der Südstrecke (S) und den Bereich direkt am Abbau darüber. Die Ereignisse westlich über bzw. rechts von der Firste des Abbaus 3 stehen in Zusammenhang mit dem Verlauf des schmalen Kalilagers, das nach Westen einfällt. Wie in Anlage 2.7.44 (Schnitt S1) findet man auch hier wieder Ereignisse, die im Firstbereich oder darunter auftreten. Dafür können dieselben Gründe wie oben im Schnitt S1 vermutet werden, aber prinzipiell könnten auch im völlig versetzten Abbau 3 Ereignisse auftreten (ausgehärteter, zementartiger Versatz). In diesem Bereich treten auch einige stärkere Ereignisse mit $M > 40$ dB auf, wie man Anlage 2.7.47 entnehmen kann. Im dargestellten Ausschnitt befinden sich Risse am Weststoß der Südstrecke (S), die mit Fissurometern überwacht werden (siehe Anlage 2.1.11). Westlich bzw. links der Südstrecke findet sich nur relativ schwache mikroakustische Aktivität (siehe auch Anlage 2.7.48).

Anlage 2.7.48 zeigt als Beispiel einen Horizontalschnitt im Firstniveau der Südstrecke (Tenfenbereich -370 bis -368 mNN) mit den Abbaukonturen aus dem aktuellen Ribwerk sowie den geologischen Grenzen. Diese Darstellungen sind für eine detaillierte und lagerichtige Zuordnung der Ortungen zu den Abbauen und den geologischen Grenzen geeignet. Das Beispiel soll zeigen, wie engräumig die Aktivität im stark durchbauten Untersuchungsbereich variiert. Im Bereich des südlichen Endes der Abbaue 2 und 9n sieht

man die markante Aktivität zwischen Südstrecke und Abbau 9n. Hier liegen die Risse am östlichen Stoß der Südstrecke. Über dem nördlichen Teil von Abbau 3 zeichnen sich Bereiche neben der Südstrecke und unter dem Abbau 9s in der Aktivität ab sowie weiter südlich der Bereich unter der Sohle des Abbaus 9s im Süden (Sohniveau nach Süden steil ansteigend bis -355 mNN). Kleine Pfeiler im Bereich des Rollochsystems 9 sind ebenfalls mit mikroakustischer Aktivität gekennzeichnet. Dies spricht für die hohe erzielte Ortungsgenauigkeit, bei der auch belastete Elemente kleinerer Dimension erfaßt werden können wie kleine Pfeiler oder Rolllöcher von 1 - 2 m Durchmesser.

Amplitudenanalyse und Magnitudenverteilungen

Tabelle 2.7.3 enthält Ergebnisse der Amplitudenanalyse jeweils für die einzelnen Monate des Berichtszeitraums. Die Meßzeiten sind in Spalte 1 in Klammern angegeben. Dann folgen die mittleren Abweichungen in dB für die 24 Aufnehmer in den einzelnen Monaten, die als Korrekturwerte für die Berechnung der Magnituden benutzt werden. Die untere Zeile enthält jeweils wieder Mittelwerte für den gesamten Zeitraum. Es zeigen sich überwiegend konstante Werte für die einzelnen Aufnehmer, die die höhere oder niedrigere Empfindlichkeit (positive bzw. negative Werte) angeben als auch eine zeitliche Konstanz, d.h. konstante Ankopplungsbedingungen, belegen. Eine graduelle Abnahme der Empfindlichkeit ist bei Aufnehmer 16 zu verzeichnen. Falls diese anhält, muß eine Neuinstallation durchgeführt werden. Aufnehmer 20 zeigte ebenfalls Abweichungen, die nach langer Fehlersuche auf schadhafte Leitungsabschnitte zurückgeführt werden konnten. Weiter sind die Gesamtanzahl der georteten Ereignisse im Zeitraum angegeben, der mittlere Wert der Steigung der Ausgleichsgeraden durch die Amplituden der Aufnehmer in db/10m (siehe Abschnitt 2.7.2) und die mittlere Magnitude in dB im jeweiligen Zeitraum. Diese Werte zeigen nur geringe Variationen. Im Vergleich mit der Anlage auf der 1. Sohle tritt hier ein (vom Betrag her) größerer Wert der mittleren Steigung der Ausgleichsgeraden auf (siehe Abschnitt 2.7.4.2). Da die Steigung ein Maß für die Dämpfungseffekte auf den Laufwegen ist, bedeutet der höhere Wert, daß im Bereich der Südstrecke stärkere Dämpfung als im Zentralteil auftritt. Eine mögliche Erklärung ist der höhere Grad an Auflockerung im Südfeld, d.h. Mikro- und Makrorißbildung, wie dies sowohl durch die engräumigere Durchbauung vermutet werden muß als auch durch die höheren mikroakustischen Ereignisraten belegt wird. An den Rissen werden die akustischen Wellen gestreut. Dieser Prozeß hängt von der Dichte, aber auch der Orientierung, Größe und Öffnungsweite der Risse ab.

Für den Berichtszeitraum werden nachfolgend die kumulativen Häufigkeitsverteilungen für den gesamten Untersuchungsbereich und für 6 einzelne Ortungsbereiche analog zur Vorgehensweise in Abschnitt 2.7.4.2 angegeben. Die räumliche Begrenzung der Bereiche sowie eine Beschreibung der Lage und der Geologie ist Tabelle 2.7.4 zu entnehmen (Grenzen in x, y und z im geographischen Bezugssystem). Es handelt sich um den nördlichen Bereich des Netzwerks bzw. der Abbaue jeweils über und unter der Südstrecke (1 und 2), den südlichen Bereich jeweils über und unter der Südstrecke (3 und 4) sowie Bereich 5 westlich und unterhalb der Abbaue mit einem Muldenkern von z3AM und Bereich 6 westlich und unterhalb der Abbaue, der teilweise im Anhydrit z3HA liegt. Zur Einordnung der Lage der Bereiche können die Anlagen 2.7.39 und 2.7.48 dienen.

In den Anlagen 2.7.49 - 2.7.55 findet man im Kopf die Nummer des Bereichs, die räumlichen Grenzen und die Anzahl der Ereignisse in diesen räumlichen und zeitlichen Abschnitten. Die mittlere Magnitude, die auch angegeben ist, ist für zeitliche Variationen in einzelnen Bereichen interessant. Sie hängt von der Entfernung des Bereichs zum Netzwerk ab, da die Empfindlichkeit für schwache Ereignisse mit der Entfernung stark abnimmt. Interessant ist der Vergleich der Anzahl der Ortungen in den Bereichen 1 bis 4 mit identischen Volumina. In den Bereichen 2 und 4 unter der Südstrecke, d.h. in der Schweben zu den Abbauen 2 und 3 der 5a-Sohle, treten in der Summe annähernd doppelt soviel Ereignisse auf wie in den Bereichen 1 und 3 oberhalb der Südstrecke in der Schweben zu den Abbauen 9n und 9s der 4a-Sohle. Dies ist für den Bereich 4 in der Schweben zwischen Südstrecke und Abbau 3 im Vergleich mit dem darüberliegenden Bereich 3 besonders ausgeprägt.

