

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Bewertung geomechanischer markscheiderischer Messungen,
Zusammenfassender Bericht - Verformungsmessungen

Autor: BGR

Erscheinungsjahr: 2001

Unterlagen-Nr.: P 126

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 Messmethoden und Auswertung	8
2.1.3 Ergebnisse	10
2.1.3.1 Allgemeine Beobachtungen	11
2.1.3.2 Messwerte an einzelnen Stationen	13
2.1.4 Bewertung	24
2.2 Extensometermessungen	27
2.2.1 Messlokationen	27
2.2.2 Messmethoden und Auswertung	28
2.2.3 Ergebnisse	29
2.2.3.1 Allgemeine Beobachtungen	29
2.2.3.2 Messwerte an den einzelnen Extensometern	30
2.2.4 Bewertung	35
2.3 Fissurometermessungen	37
2.3.1 Messziel und Messlokationen	37
2.3.2 Messmethode und Auswertung	38
2.3.3 Ergebnisse	39
2.3.4 Bewertung	41
2.4 Lageänderungsmessung 2. Sohle Bartensleben	43
2.4.1 Messziel und Messlokation	43
2.4.2 Messmethoden und Auswerteverfahren	44
2.4.3 Ergebnisse	44
2.4.4 Bewertung	46

	Seite	
2.5	Untertägige Höhenmessungen	48
2.5.1	Messnetz und Auswerteverfahren	48
2.5.2	Ergebnisse der Messungen	49
2.5.3	Bewertung der untertägigen Höhenmessungen	51
2.6	Übertägige Höhenmessungen	53
2.6.1	Herangehensweise und Darstellung der Höhenänderungen	54
2.6.2	Geologische und geographische Gegebenheiten	55
2.6.3	Höhenpunkte mit Hebungstendenz	56
2.6.4	Höhenpunkte mit Senkungstendenz	59
2.6.5	Bewertung	63
3	Zusammenfassung	67
4	Literaturverzeichnis	69
5	Verzeichnis der Tabellen	72
6	Verzeichnis der Anlagen	74

Tabellen (26 Seiten im Anlagenband)

Anlagen (157 Seiten im Anlagenband)

Gesamtblattzahl: 280

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren: Thomas Spies, Hajo Schnier, Johannes Gerardi, Detlef Backhaus

Titel: ERA Morsleben, 9M21330011, Bewertung geomechanischer und marktscheiderischer Messungen, Zusammenfassender Bericht Verformungsmessungen

Stichwörter:

Endlagerung radioaktiver Abfälle, Konvergenzmessungen, Extensometermessungen, Fissurometermessungen, Lageänderungsmessungen, Übertägige Höhenmessungen, Untertägige Höhenmessungen.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse von Konvergenzmessungen, Extensometermessungen, Fissurometermessungen, Lageänderungsmessungen, übertägigen und untertägigen Höhenmessungen im ERAM dargestellt. Der überwiegende Teil der Messergebnisse weist ein auf niedrigem Niveau gleichförmig fortschreitendes Verformungsverhalten aus. Die auftretenden Verformungen sind z.T. so gering, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden. Höhere Verformungen werden in Bereichen mit geringmächtigen Schweben bestimmt. Die mit Fissurometern erfassten Rissbildungen laufen überwiegend stetig und sehr langsam ab. Die beobachteten Divergenzen bei Konvergenzmessungen in stark durchbauten Grubenbereichen korrelieren z.T. mit Rissbildungen. Die Ergebnisse der Lageänderungsmessungen zeigen, dass bei entsprechender Belastung Bewegungen an den Grenzflächen zwischen duktilen und kompetenten Gesteinen im Gebirge stattfinden.

1 Veranlassung

Im Zuge der Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland mit der ehemaligen DDR hat die Bundesregierung das Endlager für radioaktive Abfälle 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. Die BGR nimmt im Auftrag des BfS im AP9M21330011 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 BUNDESMINISTER DES INNEREN, 1983).

In diesem Zwischenbericht werden die Ergebnisse von Konvergenzmessungen, Extensometermessungen, Fissurometermessungen, Lageänderungsmessungen, übertägigen und untertägigen Höhenmessungen dargestellt. Die Grundlage für die geologische Einordnung und Interpretation der Ergebnisse ist das von BGR erarbeitete geologische Lagerstättenmodell des ERAM (BEHLAU, MINGERZAHN, BORNEMANN, 1997).

2 Durchgeführte Arbeiten

2.1 Konvergenzmessungen

Bei den Konvergenzmessungen werden Messpunkte an bzw. in der unmittelbaren Nähe der Hohlraumkontur dauerhaft markiert (Fixpunkte). Die Veränderungen des Abstandes der Messpunkte (Länge der Messstrecke) werden wiederkehrend gemessen.

2.1.1 Stationsnetz

Das heute vorliegende Netz von Konvergenzstationen ist eine wesentliche Erweiterung des bis zur Wiedervereinigung betriebenen Netzes und stellt – wie auch die 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 184 Konvergenzmesstationen mit überwiegend jeweils 2 Messstrecken installiert, davon 43 in der Grube Marie und 141 in der Grube Bartensleben inklusive Schacht (siehe Zusammenstellung auf Seite 7 nach Unterlagen aus BUSSE, 2001).

In der Regel wurden die Konvergenzstationen mit horizontalen und vertikalen Messstrecken eingerichtet, z.T. konnte aber aus betriebstechnischen oder aus sicherheitstechnischen Gründen nur eine Messstrecke eingerichtet werden. Einige Stationen in Kammern der Grube Marie besitzen neben der vertikalen Messstrecke zwei zueinander senkrecht verlaufende horizontale Messstrecken. Die Tabellen 2.1.1 - 2.1.7 enthalten die Bezeichnung der Stationen, ihre Lage, die Geologie im Messquerschnitt, das Datum der Nullmessung, die Längen der Messstrecken in horizontaler Richtung L_H und vertikaler Richtung L_V sowie die Flächen der Messquerschnitte F .

Sohlenbezeichnung	Anzahl	Jahr der Installation und Anzahl der Stationen						
		1970 bis 1985	1993	1995	1996	1997	1998	1999
Marie:								
-195mNN-Sohle	6					4	2	
-231mNN-Sohle	37			21	16			
Marie gesamt	43			21	16	4	2	
Bartensleben:								
Schacht (Deckgeb.)	3					3		
1a Sohle (-245mNN)	2				2			
1. Sohle (-253mNN)	24	1		17	6			
2. Sohle (-291mNN)	27	8		12	2	5		
3. Sohle (-332mNN)	30			16	4			10
4a-Sohle (-346mNN)	2					1		1
4. Sohle (-372mNN)	53	5	14	26	6	2		
Bartensleben gesamt	141	14	14	71	20	11		11
Summe ERAM	184	14	14	92	36	15	2	11

Die von 1970 bis 1985 eingerichteten Stationen werden hier 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 BUSSE (1997) sowie LOMMERZHEIM (1998 und 2000) 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. Die Messpunkte der neuen Stationen wurden ab 1993 auf Spreizhülsenankern aufgeschraubt, die 80 cm tief im Gebirge verspannt sind, um die Erfassung oberflächennaher Aufblätterung in den Messungen auszuschließen. In Sonderfällen, wie der Bestimmung der Konvergenz zwischen gegenüberliegenden Extensometern oder in für schwere Bohrausrüstung unzu-

gänglichen Bereichen, wurden auch andere Vermarkungsarten für die neu eingerichteten Messstationen eingesetzt.

2.1.2 Messmethoden und Auswertung

Die Messmethoden und die Art der Aufbereitung der Daten wurde zwischen BGR und DBE vereinbart. Einzelheiten sind den o.g. Dokumentationen zu entnehmen. Der Standard für den Messrhythmus wurde mit einem halben Jahr festgelegt. Direkt nach Installation und Nullmessung sind die Zeitabstände zwischen den Folgemessungen geringer.

Altstationen 1970 - 1985

Bei den Altstationen sind die Messdrähte und Ableseeinrichtungen fest installiert. Die Messdrähte stehen permanent unter einer definierten Spannung. 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 Messunsicherheit wird von DBE aufgrund der nicht bekannten systematischen Einflüsse, der nicht ausführbaren Temperaturkorrektur und stochastischer Einflüsse auf ± 1 mm geschätzt, bei Messstreckenlängen über 20 m auf $\pm 1,5$ mm.

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 werden die eingesetzten Messgeräte überprüft, um Knicke im Maßband oder ähnliche Fehlereinflüsse auszuschalten. Bei den neuen Stationen wird die Temperatur ermittelt, und später wird eine Korrektur des Temperatureinflusses auf die Längenmessung durchgeführt. Die Temperaturschwankungen betragen maximal 2-3°C.

Unter Einbeziehung der o.g. Korrekturen gibt DBE die Messunsicherheit der Konvergenzmessung mit $\pm 0,5$ mm an

Bearbeitung durch BGR

Die Konvergenzgeschwindigkeiten K_H und K_V (hier auch Konvergenzraten genannt) 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 2.1.14).

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

Bei vielen Messtrecken überschreiten die Messwerte die Messgenauigkeit oder Signifikanzgrenze nicht. Im Fall der Neustationen lässt sich der mögliche Bereich der Konvergenzgeschwindigkeiten K_H und K_V mit rund $\pm 0,1$ mm/a abschätzen (mittlere Werte). Dabei wird vorausgesetzt, dass nach einer (im Falle der Neustationen typischen) Messdauer von 4 Jahren gerade die Signifikanzgrenze erreicht wurde und dass eine stetige Entwicklung der Konvergenzmesswerte vorliegt. Aus Gründen der praktischen Bestimmbarkeit der Konvergenzgeschwindigkeiten wird jedoch auf eine Angabe unter 0,2 mm/a verzichtet. Damit

bedeutet die Angabe des Wertes 0,0 mm/a eine geringe mögliche Spannweite von $\pm 0,2$ mm/a für die Konvergenzgeschwindigkeiten.

Bei den Altstationen liegt zwar die Signifikanzgrenze höher, dafür sind aber die Messzeiten bedeutend länger. Bei diesen Stationen werden in einigen deutlich bestimmbar Fällen auch Konvergenzgeschwindigkeiten mit Beträgen von 0,1 mm/a angegeben.

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

Die Raten der Flächen- bzw. Querschnittsverformungen $\dot{\epsilon}_F$ 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 dafür erforderliche Voraussetzung kleiner Verformungen ist erfüllt. In einigen Fällen wird der Querschnitt des Hohhaums nicht repräsentativ erfasst, und es muß mit größeren Fehlern als 10% gerechnet werden.

Die volumetrische Verformungsrate $\dot{\epsilon}_{vol}$ in Abbaukammern erhält man entsprechend durch Addition von 3 (linearen) Verformungsraten. Da nur in einigen Messquerschnitten der Grube Marie zwei zueinander senkrechte horizontale Richtungen erfasst werden, können nur in wenigen Fällen Angaben der volumetrischen Konvergenz gemacht werden.

2.1.3 Ergebnisse

Die vorliegenden Konvergenzmessungen umfassen den Zeitraum von 1970 bis Ende 1999 und wurden LOMMERZHEIM (2000) entnommen.

Die Tabellen 2.1.8 - 2.1.12 enthalten eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller Messstrecken für die Raten der Konvergenz, der linearen Verformungen sowie der Flächen- und der volumetrischen Verformungen für die Grube Marie und jeweils für die einzelnen Sohlen der Grube Bartensleben. Die Konvergenzraten werden in mm/a und die Verformungsraten in Promille/a ($10^{-3}/a$) angegeben.

Die Anlagen 2.1.13 – 2.1.136 enthalten für ausgewählte Stationen jeweils auf einem Blatt die Messquerschnitte sowie auf einem zweiten Blatt die Darstellung der Messwerte mit Angaben zur Station (inkl. Auffahrungsdatum des Hohlraums). Negative Messwerte der Konvergenz bedeuten eine Verringerung der Messstrecke - tatsächlich also eine Konvergenz - während positive Werte eine Verlängerung anzeigen, also eine Divergenz. Die Auswahl der Stationen wird im Abschnitt 2.1.3.2 erläutert.

2.1.3.1 Allgemeine Beobachtungen

In den älteren Abbauen und Strecken, d.h. bei allen Stationen außer den Messungen kurz nach Neuauffahrungen im Untertagemessfeld (UMF) auf der 4. Sohle Bartensleben ab 1973 bzw. 1980 und in der Wetterstrecke 4. Sohle Bartensleben ab 1993, sind die Messkurven in der Regel durch einen geraden Verlauf gekennzeichnet.

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 in der Nähe der Station, die Beeinflussung der Konvergenz durch die Bewetterung (Feuchteinfluss in aufgelockerten Bereichen, Temperaturschwankungen), Wechselwirkungen des Gebirges mit den Abfällen (z.B. Wärmeeintrag im UMF, Feuchteintrag ins Gebirge im Südfeld) und untergeordnete Bruch- oder Rissvorgänge in der Nähe der Hohlräume. Bei der Datenaufbe-

reitung durch DBE wurden erkannte Messfehler eliminiert, die als Ausreißer oder Messwertsprung auftraten.

In den Ergebnistabellen 2.1.8 – 2.1.12 fällt auf, dass häufig geringe Konvergenzgeschwindigkeiten im Bereich von bis zu $\pm 0,5$ mm/a und oft der Wert 0,0 mm/a, d.h. im Bereich $\pm 0,2$ mm/a, auftreten. Entsprechend niedrig fallen in den meisten Fällen die verschiedenen Verformungsraten aus mit Werten in der Größenordnung von $\pm 0,1$ Promille/a (10^{-4} /a). Unter diesen Stationen sind wiederum viele Fälle, bei denen man in einer oder zwei Messstrecken eine schwache Verlängerung oder Divergenz beobachtet (positive Konvergenzgeschwindigkeiten). Alle Stationen mit niedrigen Werten der Geschwindigkeiten und Verformungen - in manchen Fällen verbunden mit Divergenz von Messstrecken - befinden sich in den großräumig stark durchbauten Feldesteilen wie Zentralteil, Südostfeld und Nordfeld in der Grube Bartensleben, entsprechend weiter nördlich in der Grube Marie, in der Hauptmulde. Auch die Stationen im Ostquerschlag Bartensleben, der alle Feldesteile der Grube Bartensleben durchfährt, zeigen überwiegend diese Tendenz.

Die größeren auftretenden Beträge der Konvergenzgeschwindigkeiten sind selten und liegen zwischen -3 und -1 mm/a bei älteren Abbauen und aktuell bis $-4,5$ mm/a im Falle einer Neuauffahrung von 1993 (Wetterstrecke 4. Sohle). Die Verformungsraten erreichen in diesen Fällen Werte um -1 Promille/a bei den älteren Abbauen und $-1,8$ Promille/a bei der Neuauffahrung der Wetterstrecke 4. Sohle Bartensleben. Diese höheren Werte treten zum einen in Abbauen im Hauptsalz auf, die sich weiter weg von den großräumig stark durchbauten Bereichen befinden, z.B. in Magazinkammern der Grube Marie, in Verbindungsstrecken zwischen Marie und Bartensleben, im wenig durchbauten Ostsattel. Weiter treten sie auf der 4. Sohle in der 1. südlichen Richtstrecke (Südfeld) auf, wo eine starke Beanspruchung der geringmächtigen Schweben vorliegt. Im Bereich des Mauerwerks im Lager H werden ebenso höhere Raten beobachtet während gleichzeitig benachbarte Stationen im Steinsalz nur geringe Verformungen erkennen lassen. Auch einige Stationen in Schachtnähe auf der 2. – 4. Sohle zeigen erhöhte Werte.

2.1.3.2 Messwerte an einzelnen Stationen

Im folgenden werden Messergebnisse für ausgewählte Konvergenzstationen dargestellt. Zum einen wurden Beispiele ausgewählt, die als repräsentativ für andere Stationen gelten können, z.B. in Bezug auf die Petrographie, in Bezug auf für das ERAM größere Konvergenzbewegungen und in Bezug auf die sehr geringen Bewegungen in den großräumig stark durchbauten Feldesteilen. Dabei werden Messungen in den Kalilagern besonders angesprochen. Weiterhin wurden alle Altstationen ausgewählt, da es sich bei ihnen um lange Zeitreihen bis zu 30 Jahren handelt und da diese auch große Abbaue erfassen, während die Neustationen überwiegend in Strecken angelegt wurden. Es werden zudem alle Stationen im Bereich des Abbaus 1a auf der 1. Sohle Bartensleben und alle Stationen im Südfeld dargestellt.

Der Übersichtlichkeit halber wird sohlenweise vorgegangen. Auf die Lage der Stationen in den Übersichtsrissen (Anlagen 2.1.1 - 2.1.12) und auf die Tabellen mit den Angaben zu den Stationen (Tabellen 2.1.1 – 2.1.7) sowie die Tabellen mit den Ergebnissen (Tabellen 2.1.8 – 2.1.13) wird jeweils hingewiesen. Als Bezeichnungen der Stationen werden im Text nur Teile der Bezeichnungen des Anlagenkennzeichnungssystems der DBE angegeben, z.B. CG123K. Zusammen mit der Sohlenbezeichnung ist diese Angabe eindeutig. Die Anlagen 2.1.13 – 2.1.132 enthalten für jede Station eine Anlage mit der Lage und dem Messquerschnitt gefolgt vom Datenblatt mit den Messwerten.

Marie -195 mNN - Sohle (Anlage 2.1.1, Tabellen 2.1.1 und 2.1.8)

In den hochgelegenen Abbaubereichen des Lagers H befinden sich mehrere Konvergenzstationen. Sie sind horizontal bankrecht zum Lager eingerichtet worden. Bei CG002K, CG003K, CG005K und CG006K sind die Messpunkte im Mauerwerk von Abdichtungsbauwerken installiert, während sie bei den Stationen CG001K und CG004K im Steinsalz angebracht sind. Als Beispiel wird die Station CG002K in den Anlagen 2.1.13 – 2.1.14 dargestellt. Bei den Stationen im Mauerwerk treten Konvergenzgeschwindigkeiten bis $-2,9 \text{ mm/a}$ und lineare Verformungsraten bis $-1,5 \text{ Promille/a}$ auf. Die beiden Stationen CG001K und CG004K mit Spreizhülsenankern im Gebirge folgen diesen Trends nicht und zeigen nur sehr geringe Werte an. Demnach deutet sich hier eine Verformung des Mauerwerks an, deren Ursache nicht direkt mit Verformungen des Gebirges verbunden sind.

Weitere Erkundungsmaßnahmen werden hier durchgeführt (BUSSE, 2001). Es zeigten sich Abschalungen sowie Entfestigungen aufgrund von Durchfeuchtungen im Mauerwerk.