Die Verteilungen in den Anlagen zeigen jeweils eine untere Grenze, die der Detektionsschwelle für schwache Ereignisse im Bereich entspricht. Bis dorthin ist die Verteilung flach. Die Detektionsschwelle liegt für die abbaunahen bzw. netzwerknahen Bereiche bei 30 dB im Vergleich zu 20 dB bei der Anlage auf der 1. Sohle. Oberhalb dieser Schwelle erfolgt ein Abfall der Verteilung, der annähernd lineare Form besitzt und als dessen Steigung der b-Wert bestimmt wird, wie oben beschrieben. Die Sättigungsgrenze für die Magnituden liegt für die abbaunahen bzw. netzwerknahen Bereiche bei ca. 70 dB im Vergleich zu 60 dB bei der Anlage auf der 1. Sohle. Tabelle 2.7.4 enthält die

bestimmten b -Werte und die maximal möglichen Magnituden M_{\max} als Kennwert für die Magnitudenverteilung.

Wie bei der Anlage auf der 1. Sohle (Tabelle 2.7.2) findet man für die Bereiche, die völlig im Steinsalz liegen, b -Werte um 0.1 und maximal auftretende Magnituden um 75 dB. Man beobachtet auch hier, daß die Verteilungen im Steinsalz keinen exakt linearen Verlauf aufweisen, sondern eine leichte Krümmung zeigen (Der lineare Verlauf wird in der halblogarithmischen Auftragung der Magnituden in der Seismologie und in der Schallemissionsanalyse überwiegend gefunden.)

Im Bereich 5, in dem sich nach dem geologischen Modell ein Muldenkern aus z3AM befindet, erhält man einen niedrigeren b -Wert von 0.07 und maximal mögliche Magnituden von 100 dB. Diese Ereignisse tragen mit zum Knick bei 70 dB in der Magnitudenverteilung des Gesamtbereichs in Anlage 2.7.49 bei. In Bereich 6 kommen neben Anhydrit z3HA noch verschiedene Steinsalzarten, Salzton z3GT und das Kalilager z2SF vor. Die Verteilung hat mit 0.06 ebenfalls einen niedrigeren b -Wert als im Steinsalz und entspricht den Ergebnissen für die Mischbereiche bei der Anlage auf der 1. Sohle (siehe Tabelle 2.7.2).

2.7.5.3 Bewertung

Die ermittelten Ereignisraten an den einzelnen Aufnehmern und die Ortungsraten liegen in der Südstrecke über den Abbauen 2 und 3, 5a-Sohle, deutlich über denen im oberen Zentralteil im Bereich der Abbaureihen 1a und 2n, 1. bis 2. Sohle. Dies läßt auf eine höhere geomechanische Beanspruchung schließen. Die zeitlichen Variationen sind dabei gering und zeigen an, daß sich keine Änderungen der generellen geomechanischen Situation im Beobachtungszeitraum von September 1997 bis März 1998 ergeben haben. Die Ausprägung von Clustern mit stärkerer zeitlicher Variation wie im Zentralteil ist im relativ kurzen Meßzeitraum bisher nicht aufgefallen.

Die erzielte Ortungsgenauigkeit im Bereich des Netzwerks ist sehr hoch. Der Ortungsfehler liegt im Bereich des Netzwerks bei 1 m, so daß sich auch die Umrisslinien kleiner belasteter

Elemente wie Pfeiler oder Gebirgsbereiche um Rolllöcher deutlich in der mikroakustischen Aktivität abbilden.

Die Ereignisse konzentrieren sich überwiegend auf den Bereich um die Südstrecke auf der 4. Sohle und die darunter- sowie darüberliegenden Schweben zur 5a- Sohle und zur 4a- Sohle. Nur ein geringer Teil der Ereignisse wird außerhalb dieser Bereiche tiefer im Gebirge geortet (raschen Abklingen der Aktivität von den Hohlräume weg) In den Schweben findet eine intensive Auflockerung statt. Die höchste Ereignisdichte findet man an den sich gegenüberliegenden Seiten der Abbaue 2 bzw. 9n (südliches Ende) und der Abbaue 3 bzw. 9s (nördliches Ende). Dabei tritt wiederum die stärkste Aktivität in der Schweben zwischen Südstrecke, 4. Sohle, und Abbau 3, 5a-Sohle, auf. Betrachtet man nur stärkere Ereignisse mit $M > 50$ dB, findet man ähnliche starke Anhäufungen auch am südlichen Ende des Abbaus 3 bzw. an der östlichen Abbauecke des Abbaus 2.

In der Nähe der Risse im Oststoß der Südstrecke, 4 Sohle, über Abbau 2 findet man intensive mikroakustische Aktivität zwischen der Südstrecke und dem Abbau 9n, 4a-Sohle. Verglichen damit findet man nur schwache Aktivität im Bereich der Risse am Weststoß der Südstrecke über Abbau 3. Dies korrespondiert mit den Fissurometermessungen: die Fissurometer am Oststoß zeigen höhere Raten der Rißöffnung als die am Weststoß.

Eine Zuordnung der Aktivität zu Variationen in der Geologie ist nur für einen kleinen Teil der Ereignisse möglich. Zum einen kann man eine schwache Aktivität oberhalb der Firste des Abbaus 3 feststellen, wo das schmale Kalilager z2SF mit Übergangsschichten verläuft. Zum anderen kann man eine weiter entfernte Aktivität in einem Muldenkern aus Anhydritmittelsalz z3AM feststellen. Diese Steinsalzvarietät fällt auch in den Ergebnissen der Anlage der 1. Sohle auf. Zu vermuten ist eine erhöhte Rißbildungsrate aufgrund der Materialunterschiede zwischen dem Steinsalz und den auftretenden Anhydritmitteln im z3AM. Im Bereich des Anhydrits z3HA und des Salztons z3GT östlich der Abbaue ist bisher nur eine schwache, diffuse Aktivität feststellbar. Es ist aber keine Zuordnung von Ereignissen zum Übergang von Steinsalz und Anhydrit möglich wie bei den Messungen im Zentralteil.

Die Auswertung der Amplituden und der Häufigkeitsverteilung der Magnituden ergibt ähnliche Resultate wie auf der 1. Sohle im Zentralteil (siehe Abschnitt 2.7.4.3). Bereiche

im Steinsalz zeichnen sich durch **b**-Werte um 0.1 und eine Begrenzung der Magnituden auf maximale Werte um 75 dB aus.

Ausblick

Die Anlage wird bis auf weiteres am Standort weiter betrieben, um eine Bestätigung und Erweiterung der bisherigen Ergebnisse zu erhalten und den Bereich der Südstrecke über den Einlagerungskammern 2 und 3 zu überwachen

Eine detaillierte Auswertung der mikroakustischen Aktivität im Südfeld soll erfolgen, wobei ein Vergleich mit Ergebnissen der geomechanischen Modellberechnungen durchgeführt werden wird und spezielle bergbauliche Randbedingungen im Südfeld berücksichtigt werden sollen

3 Zusammenfassende Bewertung

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse geomechanischer und markscheiderischer Messungen dargestellt. Die einzelnen Abschnitte enthalten Bewertungen, die hier in knapper Form zusammengefaßt werden.

Bei den Konvergenzmessungen im neuen Stationsnetz zeigen mittlerweile rund 50% der insgesamt 171 Stationen signifikante Meßwerte an. Die aufgetretenen Konvergenzen und Verformungen sind gering, wie es die bisher vorliegenden Messungen auch schon gezeigt haben. Dies trifft besonders auf die älteren Abbau mit Standzeiten von über 20 Jahren zu. Hier treten überwiegend Konvergenzkurven mit konstanter Steigung auf, die das Vorliegen eines stationären Verformungszustandes anzeigen. Die (vom Betrag her) maximal ermittelte Konvergenzrate in den älteren Abbauen beträgt -2.9 mm/a . Ein Teil der Stationen zeigt eine Tendenz zur Divergenz, d.h. Verlängerung der Meßstrecken, bei geringen Konvergenzraten von maximal 0.6 mm/a . Höhere Konvergenzraten sind bei Neuauffahrungen von Strecken beobachtet worden. Sie klingen mit der Zeit ab. Abschätzungen für die Flächenänderungsraten und die volumetrischen Konvergenzraten können für Langzeitsicherheitsrechnungen und Rechnungen zur Wirkungsweise von Versatzmaßnahmen herangezogen werden.

Die Fissurometermessungen an Rissen in den Stößen von Hohlräumen auf der 1. und 4. Sohle zeigen an einem Teil der Risse nur geringe Bewegungen bis maximal 0.3 mm/a Verschiebungsgeschwindigkeit. An den meisten Rissen ist eine geringe Rißöffnungsgeschwindigkeit bis maximal 0.2 mm/a festzustellen. Die ermittelten Raten sind mit den Öffnungsweiten an intakten alten Gipsmarken im Abbau 2n, 1. Sohle, vereinbar. Auch die Ergebnisse von Konvergenzmessungen in der Nähe passen zu den mit Fissurometern bestimmten Öffnungsweiten.

Bei der Lageänderungsmessung im Abbau 2n, 2. Sohle Bartensleben, haben sich die bisher feststellbaren Trends in der Bohrung bestätigt. Die Raten der Verformungen haben sich auf einem niedrigeren Niveau als bei den ersten Folgemessungen stabilisiert, was auf Abklingen von Einbaueffekten zurückzuführen ist. Auffällig sind stärkere Neigungsänderungen an der Grenze zwischen Liniensalz z3LS und Anhydrit z3HA, aber auch Bereiche mit Verformungen in der axialen Richtung des Bohrlochs innerhalb des

Liniensalzes, am Übergang Liniensalz - Anhydrit und im Bereich des grauen Salztons z3GT. Die Bewegungen am Übergang Liniensalz - Anhydrit deuten eine Scherung an. Bei der z.Zt. noch nicht möglichen abschließenden Bewertung der Messungen müssen komplexe geologische Verhältnisse berücksichtigt werden, wie neue Bohrungen in diesem Bereich ergeben haben.

Für die untertägigen als auch die übertägigen Höhenmessungen standen erstmals zusammenhängende Auswertungen des sehr heterogenen Datenmaterials zur Verfügung. Mit dem Auswerteverfahren nach dem Kalman-Filter wurde ein Werkzeug benutzt, das den schwierigen Randbedingungen weitgehend gewachsen war, um aussagekräftige und belastbare Ergebnisse zu erzeugen. Neben der jeweils aktuellen Gesamtverformung eines jeden Meßpunktes zwischen Nullmessung und Wiederholungsmessung liefert das Verfahren eine jährliche Punktgeschwindigkeit. Diese wird unter Benutzung statistischer Methoden, die die Genauigkeit und Vertrauenswürdigkeit jeder Meßepoche einfließen lassen, über einen linearen Verformungsansatz ermittelt. Diese geglättete Geschwindigkeit ermöglicht einen direkten Vergleich aller Meßpunkte untereinander. Obwohl beide Höhenmessungen 1970 eingerichtet wurden, konnten die Auswertungen aufgrund der zugänglichen Datenlage erst ab 1979 ausgewertet werden. Mit der Übernahme der Grube durch die DBE wurden beide Nivellementnetze überarbeitet und auf einen modernen Standard gebracht. Ab diesem Zeitpunkt (1994 für die untertägige Höhenmessung und 1992 für die übertägige Höhenmessung) erfolgt eine eigenständige Auswertung dieser Meßepochen, die einen Vergleich zu den vorangegangenen Meßepochen erlaubt.

Die Ergebnisse des untertägigen Nivellements zeigen, daß relative Verformungsmaxima (i.d.R. Senkungen) in Bereichen höheren Durchbaugrades und an Brückenfeldern auftreten. Hier sind der Zentralbereich in der Hauptmulde, die Umgebung der Schächte und die 1. südliche Richtstrecke der 4. Sohle Bartensleben zu nennen. Durch höhere Senkungen etwas auffällig sind Streckenabschnitte, die im Hauptsalz der Staßfurtfolge (z2HS) angelegt wurden. Die Verformungen in dieser geologischen Formation sind auf das i.a. gute Kriechvermögen zurückzuführen. Punktuell werden an Meßpunkten im Kaliflöz Staßfurt (z2SF) erhebliche Senkungen beobachtet, die den guten bis sehr guten Kriech Eigenschaften dieses Gesteins in Verbindung mit einem erhöhten Durchbaugrad zuzuschreiben sind. Die maximalen längerfristigen Geschwindigkeiten betragen knapp 2 mm/a. Allgemein lassen sich höhere Verformungsraten besonderen Bedingungen

zuordnen wie z.B. höherer Durchbauungsgrad, besondere geologische Verhältnisse, besondere Kriecheigenschaften, und sind damit plausibel zu erklären. Die Bereiche des Abbaus 1a auf der 1. Sohle Bartensleben, des Lagers H und der Bunten Firste im Grubenteil Marie sind im untertägigen Nivellement unauffällig.