Marie -231 mNN - Sohle: Nord- und Südabteilung, westlicher Bereich (Anlagen 2.1.2 und 2.1.3, Tabellen 2.1.2 und 2.1.8)

Die Ergebnisse lassen sich grob in höhere Konvergenzbewegungen im westlichen Bereich und geringe Konvergenzen im östlichen Bereich einteilen. Der westliche Bereich steht im Hauptsalz (z2HS) und weist eine geringere Durchbauung als der östliche Bereich auf. Im westlichen Bereich wurden die quadratischen Magazinkammern und begleitende Strecken nur auf einer Sohle angelegt. Als Beispiele sind die Konvergenzstationen CG132K in Schachtnähe (Anlagen 2.1.25 und 2.1.26) mit Konvergenzraten um -1 mm/a und die Stationen CG310K-A und CG310K-B in der Magazinkammer 98 mit Konvergenzraten bis $-2,6$ mm/a dargestellt (Anlagen 2.1.19 - 2.1.22). Sowohl in den Magazinkammern in diesem Bereich (Auffahrung um 1940: Stationen CG290K, CG289K, CG310K, CG311K, CG321K) als auch im Schachtsicherheitspfeiler (Auffahrung um 1900: CG132K und CG139K) beobachtet man relativ einheitliche Werte etwa zwischen $-2,5$ mm/a und -1 mm/a und Querschnittsverformungen im Bereich von -1 Promille/a.

Die Stationen in den Magazinkammern verfügen i.d.R. über zwei senkrecht aufeinander stehende Messquerschnitte. Dadurch kann die Volumenkonvergenz erfasst werden. Die Volumenverformungsraten liegen bei den Stationen im westlichen Bereich der Grube Marie bei rund -1 Promille/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: Nord- und Südabteilung, östlicher Bereich (Anlagen 2.1.2 und 2.1.3, Tabellen 2.1.2 und 2.1.8)

Im östlichen Bereich stehen neben Gesteinen der Staßfurtfolge z2 auch Gesteine der Leinefolge z3 an. Die Petrographie variiert zwischen Steinsalz, Kaligesteinen, Anhydrit und untergeordnet auch Tonsteinen des z2 und z3. Der strukturelle Bau der Schichten ist überwiegend kompliziert. Es handelt sich um Abbaue in den Kalilagern E, F, H, K, M, die über mehrere Sohlen verlaufen, Magazinkammern nahe der Abbaue in den Lagerteilen und

Steinsalzabbau zwischen Lager F und K. Dazwischen befinden sich mächtige Hauptanhydritschichten (z3HA).

Die Konvergenzen in den Messstrecken sind insgesamt gering, wobei die Konvergenzraten überwiegend unter 0,5 mm/a im Betrag liegen. Entsprechend der lokalen Durchbauung und Belastung findet man sowohl Konvergenz im eigentlichen Sinne als auch Divergenz

Als Beispiel für eine geringe Konvergenz in beiden Messstrecken ist Station CG159K angegeben (Anlagen 2.1.15 und 2.1.16) mit Konvergenzraten um $-0,3$ mm/a. Sie befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Lager H im Hauptsalz (z2HS2). Auch die anderen Stationen im Lager H zeigen keine oder nur geringe Konvergenzbewegungen an (CG162K, CG312K sowie CG313K in den Anlagen 2.1.17 und 2.1.18 als Beispiel für nicht messbare Bewegungen, Geologie Steinsalz, z3BK/BD-OS). Station CG316K (Anlagen 2.1.23 und 2.1.24) weist in der vertikalen Messstrecke keine Bewegung auf, während horizontal eine messbare Konvergenzrate von $-0,4$ mm/a auftritt. Sie liegt im Hauptsalz (z2HS3) im nördlichen Bereich des Lagers H. Die Station CG233K im Hauptanhydrit (z3HA) liefert ein Beispiel für geringe Divergenz in vertikaler und horizontaler Messstrecke mit $0,2$ mm/a Konvergenzrate (Anlagen 2.1.27 und 2.1.28). Ein weiteres Beispiel für solche Verformungen findet sich bei Station CG214K im Steinsalz (z3BK/BD) bei Konvergenzraten um $0,3$ mm/a (Anlagen 2.1.33 und 2.1.34). Die Werte der Messstation CG318K in der Bunten First zeigen keine messbaren Bewegungen an.

Als Beispiel für eine Magazinkammer nahe einem Kalilager wird Station CG292K-A und -B im Hauptsalz (z2HS) aufgeführt (Anlagen 2.1.29 – 2.1.32). Die Konvergenzraten sind hier mit $-0,9$ mm/a bis $-0,6$ mm/a und einer Volumenverformungsrate von rund $-0,3$ Promille/a im Betrag deutlich kleiner als bei den Kammerstationen im westlichen Bereich (s.o.).

Grube Bartensleben: Schacht (Tabellen 2.1.3 und 2.1.9)

Die 3 Stationen mit jeweils 7 Messstrecken befinden sich im Bereich der Schwimmsandhorizonte im Deckgebirge im Teufenbereich -48 m NN bis -41 m NN. Die Messpunkte sind im Mauerwerk des Schachtausbaus installiert. Alle Messstrecken verlaufen horizontal. Die 3 Hauptstrecken sind jeweils zwischen zwei sich gegenüberliegenden Messpunkten über

den gesamten Schachtdurchmesser angelegt. Die 4 sogenannten Kübelstrecken sind kürzer als die Hauptstrecken und verbinden Messpunkte, die sich nicht gegenüberliegen. Die Messzeit bis zum Datenstand Ende 1999 beträgt rund 3 Jahre. Die Messwerte liegen überwiegend unter der Messgenauigkeit. Die Hauptstrecke 1-4 des oberen Messquerschnitts CG001K zeigte in 1998 eine Verlängerung um 1 mm an, die dann aber bis Ende 1999 auf 0,4 mm zurückging (Konvergenzrate $-0,6$ mm/a in 1999). Die Kübelstrecken 1-5 und 4-6 desselben Querschnitts zeigten von 1998 bis 1999 eine Verlängerung um rund 1 mm an (Konvergenzrate von $0,5$ mm/a in 1999). Erst nach längeren Messzeiten wird man entscheiden können, ob es einen stetigen Trend in den Verformungen des Schachtausbaus gibt.

1a- und 1. Sohle Grube Bartensleben: Nordfeld und Südostfeld inklusive Bereich Abbau 1a und Abbaue im Zentralteil (Anlage 2.1.5, Tabellen 2.1.4 und 2.1.10)

Die Nordstrecke (auch als 2. nördliche Richtstrecke bezeichnet) erschließt das Nordfeld, die 2. südliche Richtstrecke („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 häufig keine Konvergenzbewegungen sowie Divergenz in den Messstrecken. Am deutlichsten ist dieser Trend bei Station CG078K in der Nähe der Schrapperkammer (Bereich Abbau 1a) im Steinsalz (z3OS) zu beobachten, die Konvergenzgeschwindigkeit beträgt $0,4$ mm/a in der vertikalen Messstrecke (Anlagen 2.1.35 und 2.1.36). Die Station CG064K im Anhydrit (z3HA) des Südostfelds weist in beiden Messstrecken eine Konvergenzrate von $0,2$ mm/a auf (Anlagen 2.1.47 und 2.1.48).

In der Schrapperkammer im Nordfeld (Bereich Abbau 1a) befinden sich Konvergenzstrecken der Station CG701K im Messquerschnitt CG701 und der Station CG702K im Querschnitt CG702 jeweils mit angeschlossenem Extensometer sowie die Messstrecke CG701-702K zwischen den Querschnitten, die die beiden Extensometerkopfpunkte verbindet (siehe Anlage 2.1.6 sowie die Anlagen 2.1.39 – 2.1.44). Insgesamt sind die Bewegungen nicht messbar bis gering. Die diagonale Messstrecke 2-5 in CG701K und die Verbindungstrecke CG701-702K weisen mit etwa $0,3$ mm/a eine geringfügige Divergenz über den gesamten Zeitraum auf. Die vertikale Messstrecke 2-4 in CG702K zeigt eine Umkehr der Bewe-

gungsrichtung ab Anfang 1998 und seitdem eine Konvergenzrate von $-0,8$ mm/a. Eine schwache saisonale Variation ist in den Messkurven erkennbar.

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 aufgefahen worden. Die Messstation CG083K auf der 1. Sohle (Anlage 2.1.37 und 2.1.38) liegt im etwa 15 m hohen Abbau 2n. 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 Firste und Sohle und zur Querschnittsverformung des Abbaus herangezogen werden. Die vertikale Konvergenz verläuft stetig mit nur $-0,1$ mm/a. Die horizontale Konvergenz weist zwar Sprünge auf, zeigt aber über die letzten 15 a eine Tendenz von $-0,2$ mm/a Konvergenzrate.

1. Sohle Bartensleben: Stationen in Kalilagern (Anlage 2.1.5, Tabellen 2.1.4 und 2.1.10)

Die Abbaue in den Kalilagern im Grubengebäude sind alle etwa um die Jahrhundertwende aufgefahen 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 Messwerte der Station CG088K im Lagerteil B im Nordfeld zeigen geringe Divergenz in der vertikalen Messstrecke an, die Werte der Station CG084K im Lagerteil B im Südfeld Konvergenz mit $-0,8$ mm/a in der horizontalen Messstrecke (Anlagen 2.1.45 und 2.1.46).

1. Sohle Bartensleben: Ostquerschlag (Anlage 2.1.5, Tabellen 2.1.4 und 2.1.10)

Wie auf den anderen Sohlen der Grube 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. Es treten bei vielen Stationen keine Bewegungen auf. Die Konvergenzgeschwindigkeiten sind sehr gering mit Beträgen von deutlich unter $0,5$ mm/a, wobei Divergenz überwiegt. Bei der Station CG026K im Ostsattel, der keine

Abbaue auf den oberen Sohlen aufweist, bestimmt man eine geringe Konvergenzrate von $-0,2$ mm/a (Anlagen 2.1.49 und 2.1.50).

2. Sohle Bartensleben: Nordfeld und Südostfeld inklusive Abbaue des Zentralteils (Anlage 2.1.7, Tabellen 2.1.5 und 2.1.11)

Die Beobachtungen in den Strecken entsprechen den auf der 1. Sohle. Es finden sich überwiegend nicht messbare bis geringe Bewegungen. Eine Ausnahme stellt die Station CG125K in der Verbindungsstrecke zwischen den Gruben Bartensleben und Marie dar. Sie liegt im Hauptsalz (z2HS) weitab von anderen Abbauen und weist Konvergenzraten von $-2,2$ mm/a und eine Querschnittsverformungsrate um -1 Promille/a auf (Anlage 2.1.55 und 2.1.56).

Die Altstationen in den großen Abbauen des Zentralteils (Anlage 2.1.12 sowie Anlagen 2.1.51 – 2.1.54 und Anlagen 2.1.57 – 2.1.62: CG132K, CG133K, CG134K, CG135K, CG136K in einem Durchhieb) und des Südostfelds (Anlagen 2.1.73 – 2.1.78: CG721K, CG722K, CG723K) weisen auf dieser Sohle Konvergenzraten bis etwa -1 mm/a und geringe Verformungsrate in der Größenordnung $-0,01$ bis $-0,1$ Promille/a auf.

2. Sohle Bartensleben: Südfeld (Anlage 2.1.7, Tabellen 2.1.5 und 2.1.11)

In den Abbauen 8s und 9n des Südfelds sind die Konvergenzstationen CG137K und CG138K mit jeweils einer horizontalen Messstrecke installiert (Anlagen 2.1.67 – 2.1.70). Die Konvergenzraten betragen $-1,1$ bzw. $-1,2$ mm/a, die Verformungsrate ist gering (unter $-0,1$ Promille/a).

2. Sohle Bartensleben: Stationen in Kalilagern (Anlage 2.1.7, Tabellen 2.1.5 und 2.1.11)

Die Messstation CG124K (Anlagen 2.1.71 und 2.1.72) wurde in der 2. südlichen Richtstrecke im Carnallitlagerteil C eingerichtet (Südostfeld). 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 $-0,23$ Promille/a, vertikal gibt es keine Verschiebungen zwischen den Messbolzen.

Die Station CG015K im Lager C zeigt keine Bewegungen an.

2. Sohle Bartensleben: Ostquerschlag (Anlage 2.1.7, Tabellen 2.1.5 und 2.1.11)

Einige Stationen in den stärker durchbauten Feldesteilen weisen wie auf der 1. Sohle keine oder geringe Konvergenzen auf. Eine Ausnahme bildet die Station CG004K im Schachtsicherheitspfeiler im z2HS3 (Anlagen 2.1.85 und 2.1.86). Die Konvergenzgeschwindigkeiten liegen vertikal und horizontal bei -1 mm/a und $-1,3$ mm/a, die Querschnittsverformungsrate bei $-0,5$ Promille/a. Auch die Station CG025K im Ostsattel weiter weg von größeren Abbauen weist eine stärkere Konvergenz auf. Station CG038K (Anlage 2.1.56 und 2.1.66) im Anhydritmittelsalz (z3AM) zeigt eine Divergenz der Messstrecken mit einer Rate von $0,2$ mm/a.

3. und 4a-Sohle Bartensleben (Anlage 2.1.8a, 2.1.8b, 2.1.9a, 2.1.9b, Tabellen 2.1.6 und 2.1.12)

In den einzelnen Feldesteilen sind auf der 3. Sohle ähnliche Tendenzen wie bei den Konvergenzstationen auf der 1. und 2. Sohle festzustellen.

Im Bereich des Schachts tritt bei Station CG005K (Anlage 2.1.79 und 2.1.80) eine höhere Konvergenz mit knapp -1 mm/a und einer Querschnittsverformungsrate von $-0,6$ Promille/a auf. Im Nordfeld ist CG170K als eine der wenigen neuen Kammerstationen mit einer horizontalen Messstrecke eingerichtet worden (Anlagen 2.1.81 und 2.1.82). Ihre Ergebnisse liegen mit $-0,5$ mm/a Konvergenzrate und sehr geringen Verformungen im Trend der Ergebnisse der Altstationen in den Abbauen des Nord- und Südostfeldes inklusive des Zentralteils.

Im Südfeld wurden die Konvergenzstationen CG174K – 179K in Durchhieben zwischen den großen Abbauen 8s und 9n bzw. 9n und 9s auf der 3. Sohle eingerichtet (Detail-Anlage 2.1.8b). Sie zeigten nach einem guten halben Jahr Messdauer (Datenstand Ende 1999) eine Tendenz zur Konvergenz (Verringerung der Messstrecken), allerdings noch keinen klaren Trend an. Graphischen Darstellungen der Messwerte für das Jahr 2000 in BUSSE (2001) ist überschlüssig zu entnehmen, dass an den Stationen Konvergenzgeschwindigkeiten bis rund -2 mm/a in 2000 auftraten.

4. Sohle Bartensleben: Nord- und Südostfeld inklusive Zentralteil sowie Nordostfeld (Anlage 2.1.10, Tabellen 2.1.7 und 2.1.13)

Es ergeben sich ähnliche Tendenzen wie auf den oberen Sohlen. Die Messstation CG182K (Anlagen 2.1.87 und 2.1.88) befindet sich in der fast 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 $-0,01$ Promille/a, ähnlich wie in anderen großen Abbauen im Zentralteil. Als Beispiel für nicht messbare Bewegungen auf der 4. Sohle ist Station CG039K in den Anlagen 2.1.89 und 2.1.90 aufgeführt. Station CG046K (Anlagen 2.1.91 und 2.1.92) weist in der vertikalen Messstrecke eine Konvergenzrate von $0,4$ mm/a auf.

Die Station CG154K im Nordostfeld bzw. im Ostsattel in der 2. nördlichen Richtstrecke weist eine höhere Konvergenzrate von $-1,8$ mm/a bzw. $-1,3$ mm/a auf (Anlagen 2.1.127 und 2.1.128). Dies korrespondiert mit Ergebnissen auf den höheren Sohlen im wenig durchbauten Ostsattel

Der mit UMF I (Untertagemessfeld I) bezeichnete 20 m lange Streckenstummel im Ostsattel wurde im Oktober 1973 aufgefahren (Anlage 2.1.11b). Bei etwa halber Streckenlänge wurden - jeweils 3 m voneinander entfernt - Konvergenzmessstationen mit je einer horizontalen und vertikalen Messstrecke eingerichtet (CG732K, CG735K und CG738K, Altstationen MF1 - MF3, siehe Daten CG735K in Anlagen 2.1.129 -2.1.130). 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 Folgeinmessung 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 abgelauften Gesamtkonvergenzen erreichen 60 - 80 mm. Die heute noch auftretenden Konvergenzraten erreichen -1 mm/a, die Querschnittsverformungsraten $-0,5$ Promille/a.

4. Sohle Bartensleben Kalilager (Anlage 2.1.10, Tabellen 2.1.7 und 2.1.13)

Die Station CG151K im Kalilager B (Anlage 2.1.131 und 2.1.132) zeigt vertikal eine Konvergenzrate von $-0,7$ mm/a und horizontal keine Bewegungstendenz. Station CG163K im Westfeld (Anlagen 2.1.85 und 2.1.86) zeigt vertikal eine Konvergenzrate von $-0,4$ mm/a und horizontal keine Bewegung.

4. Sohle Bartensleben: Ost- und Westquerschlag (Anlage 2.1.10, Tabellen 2.1.7 und 2.1.13)

Auch in diesen Bereichen ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie auf den höhergelegenen Sohlen. Station CG159K (Anlagen 2.1.83 und 2.1.84) im Hauptsalz (z2HS) im Schachtsicherheitspfeiler weist relativ hohe Konvergenzraten um $-2,2$ mm/a und eine Querschnittsverformungsrate von $-1,2$ Promille/a auf. Diese für das ERAM höheren Werte korrespondieren mit den Beobachtungen auf den oberen Sohlen im Schachtsicherheitspfeiler.

4. Sohle Bartensleben: Neuauffahrung Wetterstrecke im Südfeld (Anlage 2.1.10, Tabellen 2.1.7 und 2.1.13)

Mit der Neuauffahrung dieser Strecke wurde von August bis November 1993 parallel zur 1. Südstrecke 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 CG165K - CG171K und CG178K, siehe Daten von CG166K, CG168K und CG171 in den Anlagen 2.1.121 - 2.1.126).

Einrichtung und Nullmessung dieser Stationen sind 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 Hauptsalz (z2HS3) liegen (CG165K - CG167K), während die südlicheren Stationen im Hangendsalz (z2HG) und nahe am geringmächtigen Kalilager (z2SF) liegen (CG168K - 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. Die Konvergenzraten erreichen

aktuell bei den Stationen im z2HS3 etwa -4 mm/a , die Querschnittsverformungsraten $-1,8 \text{ Promille/a}$. Diese Werte liegen höher als die von vergleichbaren älteren Hohlräumen (gleiche Petrographie, größerer Abstand zu anderen Hohlräumen und zum Hauptanhydrit), die etwa -1 Promille/a Querschnittsverformungsrate erreichen. Daraus ist zu schließen, dass noch keine stationären Zustände erreicht wurden.

Abweichungen von der eben beschriebenen Kurvenform ergeben sich bei den südlichen Stationen CG169K, CG170K und CG171K. 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. Eventuell macht sich hier der Einfluss der ab etwa Ende 1994 einsetzenden Bewetterung der Strecke bemerkbar.