Die Auswertung des übertägigen Nivellements ergab für das Meßgebiet komplexe Bewegungsvorgänge, die eine Aufgliederung in einzelne Bereiche mit ähnlichem Verhalten nahelegt. Die Ursachen der Bewegungen scheinen vielfältig zu sein und müssen im Einzelnen noch untersucht und durch die weiteren Messungen überprüft werden. Der Einfluß des Bergbaus - soweit er erkennbar ist - bleibt auf die nähere Umgebung der Schachanlage begrenzt. Lediglich für den Südtail der Grube Bartensleben oberhalb des westlichen Ostquerschlages zwischen Südfeld und Zentralteil ist eine Einwirkung auf die Geländeoberfläche ableitbar. Die Größenordnung wird mit ca. 1 mm/a abgeschätzt.

Die mikroakustischen Messungen im Zentralteil belegen, daß im Gebirge Deformationen auftreten, die mit der Bildung von überwiegend kleinen Rissen (Auflockerung) verbunden sind. Der größere Teil der Aktivität konzentriert sich auf abbaunahe Bereiche in Pfeilern und Schweben. Auf lange Sicht sind in einigen Bereichen die Bildung oder Erweiterung größerer Risse nicht auszuschließen (nördlicher Bereich der Schweben zwischen den Abbauen 2n auf der 1. Sohle und der 2a-Sohle, Firste Abbau 1a 2. Sohle). Tiefer im Gebirge werden sowohl im Steinsalz als auch im Anhydrit Bereiche mit mikroakustischer Aktivität festgestellt. Die nach einer Optimierung der Anlage erhaltenen Daten belegen die Aktivität westlich der Abbaue an der Grenze Steinsalz-Anhydrit besser als bisher (u.a. Cluster in Form von Ringen). Sie zeigen auch, daß weiter weg vom Netzwerk - etwa am Hauptquerschlag - wesentlich mehr Ereignisse westlich und oberhalb der Abbaue zu finden sind als im Bereich des Netzwerks. Dies deutet eine stärkere geomechanische Beanspruchung am Hauptquerschlag als im Bereich des Netzwerks an. Vom Hauptquerschlag sind die Abbaue des Zentralteils nach Norden und Süden aufgeföhren worden.

In diesem Bericht wird erstmalig über die mikroakustischen Messungen in der Südstrecke, 4. Sohle Bartensleben über den Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle berichtet. Hier konzentriert sich die Aktivität auf den Bereich um die Südstrecke. Die ermittelten Ereignis- und Ortungsraten sind deutlich höher als im Zentralteil. Dies belegt eine starke geomechanische Beanspruchung der Schweben zwischen der 4. Sohle und der 5a- bzw.

auch 4a-Sohle. Die meisten Ereignisse treten zwischen der Sohle der Südstrecke und der Firste des Abbaus 3, 5a-Sohle, auf. Weiter weg vom Netzwerk gibt es nur einen Bereich in einem Muldenkern aus Anhydritmittelsalz, in dem eine bemerkenswerte Ansammlung von Ereignissen gefunden wird.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesminister des Inneren (1983): Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission: Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk, Bonn.
- [2] BGR (1998): Bewertung geomechanischer und markscheiderischer Messungen; Zwischenbericht 1/1996 - 6/1997; 1. Revision. BGR-Archiv-Nr.: 117 130, Hannover, 16.3.1998.
- [3] DBE (1997): Konvergenzmessung im ERA Morsleben 1970 bis 1996. DBE-Kennzeichnung 9M/Y/GB/BZ/001/00 vom 16.1.97 und Anlagenbericht vom 13.1.97, DBE-Kennzeichnung 9M/Y/GB/BZ/002/00, Peine.
- [4] DBE (1998): Konvergenzmessungen im ERA Morsleben im Zeitraum 1.1.97 bis 31.12.97. DBE-Kennzeichnung 9M/Y/GB/BZ/0003/00 vom 10.2.98 und Anlagenbericht vom 17.2.98, DBE-Kennzeichnung 9M/Y/GB/BZ/0002/01, Peine.
- [5] DBE (1998): Verformungsmessungen im Bereich des Abbaus 1a auf der -253 mNN-Sohle. DBE-Kennzeichnung 9M/09YER21/GB/BZ/0001/00 vom 23.1.98, Peine.
- [6] DBE (1997): Geotechnische Messungen - Fissurometer 10/95 - 5/97. DBE-Kennzeichnung 9M/Y/GC/BZ/0013/00 vom 11.6.97, Peine.
- [7] DBE (1997): Lageänderungsbohrung RB801 Messung 3/97, DBE-Kennzeichnung 9M/12YER22/RB801/GC/BZ/0002 vom 5.5.97, Peine.
- [8] DBE (1998): Lageänderungsbohrung RB801 Messungen 6/97 und 9/97, DBE-Kennzeichnung 9M/12YER22/RB801/GC/BZ/00 vom 6.1.98, Peine.
- [9] DBE (1997): Höhenmessung unter Tage im Zeitraum 1970 bis 1996. DBE-Dok. 9M/213200130/99Y/GB/BZ/0003/00, Peine, 10.09.97.

- [10] DBE (1998): Höhenmessung unter Tage im Zeitraum 1994 bis 1997. DBE-Dok. 9M/99Y/GB/BZ/0004/00, Peine, 02.03.98.
- [11] BGR (1993): Abschlußbericht AP 9M 213 100 11. BGR-Archiv-Nr.:110 422 (Hannover) und 202 429 6 (Berlin), März 1993.
- [12] DBE (1996): Auswertung von Höhenmessungen unter Tage im Zeitraum von 1984 bis 1992. DBE-Dok. 9K73187.31/BG/0031/00, Peine, 09.09.1996.
- [13] BGR (1998): Ingenieurgeologische Erkundung von Homogenbereichen. Abschlußbericht zum AP 9M 21310015. BGR-Archiv-Nr. 117 213, Hannover, Mai 1998.
- [14] DBE (1997): Höhenmessung über Tage im Zeitraum 1970 bis 1995. -DBE-Dok 9M/GB/BZ/0006/00, Peine, 30.07.1997.
- [15] DBE (1998): Höhenmessungen über Tage im Zeitraum 1992 bis 1997, -DBE-Dok. 9M/GB/BZ/0007/00, Peine, 06.02.1998.
- [16] HUNSCHE, U. (1993): Failure behavior of rock salt around underground cavities. Proc. of th Seventh. Syposium of Salt, Vol.1, p. 59 - 65, Elsevier Science Publishers B.V., Amserdam.
- [17] HUNSCHE, U. & SCHULZE, O. (1994): Das Kriechverhalten von Steinsalz. Kali und Steinsalz, Band 11, S. 238-255.
- [18] Symbolschlüssel Geologie, Hrg. NLFb und BGR, E. Schweizerbart' sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, 1991.