Bei den Stationen im Norden, die vollständig im Hauptsalz (z2HS3) liegen, sind die Konvergenzen und die Raten deutlich höher als bei den Stationen im Süden, in deren Messquerschnitten die Abfolge von Hangendsalz (z2HG), von den Übergangsschichten zum Kalilager und von Hauptsalz vorkommt. Diese Unterschiede können momentan nicht eindeutig begründet werden. Eine Erklärung kann in der höheren Kriechfähigkeit des z2HS3 im Vergleich zur Abfolge von Hangensalz (z2HG), Kalilager und Hauptsalz (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 der Verformung immer größer als die horizontalen sind. Dabei spielt insbesondere die Form der Strecke eine Rolle, da die Streckenhöhe nur etwa $55\% - 70\%$ der Streckenbreite 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 2.1.11a, Tabellen 2.1.7 und 2.1.13)

Es handelt sich um die Stationen CG061K, CG068K, CG069K, CG172K, CG173K, CG174K, CG175K, CG176K, CG177K, CG071K, CG707K und CG709K (Anlagen

2.1 93 – 2.1.120, Geologie Steinsalz (z3), überwiegend Orangesalz, z3OS). Die Anordnung der Hohlräume in diesem Bereich ist den Vertikalschnitten S1 und S2 in den Anlagen 2.1 117 und 2.1 119 zu entnehmen. Bis auf die Stationen CG061K, CG068K, CG707K und CG071K liegen die hier aufgeführten Stationen im Streckenbereich oberhalb des Abbaus 3 der 5a-Sohle, in dem Verformungen z.T. in Form von Sohlenhebungen sowie Rissbildung in den Streckenstößen auftraten.

Die Richtstrecke wurde um 1933 aufgeföhren. Oberhalb des Niveaus -372 m NN wurden, nach Osten versetzt, in den Jahren 1937 bis 1942 Steinsalzabbau aufgeföhren, von denen die Kammern 8n bis 9n 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 Aufföhrunder der im Unterwerksbau hergestellten Kammern 1, 2, und 3 der 5a-Sohle stellt eine zusätzliche gebirgsmechanische Belastung der Richtstrecke dar. Als Aufföhridaten 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.

Die Messwerte der Altstation CG083K (alt: 4.12) zeigen eine hohe Rate in der vertikalen Messstrecke (Anlagen 2.1.115 und 2.1.116). Der ermittelte Wert der scheinbaren Konvergenzrate beträgt rund -9 mm/a und die Verformungsrate etwa -3,1 Promille/a. Der Messpunkt wurde bei dieser Station im Beton und nicht 80 cm tief im Gebirge installiert. Die anomal hohen Konvergenzen entstehen aufgrund der Aufwölbung der Betonsohle und nicht aufgrund realer Gebirgsbewegungen.

Für die Stationen im Südfeld ergeben sich Konvergenzraten bis -1,7 mm/a und Querschnittsverformungen bis etwa -1 Promille/a, wobei die höheren Werte bei den Stationen über Abbau 3 der 5a-Sohle auftreten. Bei einigen der Stationen deuten sich im Messzeitraum von ca. 6 Jahren Abweichungen vom geraden Kurvenverlauf an (Stationen über Abbau 3 der 5a-Sohle). Teilweise kommt es in den letzten 2 – 3 Jahren zu einer Zunahme der Konvergenzraten (CG172K, bei CG176K in der vertikalen Messstrecken), auch zu einer Umkehr der Bewegungsrichtung (CG175K und CG177K in den vertikalen Messstrecken).

Für die Stationen CG174K - CG177K und CG071K, bei denen die Strecke in der Schwebelage zwischen den Abbauen der 4a-Sohle und dem Abbau 3 auf der 5a-Sohle verläuft, fallen die horizontalen Konvergenzraten und Verformungen z.T. erheblich größer als die vertikalen Konvergenzraten und Verformungen aus.

2.1.4 Bewertung

Im ERAM werden 14 Konvergenzstationen mit Installation zwischen 1970 und 1985 (Altstationen) und 170 Stationen mit Installation zwischen 1993 und 1999 (Neustationen) betrieben. Sie bilden ein Messnetz in den Gruben Marie und Bartensleben, das die verschiedenen Sohlen, Durchbausituationen und die verschiedenen petrographischen Einheiten erfasst. Die meisten Stationen liegen in den großräumig stark durchbauten Feldesteilen der Gruben Marie und Bartensleben, u.a. in der Leinefolge (z3) der Hauptmulde in Marie und im Nordfeld und Südostfeld inklusive Zentralteil Bartensleben und im Südfeld Bartensleben.

Die Ergebnisse der Konvergenzmessungen belegen ein generell geringes Niveau der Verformungen der Hohlräume. Der größere Teil der Messstrecken zeigt Konvergenzraten im Bereich von $\pm 0,5$ mm/a, vielfach ist auch keine Konvergenzbewegung feststellbar, d.h. es sind dann Konvergenzraten im Bereich von $\pm 0,2$ mm/a möglich. Entsprechend findet man geringe Querschnittsverformungen in der Größenordnung von $\pm 0,1$ Promille/a ($\pm 10^{-4}$ /a). Diese niedrigen Raten treten vor allem in den großräumig stark durchbauten Feldesteilen auf wie dem Nordfeld und Südostfeld inklusive Zentralteil Bartensleben sowie den östlichen Bereichen der Hauptsohle der Grube Marie (-231 m NN -Sohle). Je nach lokaler Durchbauung und der damit verbundenen Belastung kann es dabei zur Konvergenz der Messstrecken im eigentlichen Sinne oder auch zur Divergenz der Messstrecken kommen. Dabei spielt die Petrographie keine Rolle. Wenn signifikante Bewegungen im Hauptanhydrit auftreten, sind es stets Divergenzen.

Für das ERAM höhere Konvergenzraten betragen zwischen -3 und -1 mm/a bei älteren Hohlräumen (Standzeiten > 20 a) mit Querschnittsverformungsrate um -1 Promille/a und bis $-4,5$ mm/a bei einer Neuauffahrung von 1993 mit Querschnittsverformungsrate bis

-1,8 Promille/a (Zeitpunkt Ende 1999). Diese Werte treten überwiegend dann auf, wenn die Hohlräume weiter weg von anderen Hohlräumen liegen und wenn der Abstand zu den steifen Anhydritschichten (z3HA) groß ist. Die meisten Stationen mit höheren Konvergenzraten liegen im Hauptsalz (z2HS). Auch die Stationen im Steinsalz der Leinefolge (z3) im Südfeld weisen in Strecken und Durchhieben höhere Raten auf, z.B. werden in der 1. südlichen Richtstrecke auf der 4. Sohle Bartensleben („Südstrecke“) höhere Konvergenzraten und Querschnittsverformungen beobachtet. Hier drückt sich die besondere Beanspruchung der Schweben im Bereich der Südstrecke aus, die auf der geringen Schwebenmächtigkeit beruht. Im oberen Teil des Lagers H wurde in Messstrecken mit Verankerung im Mauerwerk der Abdichtungsbauwerke eine relativ hohe Konvergenz bestimmt während benachbarte Stationen mit Verankerung im Gebirge keine Auffälligkeit aufweisen. Es handelt sich hier um spezielle Abschaltungs- und Entfestigungsvorgänge im Mauerwerk, die weiter untersucht werden.

Der weitgehend gerade Verlauf der meisten der vorliegenden Konvergenzkurven zeigt gleichförmig fortschreitende Verformungen an. Dies läßt auf eine unveränderte Beanspruchung des Gebirges schließen, die sich auch in Zukunft nicht abrupt ändern wird. Aus dem überwiegenden Teil der Konvergenzmessungen ergeben sich damit keine Hinweise auf beschleunigte Verformungsvorgänge, die das Auftreten von Verbrüchen ankündigen würden. Dies schließt Abschaltungen aus Firsten und Stößen nicht aus. Im Südfeld und im Zentralteil wurden bei einer kleinen Anzahl von Stationen Abweichungen von der geraden Kurvenform festgestellt. Für diese Bereiche werden die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen wie geomechanische Modellberechnungen, markscheiderische Messungen und mikroakustische Messungen für die Aussage zur Standsicherheit herangezogen

Prinzipiell erwartet man Abhängigkeiten der Konvergenz- und Verformungsraten von der Tiefe, d.h. vom lithostatischen Druck, von den mechanischen Eigenschaften der Gesteine, insbesondere von den Kriecheigenschaften, vom Durchbaugrad, vom Alter und von der Form der Hohlräume. Praktisch ist aber aufgrund der Überlagerung der verschiedenen Einflüsse eine Trennung oft schwierig. Wie oben erwähnt, zeigen Stationen im Hauptsalz (z2HS) überwiegend höhere Konvergenzgeschwindigkeiten als solche im Steinsalz der Leinefolge (z3LS-AM). Dies könnte auf Einflüsse der Petrographie hinweisen. Es gibt jedoch deutliche Unterschiede in der Lage der Stationen im Hauptsalz (z2HS) auf der einen

Seite und der im Steinsalz in der Leinefolge (z3LS-AM) auf der anderen Seite. Im Grubengebäude des ERAM liegen Stationen im Hauptsalz (z2HS) 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 Steinsalz der Leinefolge (z3LS-AM) liegen überwiegend in Strecken und Abbauen in den großräumig stark durchbauten Feldesteilen. Der Grund liegt in der Konzentration des früher umgegangenen Abbaus auf sehr reine Steinsalzpartien, die im Steinsalz der Leinefolge (z3LS-AM) und weniger im Hauptsalz (z2HS) liegen.

In den Fällen starker Durchbauung mit komplizierter Geometrie bei gleichzeitig komplexem Gebirgsbau (Nähe zu aussteifenden Hauptanhydritschichten) 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 von der Teufe läßt sich nicht erkennen. Diese Folgerung steht im Einklang mit umfangreichen Modellberechnungen für die verschiedenen Feldesteile der Grube Bartensleben (EICKEMEIER & SPIES, 2001).

Direkt nach dem Auffahren von Hohlräumen im Steinsalz sind die erwarteten relativ hohen Anfangskonvergenzraten nachgewiesen worden. Die Konvergenzraten nehmen mit der Zeit ab. In der Wetterstrecke auf der 4. Sohle im Südfeld Bartensleben sind nach 6 a Standzeit noch keine stationären Zustände erreicht worden. Dies legt der Vergleich mit Konvergenzmessungen in älteren Hohlräumen in vergleichbarer Situation nahe.

2.2 Extensometermessungen

Mit Extensometern werden Verformungen im Gebirge entlang von Bohrungen erfasst. Dabei werden Messstangen oder -drähte fest an Messpunkten im Gebirge verankert (Ankerpunkte). Die Verschiebungen der Stangen oder Drähte werden an der Kopfplatte (Kopfpunkt) gemessen, die sich meist an der Hohlraumkontur oder im äußeren Bereich des Bohrlochs befindet. Bei Mehrfachextensometern erhält man die Verschiebungen und Verformungen entlang der Bohrung für Gebirgsabschnitte zwischen jeweils benachbarten Ankerpunkten (Abschnittsverschiebungen und -verformungen). Dazu werden die Differenzen der Verschiebungsbeträge der jeweils benachbarten Ankerpunkte gegenüber der Kopfplatte bestimmt.

2.2.1 Messlokationen

Tabelle 2.2.1 enthält eine Aufstellung der 73 Extensometer, die alle im Grubenteil Bartensleben installiert sind (BUSSE, 2001). Ihre Lage ist in den Anlagen 2.1.1 – 2.1.11 bezeichnet, wobei zwischen den Altstationen mit Einbau von 1970 bis 1985 (blaue Rauten) und Neustationen mit Einbau ab 1995 (rote Rauten) unterschieden wird. Die Altstationen dienen zum einen der Überwachung und Erfassung des Belastungszustandes in den stark durchörterten Feldesteilen im Zentralteil, Nordfeld, Südostfeld und Südfeld Bartensleben auf der 2. Sohle, 4a- und der 4. Sohle (12 Stück). Sie erfassen Restverformungen im Bereich der früher aufgefahreuen Strecken und Abbaue. Zum andereu wurden auf der 4. Sohle im Untertagemessfeld UMF I 9 Extensometer und im UMF II 16 Extensometer installiert (Ostsattel). Sie sollten Verformungen um den neu aufgefahrenen Hohlraum des UMF II erfassen sowie den Einlagerungsbereich des UMF II überwachen.

Seit 1995 wurden an wichtige Betriebspunkten Extensometer eingerichtet, um dort eine besondere Überwachung zu gewährleisten. Diese befinden sich auf der 1. Sohle im Bereich des Abbaus 1a im Zentralteil (2 Stück), auf der 3. und 4. Sohle im Südfeld (5 Stück), auf der 4a-Sohle im Bereich der Versatzaufbereitungsanlage im Zentralteil (18 Stück) und im Ostfeld (5 Stück), und auf der 4. Sohle im Westfeld (3 Stück). 3 weitere Extensometer be-

finden sich im D-Gesenk zur Verknüpfung der Messdaten des untertägigen Nivellements zwischen den einzelnen Sohlen

Tabelle 2.2.2 enthält eine Aufstellung der Extensometer nach Feldesteilen mit Angaben zur Neigung und Richtung der Extensometerbohrungen, des Untersuchungsobjekts (Pfeiler, Schweben oder Firste) mit Pfeiler- bzw. Schwebenmächtigkeit, der Geologie, den Lagen der Ankerpunkte (Entfernungen Ankerpunkte – Kopfpunkt) sowie den Daten der Nullmessung und der letzten erfolgten Messung (Unterlage der DBE aus BUSSE, 2001).

2.2.2 Messmethoden und Auswertung

Altstationen (Installation 1970 und 1973)

Bis auf die Installationen im UMF II handelt es sich um Einfach- und Mehrfachextensometer mit Messdrähten aus Stahl und um fest eingebaute Ableseeinrichtungen. Das Messprinzip ist praktisch identisch mit dem der alten Konvergenzstationen, und die dort beschriebenen systematischen Einflüsse treten auch hier auf. Es finden wie bei den Messungen an den alten Konvergenzmessungen keine Temperaturkorrekturen statt. Als Messunsicherheit für die Verschiebungen wird in BUSSE (2001) ein Wert von ± 1 mm angegeben. Im UMF II wurden Einfachextensometer mit Gestänge installiert. Auch für sie wird eine Messunsicherheit von ± 1 mm angegeben.

Neustationen ab 1995

Ab 1995 wurden Mehrfachextensometer der Firmen Interfels und Glötzl eingebaut. Die Messstäbe bestehen aus Glasfaser. Die Ankerpunkte sind als hydraulische Metallpacker ausgeführt. Die Ablesung der Verschiebungen an der Kopfplatte erfolgt manuell mit einer Messuhr oder automatisch mit einem elektrischen Wegaufnehmer.

Die Temperaturen werden während der Messungen erfasst und bei Temperaturschwankungen von mehr als einigen K zur Korrektur der thermischen Ausdehnung benutzt.

Als Messunsicherheit wird für die Verschiebungen ein Wert von ± 0.1 mm angegeben (BUSSE, 2001).

Ermittlung von Verschiebungen und Verformungen bzw. deren Geschwindigkeiten

In BUSSE (2001) werden die ermittelten Abschnittsverschiebungen zwischen benachbarten Ankerpunkten in mm und die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Abschnitte in mm/a sowie die Abschnittsverformungen in mm/m und die Verformungsgeschwindigkeiten der Abschnitte in Promille/a angegeben. Als zeitlicher Bezug wird dabei zum einen die Nullmessung und zum anderen der Beginn des Jahres 2000 gewählt.

2.2.3 Ergebnisse

Als Grundlage wurden die in BUSSE (2001) enthaltenen Diagramme der Messwerte herangezogen (i.d.R. als Abschnittsverformungen in mm/m bzw. Promille zwischen benachbarten Ankerpunkten, Beispiel siehe Anlage 2.2.3, auch als Balkendiagramme im räumlichen Bezug, Beispiel siehe Anlage 2.2.1). Sie umfassen den Zeitraum von 1970 bis Ende 2000. Die von DBE ermittelten Verschiebungen und Verformungen der Extensometerabschnitte sowie deren Geschwindigkeiten sind in Tabelle 2.2.2 enthalten (Unterlage der DBE).

2.2.3.1 Allgemeine Beobachtungen

Generell treten geringe Verformungsgeschwindigkeiten der Abschnitte mit überwiegend deutlich unter ± 1 Promille/a auf. Höhere Raten in der Größenordnung bis um ± 1 Promille/a finden sich im Konturbereich der Abbaue bei einigen der in BUSSE (2001) dargestellten Messungen (u.a. Pfeiler im Zentralteil 4. Sohle Bereich Ostquersschlag, Bereich Versatzaufbereitungsanlage 4a-Sohle). Konturnahe Abschnitte können in den ersten Abschnitten, bei Messungen an Pfeilern auch in den letzten Abschnitten des Extensometers auftreten. Stetige höhere Verformungen treten abschnittsweise bei den Untersuchungen zur Schwebenauflockerung bzw. -stauchung im Südfeld auf der 3. und 4. Sohle auf (im Betrag bis rund 0,3 Promille/a).

Für Abweichungen vom oft geraden Verlauf der Messkurven gilt dasselbe wie bei den Konvergenzmessungen (siehe Abschnitt 2.1.3.1). Typisch für die Messkurven der Altstationen mit bis zu 30 Jahren Messdauer sind nicht messbare bis geringe Verschiebungs- und Verformungsraten über längere Zeiträume. Dazwischen deuten sich Bewegungsschübe geringen Ausmaßes an, die z.B. auf den Einfluss von Neuauffahrungen in benachbarten Bereichen zurückgeführt werden könnten. Insgesamt zeigen die Messwerte der Altstationen oft Ausfälle, sowie auch Sprünge im Verlauf der Messkurven. Z.T. konnten ausgefallene Messinstallationen wieder repariert werden.

Für die Altstationen des UMF I und II werden in BUSSE (2001) zum Teil hohe Verformungen angegeben. Darstellungen der Messungen liegen in BUSSE (2001) nicht vor, so dass diese Ergebnisse hier nicht beurteilt werden können (siehe unten).

2.2.3.2 Messwerte an den einzelnen Extensometern

Da es sich bei den Extensometermessungen nicht um flächendeckende Erfassungen wie bei den Konvergenzmessungen handelt, werden die Messungen hier nicht sohlenweise dargestellt, sondern nach Feldesteilen geordnet (Tabelle 2.2.2). Die Daten ausgewählter Extensometer werden dargestellt und es wird auf Besonderheiten eingegangen (Anlagen 2.2.1 – 2.2.6 nach Unterlagen der DBE). Als Bezeichnungen der Extensometer werden im Text nur Teile der Bezeichnungen des Anlagenkennzeichnungssystems der DBE angegeben, z.B. CG727E. Zusammen mit der Angabe der Sohle ist diese Abkürzung eindeutig.

Nordfeld Bartensleben 4a-Sohle (CG727E – CG730E)

Die Extensometer erfassen Konturauflockerungen und Pfeilerquerdehnungen im Bereich der großen Abbaue 3 – 7 auf der 4a-Sohle. Es finden fast keine messbaren Verschiebungen bzw. Verformungen statt.

Ostfeld Bartensleben 4a-Sohle (CG749E – CG753E, Anlage 2.1.9a)

Zur Überwachung des Ostfelds erfassen diese Extensometer die Verformungen im Bereich der großen Abbaue 1 und 4 (Konturauflockerung und Pfeilerquerdehnung). Abgesehen von

geringfügigen kurzfristigen Verformungen im Zusammenhang mit bergmännischen Arbeiten in der Nähe sind keine wesentlichen Verschiebungen bzw. Verformungen nachweisbar.

Südfeld Bartensleben 3. und 4. Sohle (CG759E und CG760E, 3. Sohle, Anlage 2.1.8b, und CG707E – 709E, 4. Sohle, Anlage 2.1.11a)

Die Stationen auf der 3. Sohle erfassen die Schwebenauflockerung zwischen den Abbauen 8s auf der 3. und 4a-Sohle (CG759E, siehe Anlage 2.2.1) und zwischen den Abbauen 9n auf der 3. und 4a-Sohle (CG760E, siehe Anlage 2.2.2). In den Anlagen 2.2.1 und 2.2.2 sind die Entwicklungen der Abschnittsverformungen bei 3 Messepochen in 2000 als Balkendiagramme im räumlichen Bezug dargestellt (Vertikalschnitte S13 und S15). Bei CG759E treten die stärksten Dehnungen unterhalb der Schwebenmitte auf (4,8 m – 7,3 m). Anlage 2.2.1 enthält zusätzlich die Lage von z.T. offenen Trennflächen, die mit Bohrlochinspektionen und Radarmessungen ermittelt wurden. Ein ähnliches Bild ergibt sich in Anlage 2.2.2 bei CG760E bei einer geringeren Schwebenmächtigkeit. Es ergeben sich hier etwas höhere Dehnungsgeschwindigkeiten um 0,3 Promille/a. Trennflächen wurden hier nicht erkannt. Beide Messungen deuten trotz der geringen Messdauer eine stetige Auflockerung der Schweben in diesem Bereich an.

Die Extensometer CG707E und CG709E (siehe Anlage 2.1.11a) erfassen die Schwebenstauchung zwischen der 4a- und der 5a-Sohle in den Querschnitten S1 und S3. CG708K – gegenüber von CG709E im gleichen Messquerschnitt gelegen – erfasst Verformungen im Gebirge außerhalb der Schweben. Die Geometrie der Anordnungen ist im Vertikalschnitt S1 für CG707E und im Vertikalschnitt S3 für CG708E und CG709E in den Anlagen 2.2.4 und 2.2.5 dargestellt. Es handelt sich um die Schweben zwischen den großen Abbauen auf der 4a-Sohle, den Abbauen 9n bzw. 9s, und den Einlagerungsskammern auf der 5a-Sohle, den Abbauen 2 bzw. 3. Die 1. südliche Richtstrecke („Südstrecke“) liegt im Niveau der 4. Sohle. Anlage 2.2.3 zeigt die Verformungen der einzelnen Abschnitte des Extensometers CG707K in der zeitlichen Entwicklung von 1997 bis 2000. Die Abschnitte sind vom Kopfpunkt her fortlaufend nummeriert. Die Messverläufe der verschiedenen Abschnitte sind mit Nummern gekennzeichnet, die unter dem Eintrag ‚Geberbezeichnung‘ und ‚Einbauort‘ unten im Diagramm zu finden sind. Weiter ist der Verlauf der Temperatur im Gebirge dargestellt. Man erkennt eine stetige Verformung aller Abschnitte, wobei der Abschnitt 2 mit Abstand die höchsten Verformungen aufweist. Die Werte sind als Balkendiagramme in

Anlage 2.2.4 im räumlichen Bezug dargestellt. Die höchsten Verformungen in Form von Stauchungen treten im Abschnitt 2 zwischen 5,2 m und 9,8 m auf. Dort liegt eine der erwarteten Zonen der stärksten Belastungen der Schweben (Scherband). Geringere Stauchungen treten auch unter der östlichen Kante des Abbaus 9n auf sowie Dehnung im Steinsalz z3 direkt vor der Grenze zum Anhydrit z3HA. Die Verformungsraten liegen mit maximalen Beträgen bei rund $-0,17$ Promille/a (Abschnitt 2) und damit unter den Verformungsraten auf der 3. Sohle (dort Messung der Schwebenauflockerung). Die Verformungen von CG708E und CG709E sind in Anlage 2.2.5 dargestellt. Hier findet man deutlich geringere Verformungen als bei CG707E. Stauchungen der Schweben treten konturnah an der Südstrecke auf.

Die Extensometermessungen im Südfeld belegen die stetige Verformung von Schweben, die im Vergleich mit der Größe der (übereinander angeordneten) Abbaue eine geringe Mächtigkeit aufweisen. Es kommt sowohl zu einer Auflockerung der Schweben in vertikaler Richtung als auch zu Schwebenstauchungen in horizontaler Richtung.

Das vertikal angeordnete Extensometer CG731E erfasst Verformungen entlang der komplizierten Hohlräumenordnung im Bereich der Pfeiler und Schweben des Rollochs-systems (Anlage 2.1.11a). Geringere Verformungen traten zwischen 1970 und 1995 auf, danach ist kein einheitlicher Trend in der Entwicklung der Messwerte feststellbar.

Westfeld Bartensleben 4. Sohle (CG703E, CG705E und CG706E)

Die vertikal angeordneten Extensometer dienen der Überwachung der Firten in den Einlagerungskammern Abbau 1n, Abbau 2 und Abbau 3 (Anlage 2.1.10). Anfängliche geringfügige Verformungen werden auf Temperaturschwankungen durch die Bewetterung während der Befüllung der Abbaue bis 1998 zurückgeführt (BUSSE, 2001). Nach der Befüllung der Abbaue treten keine signifikanten Verformungen mehr auf.

Zentralteil D-Gesenk 2. - 4. Sohle (CG757E 2. Sohle, CG757E 3.Sohle, CG758E 4.Sohle)

Die Messungen, die der Verbindung des untertägigen Nivellements zwischen den Sohlen dienen, zeigen keine signifikanten Verformungen an.

Zentralteil Ostquerschlag 4. Sohle (CG723E – CG726E)

Die Altstationen wurden zur Überwachung der Konturauflockerung und der Pfeilerquerdrehung installiert (Anlage 2.1.10). Sie wurden jeweils zwischen Abbauen im Hartsalz (z2SF) bzw. im Steinsalz (z3OS) senkrecht zur Längsrichtung der Pfeiler und quer zum Ostquerschlag angelegt und erfassen jeweils Konturbereiche von beiden Abbauen. In den Konturbereichen kommt es zu erhöhten Verformungsraten, die mit bis rund 0,5 Promille/a angegeben werden.

Zentralteil (Nordfeld) Bereich Abbau 1a, 1. und 2. Sohle (CG701E und CG702E 1. Sohle) und Ostquerschlag 2. Sohle (CG720E 2. Sohle)

Zur Überwachung des Bereichs mit der Lösungszutrittsstelle im Abbau 1a werden umfangreiche geomechanische Messungen durchgeführt. Das Extensometer CG701E wurde von der Schrapperkammer auf der 1. Sohle parallel zum Aufhauen zum Abbau 1a angelegt (Anlagen 2.1.6 und 2.2.6). In der Verlängerung nach unten wurde das Extensometer CG702E von der Schrapperkammer aus in Richtung des Abbaus 2n auf der 2. Sohle installiert (Anlage 2.2.6). Dazwischen befinden sich Konvergenzmessquerschnitte in der Schrapperkammer, die die beiden Extensometerlinien verbinden (siehe CG701K, CG702K und CG701-702K in Abschnitt 2.1). Zusammen mit der Konvergenzmessung CG702K auf der 2. Sohle ergibt sich dadurch eine zusammenhängende Messstrecke von der Sohle des Abbaus 2n auf der 2. Sohle bis hinauf in den Abbau 1a über der 1. Sohle. Diese Strecke liegt etwa im Schichteinfallen. Etwa senkrecht zum Einfallen der Schichten wurden spezielle Lageänderungsmessungen (Inkrementalextensometer und Inklinometer) in der Bohrung RB801 im Abbau 2n auf der 2. Sohle installiert (Anlage 2.2.6). Über diese wird im Abschnitt 2.4 berichtet.

Die Messungen der beiden Extensometer CG701E und CG702E zeigen nicht-signifikante bis teilweise geringfügige Verformungen. Während es bei CG701E zu einem völligen Erliegen der Verformungen gekommen ist, zeigen die konturnahen Abschnitte bei CG702E an der Schrapperkammer 1. Sohle und am Abbau 2n geringfügige Auflockerungen an.

Das Extensometer CG720E auf der 2. Sohle erfasst einen Pfeilerbereich zwischen dem Abbau 2n und dem Ostquerschlag (Anlage 2.1.7). Geringfügige Dehnungen traten kontur-

nah am Abbau 2n zwischen 0,5 m und 1,5 m Teufe auf. Seit 1999 sind geringfügige Stauungen zu beobachten.

Zentralteil Südostfeld 2. Sohle (CG721E und CG722E)

CG721E erfasst in horizontaler Richtung einen Pfeilerbereich zwischen den Abbauen 4s und 13n (Anlage 2.1.7). Konturnah hatten sich ab 1981 Verformungen ergeben, die heute abgeklungen sind. CG722E erfasst in vertikaler Richtung die Schwebenauflockerung zwischen den Abbauen 13n auf der 2. Sohle im 1. Messabschnitt und die Konvergenz des darunterliegenden Abbaus 13YEA55 R002 auf der 3a-Sohle im 2. Messabschnitt. Die Messungen werden auch als Konvergenzstation CG723K geführt (siehe Abschnitt 2.1). Die Schweben zeigt eine geringfügige Auflockerung, während der Hohlraum eine geringfügige Konvergenz in vertikaler Richtung aufweist.

Versatzaufbereitungsanlage Zentralteil 3. und 4a-Sohle (CG713E und CG714E 3. Sohle und CG710E – CG727E 4a-Sohle)

Zur Überwachung einer Versatzaufbereitungsanlage im Abbau 2s der 4a-Sohle wurden 14 Extensometer in der Schweben zum darüberliegenden Abbau 2b südlich der 3. Sohle installiert (Anlage 2.1.9b). Die Firne des Abbaus 2s wurde mit einem Ankerabau gesichert. In den benachbarten Abbauen 1s und 1a, die zur Versatzzwischenlagerung vorgesehen sind, wurde jeweils ein Extensometer in der Firne installiert (Anlage 2.1.9b). Die Extensometer CG713E und CG714E wurden von der 1. südlichen Richtstrecke auf der 3. Sohle aus über dem Abbau 13a nördlich der 4a-Sohle installiert, der südlich neben Abbau 2s liegt. Die Schweben zwischen den Sohlen hat in diesem Bereich eine geringe Mächtigkeit von 1,5 m.

Stetige Verformungen und höhere Verformungsraten bis zur Größenordnung 1 Promille/a treten nur bei den beiden Extensometern CG713E und CG714E auf. Diese Verformungen lassen sich aufgrund der hohen Belastung der geringmächtigen Schweben zwischen der 1. südlichen Richtstrecke auf der 3. Sohle und dem Abbau 13a nördlich der 4a-Sohle erklären und sind letztlich auch als konturnahe Auflockerungen zu verstehen. In diesem Bereich der Strecke sind keine Risse zu erkennen und Radarmessungen zeigten, dass nur direkt am Extensometer CG714E Auflockerung nachgewiesen werden kann (Busse, 2001). Der Bereich ist vorsorglich gesperrt worden (Busse, 2001).

Vorübergehende Erhöhungen der Verformungsrate bei den übrigen Extensometern lassen sich mit der Auffahrung eines Durchhiebs zwischen den Abbauen 2s und 1s sowie mit Temperaturvariationen während des Betriebs der Versatzaufbereitungsanlage in Zusammenhang bringen (BUSSE, 2001). Die Anlage wurde von 12/1997 bis 10/1998 und wieder am Ende des Jahres 2000 betrieben. Etwas höhere Verformungsraten ergaben sich z.B. im Jahre 2000 an einigen Extensometern mit bis zu rund 0,15 Promille/a in Teufen zwischen 0 und 3,4 m in der Firste des Abbaus 2s.

Untertagemessfeld 4. Sohle (CG732E – CG740E UMF I und CG748E – CG747E UMF II)

Für die Altstationen des UMF I und II (Anlage 2.1.11.b) werden in BUSSE (2001) mit bis zu rund 1,5 Promille/a im Betrag die höchsten Verformungsraten in den Extensometermessungen berichtet. Darstellungen der Messungen liegen in BUSSE (2001) nicht vor, so dass diese Ergebnisse hier nicht beurteilt werden können. Es könnte sich zum einen um Verformungen nach Neuauffahrungen (Auffahrung des UMF II, Messungen im UMF I und II), zum anderen sich überwiegend um konturnahe Auflockerungen handeln. Letzteres kann bei den Einfachextensometern im UMF II nicht von konturferneren Verformungen unterschieden werden. Ein Einfluss des Wärmeeintrags der im UMF gelagerten Abfälle ist nicht auszuschließen.

2.2.4 Bewertung

Sowohl bei den Altstationen in den stark durchbauten Feldesteilen der Grube Bartensleben als auch bei den ab 1995 neu installierten Extensometern an wichtigen Betriebspunkten sind die auftretenden Verformungsgeschwindigkeiten im Gebirge überwiegend als gering einzustufen. Sie liegen überwiegend deutlich unter 1 Promille/a. Höhere Raten in der Größenordnung bis 1 Promille/a treten bei einigen Messungen im Konturbereich der Abbaue auf. Stetige höhere Verformungen werden abschnittsweise in den Untersuchungen zur Schwebenauflockerung bzw. -stauchung im Südfeld auf der 3. und 4. Sohle ermittelt (im Betrag bis rund 0,3 Promille/a). Auch in der geringmächtigen Schweben im Zentralteil zwischen 1. südlicher Richtstrecke und einem Abbau auf der 4a-Sohle treten höhere Verformungen auf (Bereich Versatzaufbereitungsanlage).

Für Abweichungen vom oft geraden Verlauf der Messkurven gilt dasselbe wie bei den Konvergenzmessungen (Abschnitt 2.1.3.1). Typisch für die Messkurven der Altstationen mit bis zu 30 Jahren Messdauer sind nicht messbare bis geringe Verschiebungs- und Verformungsraten über längere Zeiträume. Dazwischen deuten sich Bewegungsschübe geringen Ausmaßes an. Diese können u.a. mit Neuauffahrungen in benachbarten Bereichen in Zusammenhang stehen. Variationen der Verformungsraten korrelieren auch mit Variationen der Temperatur und der Feuchte aufgrund der Bewitterung der Abbaue, insbesondere in konturnahen Bereichen.

Für die Altstationen des UMF I und II werden zum Teil höhere Verformungen angegeben. Darstellungen der Messungen liegen nicht vor, so dass diese Ergebnisse hier nicht beurteilt werden können. Es könnte sich um konturnahe Auflockerungen und Einflüsse von Neuauffahrungen handeln.

Da überwiegend niedrige Verformungsraten auftreten und die Messverläufe überwiegend gleichförmig fortschreitende Verformungen anzeigen, lassen die Extensometermessungen auf unveränderte Beanspruchung des Gebirges schließen, die sich auch in Zukunft nicht abrupt ändern wird. Damit ergeben sich aus dem überwiegenden Teil der Extensometermessungen - wie bei den Konvergenzmessungen - keine Hinweise auf beschleunigte Verformungsvorgänge, die das Auftreten von Verbrüchen ankündigen würden. Bedeutsam sind allerdings die Beobachtungen der Schwebenauflockerung im Südfeld (Aufblätterung in vertikaler Richtung und Stauchung in horizontaler Richtung). Dort treten abschnittsweise höhere Verformungsraten im Gebirge auf, die z.T. mit Rissbildung verbunden sind. Sie belegen, dass Bereiche mit geringen Schwebenmächtigkeiten - insbesondere auch bei vertikal angeordneten Abbaureihen über mehrere Sohlen- einer besonderen Beurteilung der geomechanischen Situation bedürfen, bei der die Ergebnisse weiterer geotechnischer Untersuchungen einfließen. Der oben angesprochene Bereich im Zentralteil über der Versatzaufbereitung wird weiter untersucht und kann momentan nicht betreten werden.

2.3 Fissurometermessungen

2.3.1 Messziel und Messlokationen

In der Grube Bartensleben werden auftretende offene Risse im Zentralteil auf der 1. Sohle im Bereich Abbau 2n, im Südfeld auf der 3. Sohle im Bereich Rolllochsystem 8 sowie auf der 4. Sohle in der 1. südlichen Richtstrecke („Südstrecke“) und im Ostfeld auf der 4a-Sohle in einem Durchhieb gebirgsmechanisch mit Fissurometern überwacht (siehe Tabelle 2.3.1). Bis auf den Durchhieb im Ostfeld handelt es sich um ältere Hohlräume. Anhand dieser Messungen sollen die Beträge eventuell anhaltender Bewegungen an den Rissen ermittelt werden.

Die ersten 5 Fissurometer wurden in 10/1995 im Bereich des Abbaus 2n, 1. Sohle Bartensleben, und in der sich anschließenden Nordstrecke installiert (siehe Anlage 2.1.6). Dort treten überwiegend horizontal verlaufende, voneinander abgesetzte Risse im Stoß auf (Abbau 2n: Südwest- und Nordstoß, Nordstrecke: West- und Oststoß, Geologie: Steinsalz, z3OS). Sie liegen überwiegend in der Schichtung und erstrecken sich über eine Stoßlänge von ca. 70 m. Noch heute fest mit dem Gebirge verbundene Gipsmarken von 1963 und 1967 im Südweststoß des Abbaus 2n zeigen eine Öffnung von maximal ca. 5 mm in ca. 35 Jahren (siehe Anlagen 2.3.1 und 2.3.2). Die maximalen Rissöffnungsweiten an den Rissen betragen zwischen 10 und 15 mm.

Risse mit vergleichbarer Öffnungsweite und räumlicher Erstreckung wie im Abbau 2n finden sich auch in der Südstrecke auf der 4. Sohle Bartensleben oberhalb des Abbaus 2 (Oststoß) und des Abbaus 3 (Weststoß und Oststoß) der 5a-Sohle. Die Risse verlaufen ebenfalls horizontal und befinden sich auch in Schichten der Leine-Folge (z3OS-z3AM). An den Rissen wurden zwischen 1996 und 2000 Gipsmarken angebracht. U.a war eine der Gipsmarken von 1/96 im Oststoß über Abbau 2 bis 3/99 gerissen. Sie zeigt heute eine Öffnungsweite von deutlich weniger als 1 mm an (0,2 mm geschätzt). Die 4 Fissurometer wurden in 2/1996 installiert, ihre Lage ist Anlage 2.1.11a zu entnehmen.

Im Südfeld, 3. Sohle, treten Risse im Durchhieb zum Abbau 8s im Bereich des Rolllochsystems 8 auf, die in der Firste normal zur Abbaulängsachse und etwa vertikal verlaufen.

Die erreichte Öffnungsweite beträgt einige cm. In 2/1999 und 3/1999 wurden Gipsmarken und 3 Fissurometer installiert (siehe Anlage 2.1.8b).