5 Abkürzungsverzeichnis

AE	Akustische Emission
AP	Arbeitspaket
CG	Geotechnische Meßstelle (Bezeichnung der DBE, hier für K - Konvergenz- und E - Extensometermessungen)
dB	Dezibel
$\dot{\epsilon}_H$	Horizontale Verformungsrate (Konvergenzmessungen)
$\dot{\epsilon}_V$	Vertikale Verformungsrate (Konvergenzmessungen)
$\dot{\epsilon}_F$	Rate der Querschnittsänderung von Strecken und Abbaukammern
$\dot{\epsilon}_{vol}$	Rate der Volumenänderung von Abbaukammern (Volumetrische Konvergenzrate)
F	Querschnittsfläche von Hohlräumen
h	Horizontal
K_H	Horizontale Konvergenzrate oder -geschwindigkeit
K_V	Vertikale Konvergenzrate oder -geschwindigkeit
L	Abstand zwischen 2 Ankerpunkten eines Extensometers
L_H	Länge der horizontalen Meßstrecke (Konvergenzmessungen)
L_V	Länge der vertikalen Meßstrecke (Konvergenzmessungen)
RB	Bohrloch (Bezeichnung von Anlagenteilen der DBE)
UMF	Untertagemeßfeld
v	Vertikal
YEA	Allgemeine Strecke (Bezeichnung von Anlagenteilen der DBE)
YEQ	Querschlag (Bezeichnung von Anlagenteilen der DBE)
YER	Richtstrecke (Bezeichnung von Anlagenteilen der DBE)
z....	Zechstein (in stratigraphischer Bezeichnung, siehe [18])

6 Verzeichnis der Tabellen

Zu Abschnitt 2.1) Konvergenzmessungen

- Tabelle 2.1.1: Konvergenzstationen Grube Marie -195mNN Sohle.
 Tabelle 2.1.2: Konvergenzstationen Grube Marie -231mNN Sohle.
 Tabelle 2.1.3: Konvergenzstationen Grube Bartensleben: Schacht.
 Tabelle 2.1.4: Konvergenzstationen Grube Bartensleben -245 mNN und -253 mNN (1a und 1. Sohle).
 Tabelle 2.1.5: Konvergenzstationen Grube Bartensleben -291 mNN (2. Sohle).
 Tabelle 2.1.6: Konvergenzstationen Grube Bartensleben -332 mNN und -346 mNN (3. und 4a Sohle).
 Tabelle 2.1.7: Konvergenzstationen Grube Bartensleben 4. Sohle -372 mNN (4. Sohle).
 Tabelle 2.1.8: Zusammenstellung der Stationen mit signifikanten Meßergebnissen Grube Marie.
 Tabelle 2.1.9: Zusammenstellung der Stationen mit signifikanten Meßergebnissen Grube Bartensleben 1. Sohle.
 Tabelle 2.1.10: Zusammenstellung der Stationen mit signifikanten Meßergebnissen Grube Bartensleben 2. Sohle.
 Tabelle 2.1.11: Zusammenstellung der Stationen mit signifikanten Meßergebnissen Grube Bartensleben 3. Sohle.
 Tabelle 2.1.12: Zusammenstellung der Stationen mit signifikanten Meßergebnissen Grube Bartensleben 4. Sohle.

Zu Abschnitt 2.3) Fissurometermessungen

- Tabelle 2.3.1: Lage, Geologie und ermittelte Raten der Relativverschiebungen an den Fissurometern von 1995 - 1997.

Zu Abschnitt 2.4) Lageänderungsmessungen

- Tabelle 2.4.1: Tektonische und bohrtechnische Aufnahme der Bohrung RB801 durch BGR (2 Blätter).

Zu Abschnitt 2.5) Untertägige Höhenmessungen

- Tabelle 2.5.1: Ausgewählte Höhenänderungen im Grubengebäude Bartensleben.
 Tabelle 2.5.2: Mittlere maximale Senkungsgeschwindigkeiten im untertägigen Nivellement.

Zu Abschnitt 2.7) Mikroakustische Messungen

- Tabelle 2.7.1: Mikroakustik Zentralteil ERAM: Amplitudenanalyse und Magnitudenbestimmung 7/97 - 1/98.
 Tabelle 2.7.2: Mikroakustik Zentralteil ERAM: Bereiche für die Bestimmung der kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden und pauschale Kennwerte b und M_{\max} der Verteilungen 7/97 - 1/98.
 Tabelle 2.7.3: Mikroakustik Südfeld ERAM: Amplitudenanalyse und Magnitudenbestimmung 9/97 - 3/98.
 Tabelle 2.7.4: Mikroakustik Südfeld ERAM: Bereiche für die Bestimmung der kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden und pauschale Kennwerte b und M_{\max} der Verteilungen 9/97 - 3/98.

7 Verzeichnis der Anlagen

Zu Abschnitt 2.1) Konvergenzmessungen

- Anlage 2.1.1: Sohlenriß -195 m NN Sohle Marie, Konvergenzstationen
- Anlage 2.1.2: Sohlenriß -231 m NN Sohle Marie, Konvergenzstationen und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.3: Sohlenriß -231 m NN Sohle Marie (Nordteil), Konvergenzstationen
- Anlage 2.1.4: Sohlenriß -332 m NN Sohle Marie, Nivellementlinien
- Anlage 2.1.5: Sohlenriß 1a Sohle und 1. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen, Fissurometer und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.6: Sohlenriß Detaildarstellung Abbau 1a und 2n 1. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Fissurometer
- Anlage 2.1.7: Sohlenriß 2. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.8: Sohlenriß 3. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.9: Sohlenriß 4a Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen
- Anlage 2.1.10: Sohlenriß 4 Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen, Fissurometer und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.11: Sohlenriß Detaildarstellung Südstrecke 4. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Fissurometer
- Anlage 2.1.12: Querschnitt durch den Zentralteil direkt nördlich der Ostquerschläge mit Konvergenzstationen in Abbaukammern und Geologie
- Anlage 2.1.13: Konvergenzgeschwindigkeiten -195 m Sohle Marie
- Anlage 2.1.14: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) -195 m Sohle Marie
- Anlage 2.1.15: Konvergenzstation, Grube Marie - 195 m Sohle, Lager H, Ebene 2, 02 YER 71 CG 002 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.16: Konvergenzmessungen CG 002 K
- Anlage 2.1.17: Konvergenzstation, Grube Marie - 195 m Sohle, Lager H, Ebene 2, 02 YER 71 CG 003 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.18: Konvergenzmessungen CG 003 K
- Anlage 2.1.19: Konvergenzgeschwindigkeiten -231 m NN Sohle Marie, Bereich Nordstrecke und Südstrecke A
- Anlage 2.1.20: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) -231 m NN Sohle Marie, Bereich Nordstrecke und Südstrecke A
- Anlage 2.1.21: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Nordstrecke B, 07 YEA 74 CG 311 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.22: Konvergenzmessungen CG 311 K
- Anlage 2.1.23: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Nordstrecke E, Kammer 123, 07 YEA 77 CG 321 K-A: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.24: Konvergenzmessungen CG 321 K-A
- Anlage 2.1.25: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Nordstrecke E, Kammer 123, 07 YEA 77 CG 321 K-B: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)

- Anlage 2.1.26: Konvergenzmessungen CG 321 K-B
 Anlage 2.1.27: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Südstrecke A, 07 YEA 83 CG 289 K-A: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.28: Konvergenzmessungen CG 289 K-A
 Anlage 2.1.29: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Südstrecke A, 07 YEA 83 CG 289 K-B: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.30: Konvergenzmessungen CG 289 K-B
 Anlage 2.1.31: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Westquerschlag, 07 YEQ 03 CG 139 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.32: Konvergenzmessungen CG 139 K
 Anlage 2.1.33: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Ostquerschlag, 07 YEQ 04 CG 132 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.34: Konvergenzmessungen CG 132 K
 Anlage 2.1.35: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 3. Nordquerschlag, Kammer 87, 07 YEQ 74 CG 290 K-A: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.36: Konvergenzmessungen CG 290 K-A
 Anlage 2.1.37: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 3. Nordquerschlag, Kammer 87, 07 YEQ 74 CG 290 K-B: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.38: Konvergenzmessungen CG 290 K-B
 Anlage 2.1.39: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Nordstrecke, 07 YER 71 CG 310 K-A: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.40: Konvergenzmessungen CG 310 K-A
 Anlage 2.1.41: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Nordstrecke, 07 YER 71 CG 310 K-B: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.42: Konvergenzmessungen CG 310 K-B
 Anlage 2.1.43: Konvergenzgeschwindigkeiten -231 m NN Sohle Marie, Bereich Lagerteile E - M
 Anlage 2.1.44: Verformungsgeschwindigkeiten -231 m NN Sohle Marie, (relative Längenänderungen) Bereich Lagerteile E - M
 Anlage 2.1.45: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Ostquerschlag, 07 YEQ 04 CG 121 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.46: Konvergenzmessungen CG 121 K
 Anlage 2.1.47: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 1. Nordquerschlag, 07 YEQ 72 CG 102 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.48: Konvergenzmessungen CG 102 K
 Anlage 2.1.49: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 2. Nordquerschlag, 07 YEQ 73 CG 159 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.50: Konvergenzmessungen CG 159 K

- Anlage 2.1.51: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 1. Südquerschlag, 07 YEQ 81 CG 233 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.52: Konvergenzmessungen CG 233 K
- Anlage 2.1.53: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 3. Südstrecke, Lagerteil K, 07 YER 71 CG 294 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.54: Konvergenzmessungen CG 294 K
- Anlage 2.1.55: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Lagerteil H, 07 YER 72 CG 316 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.56: Konvergenzmessungen CG 316 K
- Anlage 2.1.57: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 2. Südstrecke, 07 YER 83 CG 296 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.58: Konvergenzmessungen CG 296 K
- Anlage 2.1.59: Konvergenzgeschwindigkeiten 1. Sohle Bartensleben
- Anlage 2.1.60: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) 1. Sohle Bartensleben
- Anlage 2.1.61: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Ostquerschlag, 09 YEQ 01 CG 017 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.62: Konvergenzmessungen CG 017 K
- Anlage 2.1.63: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Ostquerschlag, 09 YEQ 01 CG 020 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.64: Konvergenzmessungen CG 020 K
- Anlage 2.1.65: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Ostquerschlag, 09 YEQ 01 CG 086 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.66: Konvergenzmessungen CG 086 K
- Anlage 2.1.67: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordstrecke, 09 YER 21 CG 038 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.68: Konvergenzmessungen CG 038 K
- Anlage 2.1.69: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordstrecke, 09 YER 21 CG 078 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.70: Konvergenzmessungen CG 078 K
- Anlage 2.1.71: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordfeld, Bereich Abbau 1a, 09 YER 21 CG 702 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.72: Konvergenzmessungen CG 702 K
- Anlage 2.1.73: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Südfeld, 09 YEA 51 CG 081 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.74: Konvergenzmessungen CG 081 K
- Anlage 2.1.75: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Richtstrecke-Südostfeld, 09 YER 51 CG 075 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)

- Anlage 2.1.76: Konvergenzmessungen CG 075 K
 Anlage 2.1.77: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Abbau 2n, 09 YER 21 CG 083 K, alt: 1.1(v) / 1.2(h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.78: Konvergenzmessungen CG 083 K
 Anlage 2.1.79: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Lagerteil B, 09 YEA 21 CG 088 K; Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.80: Konvergenzmessungen CG 088 K
 Anlage 2.1.81: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Lagerteil B, 09 YEA 32 CG 084 K; Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.82: Konvergenzmessungen CG 084 K
 Anlage 2.1.83: Konvergenzgeschwindigkeiten 2. Sohle Bartensleben
 Anlage 2.1.84: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) 2. Sohle Bartensleben
 Anlage 2.1.85: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Ostquerschlag, 12 YEQ 01 CG 004 K; Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.86: Konvergenzmessungen CG 004 K
 Anlage 2.1.87: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Richtstrecke Südostfeld, 12 YER 51 CG 067 K; Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.88: Konvergenzmessungen CG 067 K
 Anlage 2.1.89: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 3n, 12 YEA 22 CG 132 K, alt: 2.7(h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.90: Konvergenzmessungen CG 132 K
 Anlage 2.1.91: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 4n, 12 YEA 23 CG 133 K, alt: 2.8 (v) / 2.9 (h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.92: Konvergenzmessungen CG 133 K
 Anlage 2.1.93: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 2n zu 3n, 12 YER 22 CG 134 K, alt: 2.5 (h) / 2.6 (v): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.94: Konvergenzmessungen CG 134 K
 Anlage 2.1.95: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 2n, 12 YER 22 CG 135 K, alt: 2.2 (v) / 2.3 (h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.96: Konvergenzmessungen CG 135 K
 Anlage 2.1.97: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Durchhieb Abbau 2n zu 3n, 12 YER 22 CG 136 K, alt: 2.4 (h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.98: Konvergenzmessungen CG 136 K
 Anlage 2.1.99: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 4s, 12 YER 52 CG 721 K, alt: 2.10 (h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
 Anlage 2.1.100: Konvergenzmessungen CG 721 K