Ein weiteres Fissurometer wurde zur Überwachung eines Risses im Ostfeld im Durchhieb zwischen Flachen 4 und dem Abbau 2 der 4a-Sohle in 12/1999 installiert (siehe Anlage 2.1.9a). Der Durchhieb wurde 1997 aufgeföhren. Die Öffnungsweite beträgt einige mm. Gipsmarken, die nach der Ausbildung der Rissfläche gesetzt wurden, wiesen in 9/1999 Risse bis 1 mm auf.

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 Messanschlügen mit Hilfe einer Messuhr bestimmt (Anlage 2.3.4).

Die Fissurometer werden senkrecht zum Verlauf der Risse an der Kontur angebracht. Die Rissöffnungsweite als Bewegung normal zur Rissfläche wird von der Komponente w erfasst, die Bewegung in der Rissfläche wird zum einen längs der Kontur von der Komponente v erfasst und zum anderen aus der Kontur heraus von der Komponente u . Die Verschiebungen in diesen drei Raumrichtungen erhält man, indem die Werte der Messuhr bei einer Nullmessung bestimmt werden und dann jeweils von den Messwerten bei den Folgemessungen subtrahiert werden.

Verlängerungen der Abstände zwischen den Messanschlügen werden als positive Werte angegeben. Es handelt sich um Messungen der relativen Verschiebungen zwischen den Rissufeln. Um eine absolute Bewegung abzuleiten, müssen Zusatzinformationen vorliegen.

In BUSSE (2001) wird die Messunsicherheit der Fissurometer in der Verschiebung mit $\pm 0,14$ mm angegeben. Der Messbereich beträgt ± 10 mm in jeder Raumrichtung.

Für die thermische Ausdehnung der Messsegmente wird keine Korrektur vorgenommen, da die erfassten Unterschiede in der Temperatur von weniger als 2,5 K sehr gering sind 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 0,0125 mm/(m·K), Temperaturdifferenz 2,5 K).

Die Raten der Verschiebungen an den Rissen wurden graphisch in Diagrammen wie denen in den Anlagen 2.3.5 – 2.3.7 ermittelt, wobei ein mittlerer erkennbarer Trend als Verschiebungsgeschwindigkeit erhalten wird. (In den Anlagen 2.3.5 – 2.3.7 ist die Rissöffnungsweite (Komponente w) dargestellt und es wird die Rissöffnungsgeschwindigkeit bestimmt.) Dabei handelt es sich um überschlägige Abschätzungen in der Größenordnung von 0,1 mm/a. Raten unterhalb eines Betrags von 0,05 mm/a werden nicht angegeben.

2.3.3 Ergebnisse

Die Messwerte von 1995 bis 2000 wurden als Diagramme der Unterlage BUSSE (2001) entnommen. Die Anlagen 2.3.5 – 2.3.7 (Unterlagen DBE) zeigen die gemessenen Rissöffnungsweiten (Komponente w). Die Messverläufe der verschiedenen Fissurometer sind mit Nummern gekennzeichnet, die unter dem Eintrag ‚Geberbezeichnung‘ unten im Diagramm zu finden sind. Auch der Temperaturverlauf am Stoß wird dargestellt. Die ermittelten Verschiebungsraten der Rissöffnungsweiten w sind in Tabelle 2.3.1 enthalten.

Allgemeine Beobachtungen

Die Messwerte zeigen insgesamt geringe Verschiebungsbeträge bis rund 0,8 mm Verschiebung an. 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 Verschiebungsraten dagegen werden in zeitlichen Bereichen ermittelt, in denen dies keine Rolle mehr spielt.

Bei den Messreihen mit signifikanten Bewegungen dominiert i.d.R. die Komponente w , die die Rissöffnung bzw. die Bewegung normal zur Rissfläche misst. Um eine Abschätzung

der Verschiebungsraten an den Rissen zu erhalten, werden daher die Raten der Rissöffnungsweite bestimmt. Auf signifikante Bewegungen in einzelnen Registrierungen in den beiden anderen Komponenten wird unten eingegangen.

Zentralteil 1. Sohle: Fissurometer CG089F, CG090F, CG091F sowie CG092F und CG093F

3 Fissurometer befinden sich von S nach N eng benachbart am W- bzw. SW-Stoß des Abbaus 2n und 2 Fissurometer sind gegenüberliegend in der Nordstrecke direkt hinter dem Eingang vom Abbau 2n angeordnet (siehe Anlage 2.1.6).

Anlage 2.3.5 zeigt die relativ gleichmäßige Entwicklung der Rissöffnung an allen 5 Fissurometern. Die Raten liegen zwischen 0,1 und 0,15 mm/a. Die obere Kurve bezeichnet den Temperaturverlauf, der nur etwa 1 °C Schwankung aufweist.

An den Fissurometern CG092F und CG093F fallen Bewegungen in Stoßrichtung auf (Komponente v), die annähernd die Größe der Rissöffnungsraten erreichen. An Fissurometer 090F hatte sich in der Vergangenheit ein ähnlicher Trend ergeben. Er ist aber seit 1998 abgeklungen.

Rund 10 m entfernt von den Fissurometern CG092 F und CG093F befindet sich die Konvergenzstation CG078K in der Nordstrecke (siehe Anlage 2.1.6). Hier beobachtet man mehrere feine Risse in Stoß und Firste als Fortsetzung der Risse an den Fissurometern nach Norden. Es ergeben sich eine Verlängerung der vertikalen Konvergenzmessstrecke mit einer Rate von 0,4 mm/a und keine signifikanten Werte in der horizontalen Messstrecke. Diese Beobachtungen stimmen von der Tendenz her mit den Fissurometermessungen an einem Riss überein. Die Divergenz in der vertikalen Konvergenzmessstrecke geht an dieser Lokation mit der Öffnung von Rissen einher.

Südfeld, Südstrecke, 4. Sohle: Fissurometer CG184F - CG187F

2 Fissurometer sind über Abbau 3 der 5a-Sohle eng benachbart am westlichen Stoß an je einem horizontalen Riss angeordnet und 2 Fissurometer sind über Abbau 2 eng benachbart am östlichen Stoß an je einem horizontalen Riss angeordnet (Anlage 2.1.11a).

Anlage 2.3.6 zeigt relativ gleichmäßige Entwicklungen der Rissöffnung an den 4 Fissurometern ähnlich wie die Ergebnisse auf der 1. Sohle. Die Raten liegen zwischen 0,15 und 0,2 mm/a. Die oberen Kurven bezeichnen den Temperaturverlauf, der auch hier nur etwa 1 °C Schwankung aufweist.

Die zu den Fissurometern CG186F und CG187F benachbarte Konvergenzstation CG068K zeigt in der vertikalen Komponente keine Bewegungstendenz an. Die Risse, an denen die Fissurometer installiert wurden, erstrecken sich am Stoß entlang nicht bis in den Bereich der Konvergenzstation.

Südfeld, Rollochsystem 8 am Abbau 8s, 3. Sohle: Fissurometer CG171F – CG173F

Die 3 Fissurometer sind in diesem Fall an vertikal verlaufenden Rissen, benachbart in der Firste eines Durchhiebs angeordnet (Anlage 2.1.8b). Sie liegen am nördlichen Ausgang des Abbau 8s.

Anlage 2.3.7 zeigt die relativ gleichmäßige Entwicklung der Rissöffnung an den 3 Fissurometern im bisherigen Messzeitraum von rund 1,5 a. Die Raten liegen zwischen 0,1 und 0,25 mm/a. Die oberen Kurven bezeichnen den Temperaturverlauf, der hier etwa 2 °C Schwankung aufweist.

Ostfeld, Durchhieb D4 vom Flachen 4 zum Abbau 2 der 4a-Sohle: Fissurometer CG188F

Das Fissurometer wurde in 12/1999 an einem in der Firste verlaufenden Riss installiert, an dem zuvor Gipsmarken installiert und gerissen waren (Anlage 2.1.9a). Die Messungen ergaben keine signifikanten Bewegungen in 2000.

2.3.4 Bewertung

Mit den Fissurometermessungen werden geringe Relativverschiebungen dreidimensional an Rissen an der Kontur von Hohlräumen nachgewiesen. In den Ergebnissen überwiegen generell die Rissöffnungen normal zur Rissfläche gegenüber Bewegungen in der Rissfläche. Der zeitliche Verlauf der Öffnung der einzelnen Risse ist relativ gleichmäßig und weist eine konstante Rate auf. Die Rissöffnungsraten liegen zwischen 0,1 und 0,25 mm/a,

in einem Fall wird keine anhaltende Bewegung nachgewiesen. Die Ergebnisse belegen, dass die Bewegungen an den meisten der untersuchten Risse langsam und gleichmäßig fortschreiten.

Konvergenz- und Fissurometermessungen im Bereich eines Rissystems auf der 1. Sohle liefern übereinstimmende Tendenzen. Die Verlängerung einer vertikalen Konvergenzmesstrecke und die Öffnung eines einzelnen Risses in der Nordstrecke auf der 1. Sohle stehen im Einklang und zeigen, dass die beobachtete Divergenz im Konvergenzmessquerschnitt mit Rissbildung einhergeht.

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 Durchbauungsgrad mit teilweise geringmächtigen Schweben und Pfeilern,
- Nähe der Abbaureihen 2 und 4 zum Hauptanhydrit (z3HA) und Grauen Salzton (z3GT),
- lokales Auftreten von Zugspannungen im Übergangsbereich von Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (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 auf die Abbaue zu erfassen. Die Messbohrung RB801 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 Liniensalz (z3LS) über Hauptanhydrit (z3HA), Grauen Salzton (z3GT) und Kalilager (z2SF) bis ins Hauptsalz (z2HS3, Kristallbrockensalz) 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 zu entnehmen, siehe auch Anlage 2.2.6. Anlage 2.4.2 enthält die geologischen Grenzen (Unterlage der DBE). 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 Abbaue im Kalilager C erzielt werden und die Bohrung im hinteren Bereich ca. 10 m im Staßfurt-Steinsalz verlaufen. Die Bohrung wurde gekernt,

und die Kerne wurden in der BGR in Hinblick auf Triennflächen ingenieurgeologisch aufgenommen (Tabelle 2.4.1). Auffällig waren hierbei Risse im Übergangsbereich zwischen Liniensalz (z3LS) und Hauptanhydrit (z3HA) sowie zahlreiche Klüfte im Hauptanhydrit (z3HA) und im Grauen Salzton (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. Die axialen Verschiebungen (Änderungen der Abstände der Messringe, 'Ringabstände') werden mit einem mobilen Inkrementalextensometer bestimmt. Die Verschiebungen senkrecht zur Bohrlochachse in der Vertikalebene (Neigungsänderungen) werden mit einem mobilen Inklinometer ebenfalls in Abständen von 1 m bestimmt. Die zwei Bohrlochsonden stammen von der Fa. Interfels. Die Messunsicherheit (Systemgenauigkeit) beträgt beim Extensometer $\pm 0,01$ mm und beim Inklinometer $\pm 0,1$ mm. Aus den Ringabständen und den Neigungsänderungen wird die Lageänderung in Form von Verschiebungsvektoren in der Messebene an jedem Messpunkt der Bohrung ermittelt.

2.4.3 Ergebnisse

Die Nullmessung wurde in 2/96 und Folgemessungen wurden in 3/96, 4/96, 6/96, 9/96, 3/97, 6/97 und 9/97 durchgeführt. Seit 1998 wird ein halbjährlicher Messrhythmus eingehalten. Die hier vorliegenden Messdaten wurden der Unterlage KERN (2000) entnommen. Sie enthält die Folgemessungen 3/99 und 9/99.

Anlage 2.4.3 stellt die Änderungen der Ringabstände (Daten Extensometer) und die Neigungsänderungen (Daten Inklinometer) gemeinsam über der Bohrlochteufe in m als Verformungen in mm/m bzw. in Promille (10^{-3}) dar. Aufgetragen sind die Differenzen der Messwerte der Folgemessung von 9/99 und der 2. Folgemessung von 4/96. Der Bezug auf die Folgemessung 4/96 ist sinnvoll, da bis zu diesem Zeitpunkt verstärkte Bewegungen abliefen, die auf Einbaueffekte zurückzuführen sind. Zu beachten sind in Anlage 2.4.3 die

unterschiedlichen Skalen der Darstellung (Bereich $\pm 0,6$ 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 Liniensalz (z3LS, Auflockerung an der Abbaukontur),
- von 20 m bis 25 m im Liniensalz (z3LS),
- von 36 m bis 55 m vom Liniensalz (z3LS) in den Hauptanhydrit (z3HA) hinein (Grenze z3LS und z3HA bei 40 m),
- von 69 m bis 73 m im Hauptanhydrit (z3HA) und im Grauen Salzton (z3GT, Grenze z3HA und z3GT bei 71 m)

Teilweise korrelieren Änderungen der Ringabstände mit denen der Neigung, wobei allerdings die maximalen Beträge unterschiedlich ausfallen. Insbesondere an der auffälligsten Stelle in der Bohrung - am Übergang z3LS zu z3HA - korrelieren die Verläufe der beiden Messungen deutlich. Der in Anlage 2.4.3 dargestellte Verlauf der Verformungen über der Bohrlochteufe ist seit Beginn der Messungen (bzw. seit der Folgemessung 4/96) der gleiche geblieben. Die von der Verformung her signifikanten Bereiche in der Bohrung - wie oben erwähnt überwiegend an den Grenzflächen - heben sich von Messung zu Messung besser von den Bereichen mit geringer oder nicht messbarer Verformung ab ('Rausch'-Anteil im Verformungssignal).

In der bisher erreichten Gesamtmesszeit von rund 1360 Tagen zwischen den Messungen 4/96 und 9/99 in Anlage 2.4.3 findet man den maximalen Wert der Rate der Abstandsänderung am Bohrlochmund. Hohlraumnah findet eine Auflockerung von rund $0,15 \cdot 10^{-3}/a$ axialer Verformung statt. Im Gebirge betragen die Raten der Abstandsänderungen maximal rund $0,07 \cdot 10^{-3}/a$ (z3GT). Bei den Neigungsänderungen ergibt sich der maximale Betrag der Raten mit $0,72 \cdot 10^{-3}/a$ an der Grenze von Steinsalz und Hauptanhydrit. Diese Werte liegen insgesamt etwas niedriger als die Raten in den früheren Messzeiträumen.

Anlage 2.4.4 stellt die aus den Ringabständen und Neigungsänderungen ermittelten Verschiebungsvektoren dar (Unterlage der DBE). Auffällige Bewegungen ergeben sich an der Grenze zwischen Steinsalz und Anhydrit sowie an der Kontur des Abbaus 2n. Die Bewe-

gung findet dort i.w. senkrecht zur Bohrung und in einem spitzen Winkel zum erwarteten Einfallen der Schichten statt.

2.4.4 Bewertung

Die gemessenen Bewegungen axial in Richtung und senkrecht zur Richtung des Bohrlochs RB801 verlaufen seit dem Abklingen der Einbaueffekte nach der Folgemessung 4/96 stetig mit einer Tendenz zur Verringerung der Raten. Die Raten der Neigungsänderungen betragen maximal rund $0,72 \cdot 10^{-3}/a$ (Betrag), die der Abstandsänderungen rund $0,07 \cdot 10^{-3}/a$ im Gebirge und $0,15 \cdot 10^{-3}/a$ direkt an der Kontur. Deutliche Trends ergeben sich in den Übergangszonen von Liniensalz (z3LS) und Hauptanhydrit (z3HA) sowie von Hauptanhydrit und Grauem 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 Hauptanhydrits.

Die Ergebnisse für den Übergangsbereich von Liniensalz (z3LS) und Hauptanhydrit (z3HA) deuten eine Bewegung des Gesteins an, die senkrecht zur Bohrung stattfindet. Der räumlichen Verteilung der Verschiebungen bzw. Neigungsänderungen nach kann es sich nicht um eine einzelne Bewegungs- bzw. Scherfläche handeln, sondern es könnte sich um mehrere gestaffelte Flächen handeln. Die absolute Bewegungsrichtung kann allein aus den Messungen in der Bohrung RB801 nicht geklärt werden, da kein Bezugspunkt gewählt werden kann, der mit Sicherheit in Ruhe geblieben ist.

Signifikante axiale Längenänderungen treten direkt am Bohrlochmund auf und können dort als stoßnahe Aufblätterung angesehen werden. Weitere Bereiche mit axialen Längenänderungen, teilweise mit Neigungsänderungen verbunden, finden sich mitten im z3LS sowie an der Grenze von z3HA und z3GT. Hier kann die Existenz von Hohlräumen unterhalb dieser Bereiche eine Rolle spielen. Am Übergang zwischen z3HA und z3GT findet sich in den Bohrkernen eine markante Kluft von 15 cm Öffnungsweite, die mit Carnallitit gefüllt ist. Bei der geringen, aber auffälligen axialen Längenänderung mitten im z3LS kann der Einfluss einer weiteren Anhydritscholle eine Rolle spielen, die ca. 10 m oberhalb und ca.

20 m nördlich der Bohrung RB801 in den Bohrungen RB971 und RB972 angetroffen wurde (BEHLAU, MINGERZAHN, BORNEMANN, 1998).

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 ingenieur-geologischen Aufnahme der Bohrung RB801 wurden einige Klüfte festgestellt (siehe Tabelle 2.4.1). Sie liegen gerade in den Bereichen, die in den Messungen auffallen. An solchen Trennflächen werden sich Bewegungen an Grenzflächen wie auch innerhalb der nicht duktilen Gesteine Hauptanhydrit und Grauem Salzton abspielen, wenn Beanspruchungen des Gebirges stattfinden.

2.5 Untertägige Höhenmessungen

Mit den untertägigen Höhenmessungen werden zunächst die relativen Höhenänderungen von Messpunkten zueinander erfasst, die durch die Schaffung von Hohlräumen im Gebirge ausgelöst werden. Sie dienen damit der Überwachung der Standsicherheit der Grubenbaue und sind Bestandteil der Genehmigung zum Betrieb des Endlagers für radioaktive Abfälle am Standort Morsleben.

2.5.1 Messnetz und Auswerteverfahren

Ein Punktnetz zur untertägigen Höhenmessung wurde erstmals 1970 eingerichtet und in 2 Phasen wesentlich erweitert und erneuert. Von 1970 bis 1978 wurden Teilbereiche der Ostquerschläge auf der 2. (-291-mNN-Sohle) und 4. Sohle (-372-mNN-Sohle) auf Bartensleben und der -231-mNN-Sohle auf Marie unabhängig voneinander vermessen. Das aus diesem Zeitraum der DBE vorliegende Datenmaterial ist nicht ausreichend dokumentiert und daher nicht auswertbar. Von 1979 bis 1981 wurden die 1. Sohle (-253-mNN-Sohle) und 3. Sohle Bartensleben (-332-mNN-Sohle) ergänzt und mit Teilerweiterungen bis 1994 in dieser Konfiguration gemessen. 1994 erfolgte eine Neuvermarkung der Festpunkte und, soweit die örtlichen Gegebenheiten es zuließen, die Bildung von Messschleifen auf den einzelnen Sohlen und untereinander über Rampen (Flachen) und ab 1995 auch über Lotungen im Schacht Bartensleben und im D-Gesenk. Während der Bereich Marie durch 6 Schleifen in sich gut kontrolliert ist, liegen im Bereich Bartensleben weiterhin noch viele nur einseitig angeschlossene Messzüge vor, die in ihrer Aussagegenauigkeit daher eingeschränkt sind. Durch die bis 1994 erfolgte Erweiterung wurde ein Nivellementzug von ca. 25 km Länge mit ca. 820 Messpunkten eingerichtet (KORN, 1999). In den einzelnen Messperioden werden jedoch durch Zerstörungen, Unzugänglichkeiten von Messpunkten und Streckennachrissarbeiten eine davon abweichende Anzahl von Messpunkten eingemessen.