- Anlage 2.1.101: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 13n, 12 YER 52 CG 722 K, alt: 2.12 (h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.102: Konvergenzmessungen CG 722 K
- Anlage 2.1.103: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Abbau 13n, 12 YER 52 CG 723 K, alt: 2.13 (v): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.104: Konvergenzmessungen CG 723 K
- Anlage 2.1.105: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Südfeld, Abbau 9n, 12 YER 31 CG 138 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.106: Konvergenzmessungen CG 138 K
- Anlage 2.1.107: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, 1. nördliche Richtstrecke, 12 YER 21 CG 125 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.108: Konvergenzmessungen CG 125 K
- Anlage 2.1.109: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, 2. südliche Richtstrecke, 12 YER 51 CG 124 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.110: Konvergenzmessungen CG 124 K
- Anlage 2.1.111: Konvergenzgeschwindigkeiten 3. Sohle Bartensleben
- Anlage 2.1.112: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) 3. Sohle Bartensleben
- Anlage 2.1.113: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Ostquerschlag, 15 YEQ 01 CG 015 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.114: Konvergenzmessungen CG 015 K
- Anlage 2.1.115: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Ostquerschlag, 15 YEQ 01 CG 018 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.116: Konvergenzmessungen CG 018 K
- Anlage 2.1.117: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Westquerschlag, 15 YEQ 02 CG 005 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.118: Konvergenzmessungen CG 005 K
- Anlage 2.1.119: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Verbindungsstrecke, 15 YEA 22 CG 057 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.120: Konvergenzmessungen CG 057 K
- Anlage 2.1.121: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, 2. nördl. Richtstrecke, 15 YER 22 CG 042 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.122: Konvergenzmessungen CG 042 K
- Anlage 2.1.123: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Querschlag, 15 YEQ 51 CG 111 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.124: Konvergenzmessungen CG 111 K
- Anlage 2.1.125: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, 1. südl. Richtstrecke, 15 YER 51 CG 073 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)

- Anlage 2.1.126: Konvergenzmessungen CG 073 K
- Anlage 2.1.127: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, 1. südl. Richtstrecke, 15 YER 51 CG 110 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.128: Konvergenzmessungen CG 110 K
- Anlage 2.1.129: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Abbausystem 1, nördl. Westfeld, 15 YEA 11 CG 001 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.130: Konvergenzmessungen CG 001 K
- Anlage 2.1.131: Konvergenzgeschwindigkeiten 4. Sohle Bartensleben
- Anlage 2.1.132: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) 4. Sohle Bartensleben
- Anlage 2.1.133: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Ostquerschlag, 17 YEQ 01 CG 023 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.134: Konvergenzmessungen CG 023 K
- Anlage 2.1.135: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Westquerschlag, 17 YEQ 02 CG 159 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.136: Konvergenzmessungen CG 159 K
- Anlage 2.1.137: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Abbau 3n, 17 YEA 27 CG 182 K, alt: 4.5 (v) / 4.6 (h): Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.138: Konvergenzmessungen CG 182 K
- Anlage 2.1.139: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, UMF I, 17 YEA 53 CG 732 K, alt: MF 1: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.140: Konvergenzmessungen CG 732 K
- Anlage 2.1.141: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, UMF I, 17 YEA 53 CG 735 K, alt: MF 2: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.142: Konvergenzmessungen CG 735 K
- Anlage 2.1.143: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, UMF I, 17 YEA 53 CG 738 K, alt: MF 3: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.144: Konvergenzmessungen CG 738 K
- Anlage 2.1.145: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Ostquerschlag, nördl. Abbau, 17 YER 42 CG 154 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.146: Konvergenzmessungen CG 154 K
- Anlage 2.1.147: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Flächen 4, 17 YEA 63 CG 153 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.148: Konvergenzmessungen CG 153 K
- Anlage 2.1.149: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Nordstrecke, 17 YER 21 CG 046 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.150: Konvergenzmessungen CG 046 K

- Anlage 2.1.151: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Nordstrecke, 17 YER 21 CG 050 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.152: Konvergenzmessungen CG 050 K
- Anlage 2.1.153: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Nordstrecke, 17 YER 21 CG 053 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.154: Konvergenzmessungen CG 053 K
- Anlage 2.1.155: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südostfeld, Querschlag, 17 YEQ 53 CG 181 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.156: Konvergenzmessungen CG 181 K
- Anlage 2.1.157: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Ostquerschlag, 17 YEQ 01 CG 151 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.158: Konvergenzmessungen CG 151 K
- Anlage 2.1.159: Konvergenzgeschwindigkeiten 4. Sohle Bartensleben Wetterstrecke
- Anlage 2.1.160: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) 4. Sohle Bartensleben Wetterstrecke
- Anlage 2.1.161: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 165 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.162: Konvergenzmessungen CG 165 K
- Anlage 2.1.163: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 178 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.164: Konvergenzmessungen CG 178 K
- Anlage 2.1.165: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke Meßquerschnitt 02, 17 YEA 34 CG 166 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.166: Konvergenzmessungen CG 166 K
- Anlage 2.1.167: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 167 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.168: Konvergenzmessungen CG 167 K
- Anlage 2.1.169: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 168 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.170: Konvergenzmessungen CG 168 K
- Anlage 2.1.171: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 169 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.172: Konvergenzmessungen CG 169 K
- Anlage 2.1.173: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 170 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.174: Konvergenzmessungen CG 170 K
- Anlage 2.1.175: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 171 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)