Über die Zeit betrachtet ergibt sich als Ergebnis des untertägigen Nivellements ein heterogenes Datenmaterial, nicht nur was die Messkonfiguration anbelangt, sondern auch im Messverfahren, der Messauswertung und der Dokumentation. Die höchste Zuverlässigkeit

und Aussagekraft der Messergebnisse ist der neuesten Netzkonfiguration und Auswertung ab 1994 zuzuschreiben. Sie benutzt das Kalman-Filterverfahren, das neben einem statischen Ansatz der gemessenen Verformungen einen dynamischen Ansatz enthält, der die jährlichen Geschwindigkeiten der Messpunkte mit einem linearen Verformungsmodell berücksichtigt. Zufällige Schwankungen der Messergebnisse werden mit zunehmender Anzahl von Wiederholungsmessungen ausgeglichen. Die ersten Messungen sind aus diesem Grund mit größerer Unsicherheit behaftet. Weiterhin wird das Netz nicht mehr an einen Festpunkt angeschlossen, sondern auf möglichst stabile Punkte gelagert, die über das Grubengebäude verteilt sind. Die Entwicklung des Messnetzes sowie die Beschreibung der Auswerteverfahren, im speziellen des Kalman-Filterverfahrens, sind in DEGEN (DBE, 1997) beschrieben.

2.5.2 Ergebnisse der Messungen

Die Auswertung der Messungen ergab für ermittelte Höhenänderungen eine mittlere Standardabweichung von ca. $\pm 1,1$ mm. Signifikant sind Firstpunktgeschwindigkeiten größer ca. $0,8$ mm/a. Diese Schwellenwerte sind auf das Kalman-Filterverfahren bezogen und sind von der Güte der Einzelmessungen und der Anzahl der Wiederholungsmessungen abhängig. In den ersten Messeperioden auftretende Verformungsraten oberhalb der Signifikanzgrenze werden in der Auswertung nur dann berücksichtigt, wenn sie in weiteren Messeperioden annähernd wieder erreicht werden. Der Schwellenwert der Geschwindigkeit wird dazu herangezogen, um auf diejenigen vermessenen Bereiche in den Grubenbauen einzugehen, die sich in den Messeperioden durch signifikante Verformungsraten ausgewiesen haben. Dabei wird zwischen den Messzeiträumen 1981 bis 1994 (ältere Messkonfiguration und -verfahren) und 1994 bis 2000 (neue, vernetzte Messkonfiguration und -verfahren) unterschieden. In Tabelle 2.5.1 sind die Ergebnisse zusammengestellt. In den übrigen vermessenen Grubenbereichen treten Verformungen auf, die unterhalb der Verformungsrate von $0,8$ mm/a liegen, über die Zeit jedoch belastbare da trendhafte Bewegungen ergeben.

Die Tabelle 2.5.1 zeigt, dass in den beiden Messzeiträumen i.d.R immer wieder dieselben Bereiche durch signifikante Verformungen auffallen. Dies bestätigt sich auch in den einzelnen Messeperioden innerhalb der Messzeiträume 1981-1994 und 1994-2000. Abwei-

chungen von dieser Feststellung ergeben sich aus der Einbeziehung von neuen Messstrecken, die erst seit 1994 gemessen werden, durch eine etwas andere Lage der Vermarkung der Messpunkte im neuen Netz oder durch einzelne Messpunkte, die mit ihren Verformungen dicht am Schwellenwert liegen.

Anhand der in Tabelle 2.5.1 eingetragenen stratigraphischen Einheiten wird ersichtlich, dass das Hauptsalz (z2HS) besonders verformungsfreudig ist. Dies wird insbesondere im Grubenteil Marie deutlich, wo alle Punkte in dieser Einheit liegen und der Durchbauungsgrad i.a. gering ist. Daneben weisen Messpunkte im oder in unmittelbarer Nähe zu den Kalilagern (z2SF) und Punkte, die in den Übergangszonen vom Hauptanhydrit (z3HA) zu den angrenzenden Salzschieben gegründet sind erhöhte Verformungen auf. Das carnallitisch ausgebildete Kalilager ist auch von anderen Bergwerken her und durch Kriechuntersuchungen im Labor als verformungsfreudig bekannt. Im Hauptanhydrit sind aufgrund seiner Steifigkeit dagegen geringe Verformungen zu erwarten. Die signifikanten Bewegungen an einzelnen Messpunkten im Anhydrit sind vermutlich auf ihre randliche Lage zum Anhydritkörper zurückzuführen, wo eine stärkere Zerlegung des Anhydrits durch Verformungsvorgänge an der Grenzfläche zwischen duktilem und sprödem Gestein stattgefunden hat.

Fast alle signifikanten Messpunktbewegungen im Linien-, Orange- und Bank-/Bändersalz (z3LS, z3OS, z3BK/BD) sind an Abbaue geknüpft, die zur Gewinnung von Steinsalz aufgeföhren wurden. Besonders Brückenfelder zwischen Strecken und Abbauzugängen wie z.B. im Zentralteil (Hauptmulde) sind davon betroffen. Die Verformungen in der Südstrecke der 4. Sohle sind an die Abbaue 8s bis 9s der 4a-Sohle und den unterlagernden Abbauen 1 bis 3 der 5a-Sohle gebunden. Dadurch wird die Beanspruchung des Gebirges durch einen hohen Durchbauungsgrad deutlich. Die Signifikanz der Verformungen im südlichen Abschnitt der Südstrecke ist nur in den ersten Messepochen bis 1997 des Messzeitraums 1994-2000 vorhanden, eine Ursache aufgrund stratigraphisch-bergbaulicher Gegebenheiten ist nicht gegeben.

An der weitaus größten Anzahl der Messpunkte werden Senkungen ausgewiesen. Gelegentlich treten auch Hebungen auf, die aber fast alle deutlich unterhalb der Signifikanzgrenze liegen und damit eher als Artefakt durch ungünstige Netzgeometrie und Messunsicherheiten zu betrachten sind. Eine Besonderheit stellen die Hebungen im östlichen Ost-

querschlag der 2. Sohle (Ostmulde) dar, die immer wieder erscheinen und oberhalb der Signifikanzgrenze liegen. Eine Erklärung kann im Augenblick für dieses Verhalten der im Schwaden- und Anhydritmittelsalz (z3SS, z3AM) verankerten Messpunkte nicht gegeben werden

Die maximale ermittelte Firstsenkungsgeschwindigkeit beträgt $-1,8$ mm/a. Sie wurde (Messzeitraum 1981-1994) und wird (Messzeitraum 1994-2000) in den Grubenbereichen Nordstrecke Marie, Ostquerschlag Marie, 2. Sohle Ostquerschlag Bartensleben, 2. Sohle 1. nördliche Richtstrecke Bartensleben und 4. Sohle Ostquerschlag Bartensleben erreicht ($-1,6$ bis $-1,8$ mm/a). Die 1. nördliche Richtstrecke auf der 2. Sohle Bartensleben (Verbindungsstrecke nach Marie) wurde erst in den Jahren 1988 bis 1990 aufgefahren. Aufgrund des geringen Alters dieser Strecke resultieren vermutlich noch erhöhte Verformungsbeträge, die im Laufe der Zeit noch etwas abnehmen können. Über die insbesondere seit 1994 gemessenen Messepochen hinweg zeichnet sich insgesamt eine Stabilisierung bis geringfügige Abnahme der Verformungsgeschwindigkeiten ab.

2.5.3 Bewertung der untertägigen Höhenmessungen

Durch eine geringe Ausdehnung, fehlende Vernetzungen und ungenügende Dokumentation sind die ersten Messungen der untertägigen Höhen auf der Schachtanlage Morsleben nur sehr eingeschränkt in ihrer Aussage zu verwenden. Im Vergleich mit den neueren Messungen speziell ab 1994 zeigt sich aber, dass die relativen Beziehungen benachbarter Punkte erhalten geblieben sind und Bereiche mit höheren und niedrigeren Verformungen sich immer wieder durchpausen. Damit ist eine qualitative Verknüpfung der einzelnen Messzeiträume möglich.

Der Umfang der Verformungen ist von der angetroffenen Petrographie, wie z.B. dem verformungsfreudigeren Hauptsalz (z2HS), dem Durchbauungsgrad der einzelnen Bereiche des Grubengebäudes – hier ist der Zentralteil der Grube Bartensleben und seine Brückenfelder zwischen Strecken und Abbauen zu nennen – und vereinzelt Besonderheiten in Abhängigkeit von der salztektonischen Position abhängig. Die überwiegende Anzahl der Messpunkte ist in ihrer jährlichen Verformungsrate nicht signifikant. Dies betrifft gerade

auch Bereiche mit einer geringeren Salzschiebe zum Deckgebirge (z.B. Lagerteil H, 2. Nordquerschlag) soweit sie gemessen werden können. Aber auch die maximalen Raten von 1,8 mm/a sind als gering zu bezeichnen.

Die Messungen weisen für die Gesamtstabilität des Grubengebäudes ein auf niedrigem Niveau stationäres Verformungsverhalten aus.

ERA
Morsleben

2.6 Übertägige Höhenmessungen

Die übertägigen Höhenmessungen in der Umgebung der Schachanlage Morsleben werden seit 1970 durchgeführt. Die Historie der Messungen läßt sich in 4 Zeitabschnitte unterteilen. Dabei wurden bis 1991 jeweils weitgehend identische Messnetze, Messverfahren und Dokumentationsweisen verwendet. Das heutige Netz wurde 1991/1992 eingerichtet und 1992 die Nullmessung durchgeführt. Daraus ergeben sich, bezogen auf die vor 1992 durchgeführten Messungen, unterschiedliche Qualitätsniveaus der Ergebnisse und ihrer Nachvollziehbarkeit. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Nullmessung wurde die erste Folgemessung in 1993 herangezogen und mit der eigentlichen Nullmessung zur formalen „Nullmessung 1993“ gemittelt. Das heutige Festpunktnetz umfaßt 321 Messpunkte auf einer Fläche von ca. 39 km² bei einer Linienlänge von ca. 91 km. Durch verschiedene Ursachen (Beschädigung, Gebäudeabriß, Unzugänglichkeit) gingen im Laufe der Jahre einige Messpunkte verloren (FROESE, 1997; BUSSE, 2000).

Nach Ausgleichung von 4 seit 1993 in diesem Netz durchgeführten Messepochen beträgt die mittlere Standardabweichung der ermittelten Höhen $\pm 0,4$ mm. Signifikante Geschwindigkeiten sind größer als 0,3 mm/a (BUSSE, 2000).

Vorangegangene Bewertungen der übertägigen Höhenmessungen haben den starken Einfluss von oberflächennahen geologischen, evtl. auch tektonischen Prozessen nahegelegt und nur einen geringen Umfang der Geländesenkungen aufgrund des Bergbaus gesehen. Diesem Ansatz soll im nachfolgenden Text verstärkt nachgegangen werden. Dabei dienen als wesentliche Grundlagen die Folgemessungen der Jahre 1995, 1997 und 1999. Im Februar 2001 lieferte die DBE auf Anfrage der BGR einen für die EDV-Auswertung erstellten digitalen Datensatz zu den vorgenannten Messepochen.

Für die geologische Bewertung des Festpunktnetzes wurden folgende Unterlagen benutzt:

- Morphogenetische Kartierung Phase 2 (KUGLER & VILLWOCK, 1996),
- Geologische Bearbeitung des Quartärs (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998),
- Topographische Karte 1:25000 Blatt 3732 Helmstedt,
- Geologische Karte 1:25 000 Blatt 3732 Helmstedt und

- Geologische Karte 1:10000 (ALBRECHT & BURCHARDT, 1998),
- Datensatz zur 3-D Darstellung des Hutgesteins im Allertal (persönliche Mitteilung Best und Zirngast (BGR), März 2001).

Die graphische Auswertung der Messungen erfolgte mit dem Programm SURFER, Version 7.04 der Fa. Golden Software, Golden Colorado, USA. Für die Höhenkonturierung wurde der Linear-Kriging-Algorithmus gewählt.

2.6.1 Herangehensweise und Darstellung der Höhenänderungen

Zur Feststellung der Lage von Hebungs- und Senkungsmaxima im Festpunktnetz Morsleben wurden die Höhenänderungen in mm des gesamten Festpunktnetzes, ausgehend von den Nullmessungen 1992 und 1993, für die Epochen 1995, 1997 und 1999 an das Programm SURFER übergeben, Isolinien gleicher Höhenänderungen berechnet und als Isolinienkarten ausgegeben. Die Isolinienintervalle wurden mit abgestuften Farbflächen gefüllt. Flächen, die außerhalb des Messnetzes an den Rändern der Diagramme liegen, wurden in Anlage 2.6.1 belassen. Anlage 2.6.1 zeigt die Entwicklung der Messepochen 1995 bis 1999 gestapelt dargestellt. Ein Festpunkt (Nr. 58040) wurde zur Orientierung mit einer vertikalen Linie zwischen den einzelnen Diagrammen versehen. Man erkennt, dass sich Bereiche mit stetiger Hebung oder Senkung von Messung zu Messung deutlicher von ihrer Umgebung abheben.

Anlage 2.6.2 zeigt die Ergebnisse der Messepoche 1999 zusammen mit der Lage des Grubengebäudes. Flächen außerhalb des Messnetzes an den Rändern des Diagrammes wurden aus der Darstellung herausgenommen. Die in den Epochenauswertungen deutlich hervortretenden Festpunkte mit stärkeren positiven oder negativen Höhenänderungen (mehr als 3 mm) wurden durch farbige Symbole markiert. Die ausgewiesenen Messbereiche finden sich in den jeweiligen Kartenlegenden. Die übrigen Festpunkte sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Im Bereich des Grubengebäudes und seiner näheren Umgebung wird im Süden eine flächenhafte Senkung festgestellt (Grube Bartensleben: über Westfeld, Südfeld, Zentralteil und Südostfeld mit den auffälligen Festpunkten 58040, 27010, 132070, 47060 und 47050). In Busse (2000) werden für diesen Bereich maximale

Senkungsgeschwindigkeiten von 0,8 mm/a nachgewiesen. (Dabei blieben die Festpunkte 58040 und 47050 mit Hinweis auf eine nicht stabile Gründung als Mauerbolzen unberücksichtigt (FROESE, 1998).) Über dem mittleren bis nördlichen Bereich des Grubengebäudes (Grube Marie) findet man Hebung (Festpunkt 17040 mit weniger als 3 mm Hebung, aber zeitlich konstanter Bewegung) und Senkung (Festpunkte 20010 am östlichen Rand der Grube und 19060 westlich vom Grubengebäude). Nach Busse (2000) liegen die Geschwindigkeiten der Bewegungen außerhalb des Grubengebäudes zwischen $-0,7$ mm/a (Senkung) und 1,3 mm/a (Hebung).

Die Bewertung der in den Isolinienkarten abgebildeten Festpunkte mit stärkeren Höhenänderungen wird im Folgenden anhand der geologischen, morphologischen und geographischen Gegebenheiten im Umfeld der betreffenden Festpunkte vorgenommen.

2.6.2 Geologische und geographische Gegebenheiten

Das Untersuchungsgebiet ist im Westen durch den Höhenzug des Lappwaldes (Lappwaldscholle) und im Osten durch die Hochlage der Weferlinger Triasplatte (Weferlinger Scholle) gekennzeichnet. Dazwischen erstreckt sich von SE nach NW das durch Subrosion und Erosion etwa 60 m tief eingeschnittene Allertal.

Auf der Lappwaldscholle streichen in einer von zahlreichen Störungen geprägten Muldenstruktur Schichten des Mittleren bis Oberen Keuper (Rhät) und des Unteren Jura (Lias) aus (BEST & ZIRNGAST, 1997). Die Weferlinger Scholle bilden überwiegend Schichten des Muschelkalk und Mittleren Keuper und Reste der im Quartär erodierten Tertiärbedeckung (siehe Anlage 2.6.5).

Die Füllung des Allertals setzt sich vom Hangenden zum Liegenden aus holozänen fluvialen Sedimenten (Auenlehm) und limnischen Bildungen (Schluff-, Kalk- und Torfmudden) zusammen. Darunter folgen quartäre Schotter, Geschiebemergel, Sande und Schluffe vom Prä-Elster bis zum Weichsel (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998). Im Liegenden lagern am Westrand der Allertalstruktur mächtige sandige Schichten der Oberkreide. Es folgen Unterjura-Schichten (Lias). Schichten des Oberjura (Malm) finden sich als kleine Schollen am

Westrand der Allertalstruktur. Aus den Juraschichten ragt das Hutgestein der Salzstruktur Allertal (Zechstein) heraus (Anlage 2.6.5).

Die Mächtigkeit der quartären Lockersedimente variiert überwiegend zwischen 5 und 30 m. In der Talmitte steigen die Werte lokal auf bis zu 60 m an. Im Bereich des Zentrals der Grube Bartensleben erreichen die Mächtigkeitswerte 100 m (Anlage 2.6.3, ALBRECHT & BURCHARDT, 1998).

2.6.3 Höhenpunkte mit Hebungstendenz

Festpunkt 17040:

Dieser Festpunkt weist im Gegensatz zu den im Folgenden beschriebenen Festpunkten keine besonders markante Vertikalbewegung auf. Jedoch erscheint er in allen bisherigen Auswertungen, auch auf Basis der alten Messungen, stets mit leichter Hebung. Die benachbarten markanten Festpunkte 19060 und 20010 weisen dagegen eine vergleichsweise starke Senkung auf. Der Punkt liegt über der Nordstrecke (Lager F) der Grube Marie. Der Durchbaugrad unter dem Festpunkt ist gering.

Der Festpunkt ist in quartären Fließerden, vorwiegend Schwemmlöß gegründet. Auch unter Einbeziehung des Untergrundes des Festpunktes läßt sich die Hebung geologisch nicht eindeutig erklären. Das Substrat und die Lage erlaubt die Vermutung, dass geringfügige Hangbewegungen (Rutschungen) auf den Festpunkt einwirken. Es ist wegen der Schollengliederung des präquartären Untergrundes im Bereich der Randstörung auch denkbar, dass die Fließerden bei ihrer hangabwärts gerichteten Bewegung an einer hangparallelen Festgesteinsscholle angestaut werden und sich der Festpunkt somit hebt.

Es gibt keinen Anhaltspunkt, Einflüsse des Bergbaus als Ursache für die Hebung des Festpunktes heranzuziehen.