- Anlage 2.1.176: Konvergenzmessungen CG 171 K
- Anlage 2.1.177: Konvergenzgeschwindigkeiten 4. Sohle Bartensleben Südstrecke
- Anlage 2.1.178: Verformungsgeschwindigkeiten (relative Längenänderungen) 4. Sohle Bartensleben Südstrecke
- Anlage 2.1.179: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, 1. südl. Richtstrecke, 17 YER 31 CG 061 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.180: Konvergenzmessungen CG 061 K
- Anlage 2.1.181: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, 1. südl. Richtstrecke, 17 YER 31 CG 068 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.182: Konvergenzmessungen CG 068 K
- Anlage 2.1.183: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, 1. südl. Richtstrecke, 17 YER 31 CG 069 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.184: Konvergenzmessungen CG 069 K
- Anlage 2.1.185: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 172 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.186: Konvergenzmessungen CG 172 K
- Anlage 2.1.187: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 173 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.188: Konvergenzmessungen CG 173 K
- Anlage 2.1.189: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 174 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.190: Konvergenzmessungen CG 174 K
- Anlage 2.1.191: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 175 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.192: Konvergenzmessungen CG 175 K
- Anlage 2.1.193: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 176 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.194: Konvergenzmessungen CG 176 K
- Anlage 2.1.195: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 177 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.196: Konvergenzmessungen CG 177 K
- Anlage 2.1.197: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, 1. südl. Richtstrecke, 17 YER 31 CG 071 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.198: Konvergenzmessungen CG 071 K
- Anlage 2.1.199: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 709 K: Lage und Meßquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.200: Konvergenzmessungen CG 709 K

Zu Abschnitt 2.3) Fissurometermessungen

- Anlage 2.3.1: SW - Stoß Abbau 2n, 1. Sohle Bartensleben, mit horizontal verlaufenden Rissen und Lage von intakten Gipsmarken.
- Anlage 2.3.2: Detailansicht der Risse mit intakten Gipsmarken von 1963 und 1967.
- Anlage 2.3.3: Segmentfissurometer: 1 - Riß im Gebirge oder Mauerfuge, 2 und 3 - Meßsegmente, 4 - Meßanschläge in u-, v- und w-Richtung, 5 - Tasteranschläge für Meßuhr, 6 - Bolzen zur Verankerung.
- Anlage 2.3.4: Ablesung des Meßwertes auf der Meßuhr in Richtung v längs zum Stoß.
- Anlage 2.3.5: Fissurometermessungen CG 089F
- Anlage 2.3.6: Fissurometermessungen CG 090F
- Anlage 2.3.7: Fissurometermessungen CG 091F
- Anlage 2.3.8: Fissurometermessungen CG 092F
- Anlage 2.3.9: Fissurometermessungen CG 093F
- Anlage 2.3.10: Fissurometermessungen CG 184F
- Anlage 2.3.11: Fissurometermessungen CG 185F
- Anlage 2.3.12: Fissurometermessungen CG 186F
- Anlage 2.3.13: Fissurometermessungen CG 187F

Zu Abschnitt 2.4) Lageänderungsmessungen

- Anlage 2.4.1: Lage der Meßbohrung RB801 im Abbau 2n, 2. Sohle Bartensleben, und weitere Angaben (Unterlage DBE).
- Anlage 2.4.2: Lage der Meßbohrung RB801 im Vertikalschnitt mit Geologie (Unterlage DBE).
- Anlage 2.4.3: Lageänderungsmessung RB801, 5. Folgemessung 3/97, Bezug Nullmessung 2/96: Extensometer - blau, Inklinometer - rot.
- Anlage 2.4.4: Lageänderungsmessung RB801, 5. Folgemessung 3/97, Bezug 2. Folgemessung 4/96: Extensometer - blau, Inklinometer - rot.

Zu Abschnitt 2.5) Untertägige Höhemessungen

- Anlage 2.5.1: Firstnivellement 2. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag (Ausschnitt).
- Anlage 2.5.2: Firstnivellement 4. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag (Ausschnitt 1).
- Anlage 2.5.3: Firstnivellement 4. Sohle Bartensleben, Ostquerschlag (Ausschnitt 2).
- Anlage 2.5.4: Firstnivellement 4. Sohle Bartensleben, Südstrecke (Ausschnitt).
- Anlage 2.5.5: Firstnivellement Marie, Querschlag Schachtbereich (Ausschnitt).

Zu Abschnitt 2.6) Übertägige Höhenmessungen

- Anlage 2.6.1: Meßreihen einzelner Höhenmeßpunkte von 1979 bis 1997.
- Anlage 2.6.2: Meßreihen einzelner Höhenmeßpunkte aus den Linien 3, 8 und 16 von 1983 bis 1997.
- Anlage 2.6.3: Meßreihen einzelner Höhenmeßpunkte aus der Linie 4 von 1983 bis 1997.
- Anlage 2.6.4: Höhenmeßpunkte mit Verformungen > 10 mm; Linie 4.
- Anlage 2.6.5: Höhenmeßpunkte mit Verformungen > 10 mm; Linie 5.
- Anlage 2.6.6: Höhenmeßpunkte mit Verformungen > 10 mm; Linien 3; 6; 8 und 16.
- Anlage 2.6.7: Isolinien der Höhenänderungen 1983 - 1995.
- Anlage 2.6.8: Isolinien der Höhenänderungen 05/1993 - 1997.
- Anlage 2.6.9: Geschwindigkeiten der Meßpunkte für das Jahr 1992.

Zu Abschnitt 2.7) Mikroakustische Messungen

- Anlage 2.7.1: Sondenanordnung Mikroakustik Zentralteil Bartensleben im Bereich 1. Sohle (-253 mNN) bis 2. Sohle (-291 mNN) mit Lage der Vertikalschnitte durch die Abbaureihe 1a (S1a: Schnittriß 3.3) und durch die Abbaureihen 2 - 4 (S2n)
- Anlage 2.7.2: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen 8/97, M > 0 dB; S - Sohle, F - Firste.
- Anlage 2.7.3: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen 8/97, M > 40 dB; S - Sohle, F - Firste.
- Anlage 2.7.4: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen 8/97, M > 50 dB; S - Sohle, F - Firste
- Anlage 2.7.5: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Vertikalschnitt S1a bzw. Schnittriß 3.3 mit Ortungen Bereich Abbaureihe 1a und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.6: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Vertikalschnitt S2n mit Ortungen Bereich Abbaureihe 2n, nördlicher Teil, und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.7: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Vertikalschnitt S2n mit Ortungen Bereich Abbaureihe 2n, südlicher Teil, und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.8: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -291 mNN bis -278 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.9: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -278 mNN bis -269 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.10: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -269 mNN bis -264 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.11: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -264 mNN bis -259 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.12: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -259 mNN bis -253 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.13: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -253 mNN bis -249 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.14: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -249 mNN bis -243 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.15: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -243 mNN bis -225 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.16: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich -225 mNN bis -200 mNN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 2/95 - 1/98.
- Anlage 2.7.17: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen westlich der Abbaue 2n und 1a, 2. - 2a-Sohle, für einzelne Monate (5/97 - 7/97)