Festpunkt 2040:

Der Festpunkt liegt ca. 500 m westlich der Nordstrecke Marie, oberhalb des Quellbereichs des Nordarmes des Rhötegrabeus in der Flur Streitholz. In diesem Bereich finden sich an

der Oberfläche äolische Sedimente und Fließerden der Weichsel-Kaltzeit (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998: Schichtenschnitt 2). Die Strukturrandstörung (Anlage 2.6.5) verwirft hier Schichten des Oberen Keupers (Unterrhät) gegen Schichten des Unteren Jura (Lias). Möglicherweise ist die Hebung des Punktes Ausdruck einer Relativbewegung an Schollengrenzen. Diese Bewegungen (Schollenkippen) können sowohl als Folge von Subrosion als auch als Folge neotektonischer Bewegungen gedeutet werden. Eine bergbauliche Ursache der Bewegung des Festpunktes ist aufgrund seiner größeren Entfernung zu Grubenbauen auszuschließen.

Festpunkte 28070 und 29020:

Die Festpunkte liegen in der Flur Salzholz, auf dem nach E abfallenden Talhang der Dachfläche der Lappwaldscholle, im Bereich des Quellhorizonts des zur Aller entwässernden Salzbachs. Die Festpunkte sind in Tonsteinen und dünnplattigen Sandsteinen des Unteren Jura, Hettangium, gegründet.

Die fortdauernde Hebung der Festpunkte läßt sich nur mit rezenten Schollenhebungen (Relativbewegungen; siehe auch Festpunkt 2040) erklären.

Festpunkt 54040:

Der Festpunkt liegt ca. 1 km südlich der Grube Bartensleben (Anlage 2.6.5) über dem Fuß des Südwesthangs des in diesem Abschnitt des Oberen Allertals über 200 m hoch aufragenden Hutgesteins der Salzstruktur Allertal (Anlage 2.6.4). Die Gründung des Festpunktes erfolgte in quartären Fließerden und Schwemmlöß (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998). Im Liegenden finden sich nach ALBRECHT & BURCHARDT (1998) auf einer zur südwestlichen Randstörungszone zählenden Scholle Schichten des Mittleren Keuper (Unterer Bunter Steinmergelkeuper, Anlage 2.6.5).

Gründe für die Hebung können in einer Schollenkippen (Relativbewegung) innerhalb der Störungszone gesehen werden. Der Abstand des Festpunktes vom Grubengebäude spricht gegen einen Zusammenhang mit Abbaueinwirkungen. Bei der Beurteilung der Höhenänderungen über dem Grubengebäude bleibt der Punkt deshalb unberücksichtigt.

Festpunkt 54130:

Löß-, Lößlehm, Fließerden und Geschiebemergel des Quartär bilden den direkten Untergrund des Festpunktes. Im Liegenden folgen tonige und dünnplattige Sandsteine des Unteren Jura (Hettangium, siehe Anlage 2.6.5). Eine Ursache für die Hebung des Festpunktes kann in geringfügigen Schollenkippen gesehen werden.

Wegen der großen Distanz des Punktes zum Grubengebäude ist ein bergbaulicher Einfluss auszuschließen.

Festpunkt 54200:

Die Gründung des Festpunktes erfolgte in Geschiebemergeln der Saale-Kaltzeit. Darunter lagern Tonsteine und dünnplattige Sandsteine des Unteren Jura (Hettangium).

Die Hebung des Punktes läßt sich nur durch rezente Schollenhebung oder Kippung (Relativbewegung) erklären, zumal der Punkt im Zwickel zwischen zwei Störungen steht, nämlich der „Grenz-Störung“ und einer parallel der langaushaltenden „Vogelbeerberg-Störung“ (siehe Anlage 2.6.5). Diese Relativbewegungen können ihre Ursache in der Erosion entlang von Störungsflächen haben.

Wegen der großen Distanz des Punktes zum Grubengebäude ist ein bergbaulicher Einfluss auszuschließen.

Festpunkt 70010:

Dieser Punkt liegt auf einer abgesunkenen Scholle mit Sand- und Tonstein des Unterrhät der östlichen Randstaffelbrüche des Bischofswald-Horstes (Anlage 2.6.5). Der Festpunkt ist in quartären Geschiebemergeln gegründet (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998). Die Hebung dieses Punktes verläuft stetig weiter. Möglicherweise kann darin eine Schollenkippen oder ein neotektonischer Impuls gesehen werden.

Wegen der großen Distanz des Punktes zum Grubengebäude ist ein bergbaulicher Einfluss auszuschließen.

Festpunkt 71010:

In Löß-, Lößlehm, Fließerden und Geschiebemergel des Quartär ist der Festpunkt (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998) vermark. Im Liegenden folgt Sandstein (ALBRECHT & BURCHARDT, 1998) des Unteren Jura (Hettangium, siehe Anlage 2.6.5). Die stetige Hebung an diesem Punkt kann mit Bewegungen der tektonischen Scholle erklärt werden, auf der sich der Festpunkt befindet.

Bei der Beurteilung der Höhenänderungen über dem Grubengebäude bleibt der Punkt aufgrund seiner geographischen und geologischen Position unberücksichtigt.

Festpunkte 71040 und 71050:

Die beiden Festpunkte finden sich auf der tektonisch herausgehobenen Scholle des Bischofswald-Horstes (siehe Anlage 2.6.5). Sandsteine und Ton- bis Schluffsteine des Unteren Mittelrhät bauen den Horst auf. Der Horst wird von äolischen Ablagerungen und Fließerden der Weichselkaltzeit bedeckt. Die an den Festpunkten beobachteten Hebungs-raten können auf eine Schollenhebung durch Schollenkipfung oder auf einen neotektonischen Impuls hinweisen.

Bei der Beurteilung der Höhenänderungen über dem Grubengebäude bleiben die Punkte aufgrund ihrer geographischen Position und geologischen Situation unberücksichtigt.

2.6.4 Höhenpunkte mit Senkungstendenz

Festpunkt 132070:

Der Festpunkt liegt über dem Zentralteil der Grube Bartensleben. Er ist als Mauerbolzen vermark. Der Untergrund wird in diesem Bereich durch ca. 25 m mächtige, z.T. muddige Auenlehme und Auenmergel aufgebaut. Darunter lagern Sande und Kiese, Schluffmudden und Geschiebemergel. Im Liegenden folgen überwiegend sandige Oberkreidesedimente. Das Hutgestein bildet hier einen nach SW einfallenden Hang (Anlage 2.6.4).

Die an diesem Punkt zu beobachtende Senkung kann zum einen auf das Setzungsverhalten des Untergrundes, zum anderen aber auf eine vom Grubengebäude ausgehende Senkung zurückgeführt werden.

Festpunkt 19060:

Der Festpunkt liegt in der Talau des Brunntals, unmittelbar westlich Beendorf. Der Untergrund setzt sich aus Sand und Geschiebemergel zusammen. Darunter folgen Gesteine des Unter- bis Mittelrhät. Der geologischen Karte zufolge (Anlage 2.6.5) findet sich der Festpunkt auf der Tiefscholle des Strukturrandes. Der Strukturrand selbst ist halotektonisch und subrosiv bedingt. Die Brunntalstörung stößt in WE-Richtung streichend an den Strukturrand.

Der Festpunkt sinkt seit der Einrichtung des neuen Festpunktnetzes. Davor zeigte der Nachbarpunkt 19040 Senkung. Als mögliche Ursachen für die Vertikalbewegungen sind Schollenverstellungen oder subrosive Vorgänge zu nennen, letztere jedoch nur in sehr geringem Umfange.

Die Höhenänderungen des Festpunktes sind geologisch begründbar. Bergbaueinwirkungen können wegen der größeren Entfernung zum Grubengebäude ausgeschlossen werden.

Festpunkt 20010:

Dieser Festpunkt gehört zu den auffälligen, da seine Senkungstendenz schon bei den Messungen des alten Festpunktnetzes beobachtet wurde. Er wurde als Mauerbolzen an einer Hauswand in der Ortslage von Beendorf vermark.

Die Lokation findet sich über dem an dieser Stelle geringer mächtigen Hutgestein und dem Grubengebäude der Schachanlage Marie, vertikal projiziert zwischen den Lagern H und M. Die quartärgeologischen Untersuchungen belegen Fließerden und Geschiebemergel als Untergrund des Festpunktes (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998: Profile 3 und 13).

Zwar findet sich der Festpunkt über der Schachanlage Marie, dennoch scheint ein wesentlicher Antrieb für die Punktsenkung in seinem Lager, dem Mauerwerk und in den Quartär-

sedimenten im Untergrund zu liegen. Ein geringer Einfluss aus bergbaulichen Senkungen ist jedoch nicht auszuschließen.

Festpunkt 27010:

Der Festpunkt wurde als gerammtes Rohr in quartären Fließerden vermark. Aufgrund der Hangneigung zwischen 5° und 7° und des Untergrundes ist es durchaus denkbar, dass es sich bei der Senkung des Punktes eigentlich um eine Hangbewegung handelt (siehe hierzu auch KUGLER & VILLWOCK, 1996).

Möglicherweise wird diese Bewegung von der Bergbaueinwirkung des Südfeldes der Schachanlage Bartensleben überlagert. Da ein Zusammenhang mit den bergbauinduzierten Bewegungen nicht ausgeschlossen werden kann, bleibt dieser Festpunkt im Rahmen der Bergbauüberwachung bedeutsam.

Festpunkt 30010:

Der Festpunkt liegt in der Ortslage Bartensleben, im Verbreitungsgebiet von fluviatil gebildetem Auenlehm und im Bereich des sog. Hauptgrabens. Neben der durch die Eigenschaften des Substrates bedingten Setzung kann die Bewegung auch als Relativbewegung zweier Gebirgsschollen gedeutet werden. Zusammen mit dem Nachbarpunkt 30100 betrachtet, der Hebung aufweist, liegt diese Einschätzung nahe.

Der Festpunkt liegt mehr als 2 km östlich des Grubengebäudes. Bei der Beurteilung der Höhenänderungen über dem Grubengebäude bleibt der Punkt aus geographischen und geologischen Gründen unberücksichtigt.

Festpunkt 47050:

Der Festpunkt findet sich an einem massiven Betonteil eines Sperrwerkes der Aller. Das Bauwerk ist in den holozänen fluviatilen Sedimenten der Aller (Auelehm) sowie limnischen Bildungen (Schluff-, Kalk- und Torfmüdden) gegründet. Mit der Konsistenz des von der Aller beeinflussten Untergrundes kann bereits das stetige Absinken des Festpunktes erklärt werden. Der Festpunkt zeigt eine Eigenbewegung, die offensichtlich nicht im Zusammenhang mit Bergbaueinflüssen steht. Er liegt außerhalb des Bereiches über dem Gru-

bengebäude. Seine Bewegung ist deshalb für die Bewertung von Senkungen über dem Grubengebäude irrelevant.

Festpunkt 47060:

Der Festpunkt ist als Mauerbolzen ausgeführt. Der Untergrund besteht aus fluviatilen Ablagerungen der Niederterrasse der Aller. Diese sind zum Teil muddigert Auelehm und Auemergel mit unterlagernder Schluffmudde (ZIERMANN & ZWIRNER, 1998). Der Festpunkt befindet sich über dem südlichsten Teil der Grube Bartensleben (Anlage 2.6.3).

Das Einsinken dieses Punktes kann durch die Konsistenz (Wassergehalt) des Untergrundes in der Allerniederung erklärt werden (vergl. Festpunkt 47050). Ein Einfluss des Grubengebäudes auf die Senkung kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Festpunkt 54150 und Festpunkt 54160:

Die beiden Festpunkte können zusammen betrachtet werden. Sie liegen zum einen als Nachbarpunkte auf der gleichen Messlinie, zum anderen finden sie sich auf der gleichen tektonischen Scholle des Lappwalds. Den Untergrund bilden quartäre Fließerden und Tonsteine des Hettangium, Unterer Jura.

Für die Senkung der Festpunkte können Hangrutschbewegungen die auslösende Prozesse sein. Daneben kann auch ein Einfluss der Schwankungen des Grundwasserhaushalts durch das Wasserwerk Helmstedt in Betracht gezogen werden.

Wegen der geographischen Lage und des Befundes wird ein bergbaubedingter Einfluss ausgeschlossen.

Festpunkt 55050:

Der Festpunkt liegt mehr als 1,5 km NW¹ der Grube Marie. Er zeigt als einzelner Punkt eine auffällige Senkung. Der Festpunkt findet sich im Allertal an einem Aller-Vorfluter. Das geologische Profil gibt mit der berichteten breiigen Konsistenz der erbohrten Feinsande bereits einen Hinweis auf eine hydrogeologische Ursache für das stetige Einsinken des ca. 21 m tief vermarkten Festpunktes.

Bei der Beurteilung der Höhenänderungen über dem Grubengebäude bleibt der Festpunkt wegen der Ferne zum Grubengebäude und aufgrund des geologischen Befundes unberücksichtigt

Festpunkt 58040:

Der als Mauerbolzen am Tischlereigebäude auf dem Schachtgelände Bartensleben vermarkte Festpunkt liegt in der in kleine Schollen zerlegten Zone der Südweststrandstörung. In der Nähe des Festpunktes kreuzen sich die WE streichende Störung im Salzbachtal mit einem Randstaffelbruch. Im Untergrund des Gebäudes stehen quartäre Geschiebemergel und Schichten des Mittleren Keuper (Oberer Bunter Steinmergelkeuper) an.

Der Festpunkt liegt über dem Westfeld, unweit des Schachtes Bartensleben. Nachbarpunkte auf dem Schachtgelände zeigen jedoch keine vergleichbare Senkung. Eine unmittelbare Ursache für die Senkung kann in dem Randstaffelbruch gesehen werden. Auf den Störungsflächen zirkulierende Grundwässer können geringfügige kleinräumige Verstellungen der Schollen auslösen. Solchen Bewegungen folgt möglicherweise das Gebäude im geringen Maße. Der Geschiebemergel in Hanglage kann Bodenfließen und somit die Abwärtsbewegung eines Festpunktes verursachen. Bei den Verstellungen steht die zuvor getroffene Feststellung entgegen, dass sich keiner der unmittelbar benachbarten Festpunkte in gleicher Weise verhält. Damit ist auch die Stabilität des Mauerbolzens selbst bzw. die Gründung des Hauses zu hinterfragen. Ein geringer Einfluss aus bergbaulichen Senkungen ist jedoch nicht auszuschließen.

2.6.5 Bewertung

Ein Bereich von Senkungen, der vom Bergbau induziert sein kann, befindet sich über der Grube Bartensleben. Dort findet eine flächenhafte Senkung über Westfeld, Südfeld, Zentralteil und Südostfeld statt, die sich an zahlreichen Festpunkten bestimmen läßt. Im Falle der Festpunkte mit stärkeren Senkungen in diesem Bereich (Festpunkte 58040, 27010, 132070, 47060) finden sich jedoch Beträge, die weit über denen der anderen Festpunkte in ihrer Nachbarschaft liegen. Bei diesen Festpunkten kommt der wesentliche Antrieb aufgrund der geologischen Gegebenheiten aus den direkt unterlagernden Schichten oder aus

der Eigenbewegung von Bauwerken mit dem darin vermarkten Mauerbolzen. Wenn solche starken Beträge nicht berücksichtigt werden, erhält man eine Senkungsgeschwindigkeit von maximal 0,8 mm/a über dem Grubenbereich Bartensleben (BUSSE, 2000). Ein weiterer Bereich von Senkungen, für den bergbanliche Einfüsse nicht ausgeschlossen werden können, liegt am östlichen Rand des Grubengebäudes Marie. Die Mehrzahl der Festpunkte mit auffälligen Hebungen liegen außerhalb des Grubenbereichs. Die angesprochenen Hebungen häufen sich auf der Lappwaldscholle.

Gründe für Höhenänderungen, die nicht bergbauinduziert sind, können verschiedener Art sein. Durch unterschiedliche Füllzustände des Kluft- und Porenhohlraums besteht die Möglichkeit, dass aufgrund der dadurch induzierten Spannungsänderungen einzelne Teilschollen der Lappwaldscholle und Bereiche der Randstaffelbrüche der Salzstruktur Allertal geringfügig kippen, d. h. sich lokal heben oder senken. Innerhalb der halotektonisch entstandenen Störungszonen entlaug der Salzstruktur können auf den Störungsflächen durch Erosion, ggf. auch durch Subrosion, kleine, lokal begrenzte Bewegungen ausgelöst werden. Als Gründe für Senkungen wären auch die Bodenwassergehalte und die Grundwasserstände im Bereich der Festpunkte auf der Lappwaldscholle zu nennen. Dabei könnten von lokalen Änderungen der Grundwasserstände, die auf einem Wiederanstieg nach starken Grundwasserentnahmepetoden durch das Wasserwerk Helmstedt im Brunnental beruhen, Auswirkungen auf Höhenänderungen ausgehen.

BEST & ZIRNGAST (1998) diskutieren die Möglichkeit des Einflusses sogenannter Neotektonik als eine Ursache für potentielle Bewegungen im Deckgebirge. Diese müssten die Lappwaldscholle, das Allertal und die Weferlinger Scholle erfassen, wobei die Bewegungen als Hebungen oder Senkungen einzelner Schollen ablaufen können. Aufgrund der bisher noch geringen Beobachtungsdauer bei den Höhenmessungen lässt sich Neotektonik noch nicht als ausschließliche geologische Begründung für die Höhenänderungen nennen. Unter diesem Vorbehalt sind auch die bei der Beschreibung der einzelnen Festpunkte aufgeführten Erklärungen der jeweiligen Vertikalbewegung zu sehen.

Die grafische Darstellung eines morphologischen Profils bei Schwanefeld veranschaulicht die Verstellung der Lappwaldscholle gegenüber der Weferlinger Scholle als Folge von Hebungprozessen (siehe Profil B – B'' in Anlage 2.6.6 quer zum Allertal von WILDEN-

BORG, 1998). Darin werden altersgleiche Talterrassen verglichen. Die Verbindung der Terrassen über das Allertal hinweg zeigt eine Kippung der Verbindungslinie um ca. 7 m nach NE an, die sich als Verstellung der Schollen verstehen läßt. Das Phänomen ist allerdings kein schlüssiges Indiz für Neotektonik. Die Verkippung läßt sich auch durch die Salzabwanderung unter der Weferlinger Scholle deuten.

Auch Subrosion hat einen Anteil an den subrezentem Senkungen. Die Morphologie des Allertals ist von einer großräumigen und flächenhaften Senkung durch die Subrosion an der Salzstruktur Allertal geprägt. VILLWOCK & KUGLER (1996) und ZIERMANN & ZWIRNER (1998) beschreiben das Ausmaß der quartären Subrosion. WILDENBORG (1998) gibt eine Prognose für das Ausmaß der zukünftigen flächenhaften Subrosion des Salzstocks. Für die Gegenwart liegen die Raten zwischen $0,09 \mu\text{m/a}$ und $2,4 \mu\text{m/a}$. Dies bedeutet, dass die Subrosion frühestens nach ca. 500 Jahren anhand geodätischer Messungen im Festpunktnetz feststellbar sein kann. Für die Beurteilung der Messergebnisse bedeutet dies, dass die aktuelle großräumige und flächenhafte Subrosion keinen messbaren Einfluss auf die festgestellten Senkungen haben kann. Dies betrifft allerdings nicht die Formen der linienhaften und der punktuellen Subrosion, die in der vorgenannten Prognose nicht enthalten sind.

Einwirkungen des Hutgesteins, etwa durch Einstürze von Lösungshohlräumen, sind in den Höhenmessungen nicht zu erkennen. Eine große Anzahl von Festpunkten liegt über dem Hutgestein. Aus der Verteilung von Hebungen und Senkungen lässt sich keine Abhängigkeit der Bewegungsrichtung von der Position über dem Hutgestein erkennen.

Eine Beziehung von gemessenen Festpunktbewegungen zu Relativbewegungen von Schollen an Störungen lässt sich nicht für alle Festpunkte sicher ableiten. Hierzu müßten die Messlinien generell quer zum Streichen der Störungen ausgerichtet sein oder von parallelen Messlinien auf der Tief- und Hochscholle begleitet werden. Eine Ausnahme bilden einzelne Festpunktlinien, welche die Randstörung in W-E Richtung queren.

Problematisch sind nach wie vor einzelne als Mauerbolzen ausgeführte Festpunkte des alten Festpunktnetzes. Dies liegt an ihrem im Vergleich zu benachbarten Festpunkten besonderen Bewegungsverhalten, das nicht eindeutig auf geologische oder bergbauinduzierte

Ursachen zurückgeführt werden kann. Bei diesen Bewegungen handelt es sich stets um Senkungen.

ERA
Morsleben

3 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse von Konvergenzmessungen, Extensometermessungen, Fissurometermessungen, Lageänderungsmessungen, übertägigen und untertägigen Höhenmessungen im ERAM dargestellt. In beiden Grubenbereichen, Marie und Bartensleben, weisen die Ergebnisse überwiegend geringe Verformungen aus. Daneben werden stetige und - gemessen an diesem generell niedrigen Niveau - höhere Verformungen in einzelnen Bereichen mit geringmächtigen Schweben bestimmt, insbesondere im Südfeld Bartensleben. Diese gehen z.T. mit der Ausbildung von ausgedehnteren Rissflächen einher.

Die mit Fissurometern erfassten Rissöffnungen laufen überwiegend stetig und sehr langsam ab. Die beobachteten Divergenzen in den Konvergenzmessungen in stark durchbauten Grubenbereichen korrelieren z.T. mit Rissbildungen. Divergenz tritt sowohl im duktilen Stein- und Kalisalz als auch im kompetenten Anhydrit auf. Die Ergebnisse der Lageänderungsmessungen zeigen, dass bei entsprechender Beanspruchung des Gebirges Bewegungen an Trennflächen im Übergangsbereich von duktilen und kompetenten Gesteinen stattfinden.

Die untertägigen Höhenmessungen zeigen tendenziell Übereinstimmung mit den Konvergenzmessungen bezüglich der petrographischen Einflüsse auf das Verformungsverhalten. In Bereichen mit hohem Durchbaugrad und in Randbereichen des Hauptanhydrits werden punktuell höhere Firstsenkungen festgestellt.

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Bewertung geomechanischer markscheiderischer Messungen,
Zusammenfassender Bericht - Verformungsmessungen

Autor: BGR

Erscheinungsjahr: 2001

Unterlagen-Nr.: P 126

Revision: 00

Mögliche Einflüsse untertägiger Senkungen auf die Tagesoberfläche sind nach den Ergebnissen der übertägigen Höhenmessungen auf einen Bereich oberhalb des Westfelds, des Südfelds, des Zentralteils und des Südostfelds der Grube Bartensleben sowie auf einen kleineren Bereich am Ostrand der Grube Marie beschränkt. Im übrigen Gebiet bestimmen geologische Ursachen die Messergebnisse der übertägigen Höhenmessungen.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
HANNOVER

4 Literaturverzeichnis

- ALBRECHT, H., BURCHARDT, G. (1998): Projekt Morsleben: Geologische Bearbeitung von Trias und Jura - Abschlussbericht - BGR-Bericht, Archiv-Nr. 116621, Hannover .
- BEHLAU, J., MINGERZAHN, G., BORNEMANN, O. (1997): Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells Morsleben.- BGR-Bericht zum AP 9M 212 460 11, Archiv-Nr.: 116 872:1 und 2, Hannover .
- BEHLAU, J., MINGERZAHN, G., BORNEMANN, O. (1998): Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells Morsleben, 2. Anhang zum Abschlussbericht - Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde im Bereich des Abbaues Ia.- BGR-Bericht zum AP 9M 212 460 11, Archiv-Nr.: 117 709, Hannover .
- BEST, G., ZIRNGAST, M. (1997): ERA Morsleben, Flachseismische Untersuchungen - Begleitung und Auswertung.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 116 374, Hannover .
- BEST, G., ZIRNGAST, M. (1998): Analyse der struktureologischen Entwicklung der Salzstruktur Oberes Allertal und ihrer Umgebung -Abschlußbericht-. BGR-Bericht, Archiv-Nr. 116873, Hannover .
- BUNDESMINISTER DES INNEREN (1983): Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission: Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk, Bonn.
- BUSSE (1997): Konvergenzmessung im ERA Morsleben 1970 bis 1996.- DBE-Bericht, 9M/Y/GB/BZ/001/00 vom 16.1.97 und Anlagenbericht vom 13.1.97, DBE-Bericht, 9M/Y/GB/BZ/002/00, Peine.
- BUSSE (2000): Projekt Morsleben; Geomechanische Betriebsüberwachung 1999.- DBE-Bericht, 9M/99Y/GC/BY/0010/00, 265 Seiten, Peine.

- BUSSE (2001): Projekt Morsleben; Geomechanische Betriebsüberwachung 2000.- DBE-Bericht, 9M/99Y/GC/BY/0013/00, 313 Seiten, Peine
- DEGEN (1997): Projekt Morsleben; Höhenmessungen unter Tage im Zeitraum 1970 bis 1996.- DBE-Bericht, 9M/213200130/99Y/GB/BZ/0003/00, 271 Seiten, Peine.
- EICKEMEIER, R., SPIES, T. (2001): Einschätzung der Konvergenz in den Feldesteilen der Grube Bartensleben auf der Grundlage von FE-Berechnungen und In situ-Messungen.- BGR-Bericht, Tagebuch-Nr.: 10347/01, Hannover.
- FROESE (1997): Festpunktfeld Morsleben, Punktvermarkung.- DBE-Bericht, 9M/GB/AA/0046/00, Peine.
- FROESE (1998): ERA Morsleben; Höhenmessung über Tage im Zeitraum 1992 bis 1997.- DBE-Bericht, 9M/GB/BZ/0007/00, Peine .
- KERN (2000): Lageänderungsbohrung RB801 Messungen 3/99 und 9/99.- DBE-Bericht, 9M/12YER22/RB801/GC/BZ/000500 vom 6.1.98, Peine.
- KORN (1999): Projekt Morsleben; Höhenmessungen unter Tage im Zeitraum 1994 bis 1998.- DBE-Bericht 9M/99Y/GB/BZ/005/00, 197 Seiten, Peine.
- KUGLER, H., VILLWOCK, G. (1996): Interpretation der Untersuchungsergebnisse Morpho-genetische Kartierung, Untersuchungsgebiet ERA Morsleben, hinsichtlich jüngerer geo-dynamischer Bewegungen.- ARGE GFE Halle/Aerocart Delitzsch.
- LOMMERZHEIM (1998): Konvergenzmessungen im ERA Morsleben im Zeitraum 1.1.97 bis 31.12.97.- DBE-Bericht, 9M/Y/GB/BZ/0003/00 vom 10.2.98 und Anlagenbericht vom 17.2.98, DBE-Bericht, 9M/Y/GB/BZ/0002/01, Peine.
- LOMMERZHEIM (2000): Konvergenzmessergebnisse bis 31.12.1999.- DBE-Bericht, 9M/Y/GB/BZ/0007/00 vom 9.2.2000 und Anlagenbericht ‚Geotechnische Messlokalationen, Stand 31.12.1999‘ vom 15.3.2000.- DBE-Bericht, 9M/Y/GB/BZ/0002/04, Peine.

- RÖHLING, H.-G. (1997): Geologische Karte Blatt Nr. 3732 Helmstedt, niedersächsischer Blattanteil -Kartierbericht.- NLFb, Archiv-Nr. 114464, 41 S., 10 Anl., Hannover .
- WILDENBORG, A.F.B. (1998): Langzeitprognose der Auswirkungen klimagesteuerter geologischer Prozesse auf die Barrieren des Endlagers Morsleben.- In: GERARDI, J. & WILDENBORG, A.F.B. (1998): Szenarienanalyse, Szenarienbewertung und geologische Langzeitprognose für das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 117 869, Hannover .
- ZIERMANN, ZWIRNER, R. (1998): Projekt Morsleben: Geologische Bearbeitung des Quartärs -Abschlußbericht.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 116619, Berlin/Hannover .

5 Verzeichnis der Tabellen

Zu Abschnitt 2.1) Konvergenzmessungen

- Tabelle 2.1.1: Konvergenzstationen Grube Marie –195 m NN Sohle .
- Tabelle 2.1.2: Konvergenzstationen Grube Marie –231 m.
- Tabelle 2.1.3: Konvergenzstationen Bartensleben: Schacht.
- Tabelle 2.1.4: Konvergenzstationen Grube Bartensleben –245 m NN und –253 m NN Sohle (1a- und 1. Sohle).
- Tabelle 2.1.5: Konvergenzstationen Grube Bartensleben –291 m NN Sohle (2. Sohle).
- Tabelle 2.1.6: Konvergenzstationen Grube Bartensleben –332 m NN und –346 mNN Sohle (3. und 4a- Sohle).
- Tabelle 2.1.7: Blatt 1 und Blatt 2
Konvergenzstationen Grube Bartensleben –372 m NN Sohle (4. Sohle).
- Tabelle 2.1.8: Zusammenstellung der Messergebnisse der Stationen Grube Marie.
- Tabelle 2.1.9: Zusammenstellung der Messergebnisse der Stationen Schacht Bartensleben.
- Tabelle 2.1.10: Zusammenstellung der Messergebnisse der Stationen Grube Bartensleben 1a-Sohle und 1. Sohle.
- Tabelle 2.1.11: Zusammenstellung der Messergebnisse der Stationen Grube Bartensleben 2. Sohle.
- Tabelle 2.1.12: Zusammenstellung der Messergebnisse der Stationen Grube Bartensleben 3. Sohle und 4a-Sohle.
- Tabelle 2.1.13: Blatt 1 und Blatt 2:
Zusammenstellung der Messergebnisse der Stationen Grube Bartensleben 4. Sohle.

Zu Abschnitt 2.2) Extensometermessungen

- Tabelle 2.2.1, Blatt 1: Verzeichnis der Extensometerstationen Grube Bartensleben 1., 2. und 3. Sohle

Tabelle 2.2.1, Blatt 2: Verzeichnis der Extensometerstationen Grube Bartensleben 4a-Sohle

Tabelle 2.2.1, Blatt 3: Verzeichnis der Extensometerstationen Grube Bartensleben 4 Sohle

Tabelle 2.2.2: Angaben zu den Extensometermessungen Grube Bartensleben mit Ergebnissen der Verschiebungen und Verformungen der Extensometerabschnitte sowie deren Geschwindigkeiten (Unterlage DBE).

Zu Abschnitt 2.3) Fissurometermessungen

Tabelle 2.3.1: Blatt 1 und Blatt 2:

Lage, Geologie und Rate der Rissöffnung an den Fissurometern.

Zu Abschnitt 2.4) Lageänderungsmessungen

Tabelle 2.4.1: Blatt 1 und Blatt 2:

Tektonische und bohrtechnische Aufnahme der Bohrung RB801 durch BGR.

Zu Abschnitt 2.5) Untertägige Höhenmessungen

Tabelle 2.5.1: Blatt 1 und Blatt 2:

Bereiche signifikanter Höhenänderungen.

6 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 2.1.8a: Sohlenriß 3. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.8b: Sohlenriß 3. Sohle Bartensleben, Detaildarstellung Südfeld, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Fissurometer
- Anlage 2.1.9a: Sohlenriß 4a Sohle Bartensleben, Flächen 4, Ostfeld, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Fissurometer
- Anlage 2.1.9b: Sohlenriß 4a Sohle Bartensleben, Versatzaufbereitungsanlage, Extensometerstationen
- Anlage 2.1.10: Sohlenriß 4. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen, Fissurometer und Nivellementlinien
- Anlage 2.1.11a: Sohlenriß Detaildarstellung Südstrecke 4. Sohle Bartensleben, Konvergenzstationen, Extensometerstationen und Fissurometer
- Anlage 2.1.11b: Sohlenriß 4. Sohle Bartensleben, Detaildarstellung Ostsattel, Untertagemessfeld, Konvergenzstationen, Extensometerstationen
- Anlage 2.1.12: Querschnitt durch den Zentralteil direkt nördlich der Ostquerschläge mit Konvergenzstationen in Abbaukammern und Geologie

- Anlage 2.1.13: 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 2.1.14: Konvergenzmessungen CG 002 K
- Anlage 2.1.15: 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 2.1.16: Konvergenzmessungen CG 159 K
- Anlage 2.1.17: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 2. Nordquerschlag, 07 YEQ 73 CG 313 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.18: Konvergenzmessungen CG 313 K
- Anlage 2.1.19: 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 2.1.20: Konvergenzmessungen CG 310 K-A
- Anlage 2.1.21: 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 2.1.22: Konvergenzmessungen CG 310 K-B
- Anlage 2.1.23: 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 2.1.24: Konvergenzmessungen CG 316 K
- Anlage 2.1.25: 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 2.1.26: Konvergenzmessungen CG 132 K
- Anlage 2.1.27: 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 2.1.28: Konvergenzmessungen CG 233 K

- Anlage 2.1.29: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 4. Südstrecke, 07 YER 84 CG 292 K-A: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.30: Konvergenzmessungen CG 292 K-A
- Anlage 2.1.31: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, 4. Südstrecke, 07 YER 84 CG 292 K-B: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.32: Konvergenzmessungen CG 292 K-B
- Anlage 2.1.33: Konvergenzstation, Grube Marie - 231 m Sohle, Lagerteil K, 07 YER 71 CG 214 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.34: Konvergenzmessungen CG 214 K
- Anlage 2.1.35: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordstrecke, 09 YER 21 CG 078 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.36: Konvergenzmessungen CG 078 K
- Anlage 2.1.37: 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 2.1.38: Konvergenzmessungen CG 083 K
- Anlage 2.1.39: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordfeld, Bereich Abbau 1 a, 09 YER 21 CG 701 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.40: Konvergenzmessungen CG 701 K
- Anlage 2.1.41: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordfeld, Bereich Abbau 1 a, 09 YER 21 CG 702 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.42: Konvergenzmessungen CG 702 K
- Anlage 2.1.43: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Nordfeld, Bereich Abbau 1 a, 09 YER 21 CG 701 K - 702 K: Lage (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.44: Konvergenzmessungen CG 701 K - 702 K

- Anlage 2.1.45: 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 2.1.46: Konvergenzmessungen CG 084 K
- Anlage 2.1.47: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Richtstrecke-Südostfeld, 09 YER 51 CG 064 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.48: Konvergenzmessungen CG 064 K
- Anlage 2.1.49: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 1. Sohle, Ostquerschlag, 09 YEQ 01 CG 026 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.50: Konvergenzmessungen CG 026 K
- Anlage 2.1.51: 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 2.1.52: Konvergenzmessungen CG 132 K
- Anlage 2.1.53: 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 2.1.54: Konvergenzmessungen CG 133 K
- Anlage 2.1.55: 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 2.1.56: Konvergenzmessungen CG 125 K
- Anlage 2.1.57: 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 2.1.58: Konvergenzmessungen CG 134 K
- Anlage 2.1.59: 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 2.1.60: Konvergenzmessungen CG 135 K

- Anlage 2.1.61: 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 2.1.62: Konvergenzmessungen CG 136 K
- Anlage 2.1.63: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Ostquerschlag, 12 YEQ 01 CG 004 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.64: Konvergenzmessungen CG 004 K
- Anlage 2.1.65: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Ostquerschlag, 12 YER 62 CG 038 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.66: Konvergenzmessungen CG 038 K
- Anlage 2.1.67: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 2. Sohle, Südfeld, Abbau 8s, 12 YER 31 CG 137 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.68: Konvergenzmessungen CG 137 K
- Anlage 2.1.69: 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 2.1.70: Konvergenzmessungen CG 138 K
- Anlage 2.1.71: 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 2.1.72: Konvergenzmessungen CG 124 K
- Anlage 2.1.73: 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 2.1.74: Konvergenzmessungen CG 721 K
- Anlage 2.1.75: 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 2.1.76: Konvergenzmessungen CG 722 K

- Anlage 2.1.77: 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 2.1.78: Konvergenzmessungen CG 723 K
- Anlage 2.1.79: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Westquerschlag, 15 YEQ 02 CG 005 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.80: Konvergenzmessungen CG 005 K
- Anlage 2.1.81: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 3. Sohle, Abbau 4 nördlich, 15 YER 22 CG 170 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.82: Konvergenzmessungen CG 170 K
- Anlage 2.1.83: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Westquerschlag, 17 YEQ 02 CG 159 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.84: Konvergenzmessungen CG 159 K
- Anlage 2.1.85: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Westquerschlag, 17 YEQ 02 CG 163 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.86: Konvergenzmessungen CG 163 K
- Anlage 2.1.87: 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 2.1.88: Konvergenzmessungen CG 182 K
- Anlage 2.1.89: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Nordstrecke, 17 YER 21 CG 039 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.90: Konvergenzmessungen CG 039 K
- Anlage 2.1.91: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Nordstrecke, 17 YER 21 CG 046 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.92: Konvergenzmessungen CG 046 K

- Anlage 2.1.93: 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 2.1.94: Konvergenzmessungen CG 061 K
- Anlage 2.1.95: 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 2.1.96: Konvergenzmessungen CG 068 K
- Anlage 2.1.97: 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 2.1.98: Konvergenzmessungen CG 069 K
- Anlage 2.1.99: 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 2.1.100: Konvergenzmessungen CG 071 K
- Anlage 2.1.101: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke, 17 YER 31 CG 077 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.102: Konvergenzmessungen CG 077 K
- Anlage 2.1.103: 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 2.1.104: Konvergenzmessungen CG 172 K
- Anlage 2.1.105: 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 2.1.106: Konvergenzmessungen CG 173 K
- Anlage 2.1.107: 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 2.1.108: Konvergenzmessungen CG 174 K

- Anlage 2.1.109: 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 2.1.110: Konvergenzmessungen CG 175 K
- Anlage 2.1.111: 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 2.1.112: Konvergenzmessungen CG 176 K
- Anlage 2.1.113: 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 2.1.114: Konvergenzmessungen CG 177 K
- Anlage 2.1.115: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 3, 17 YER 31 CG 183 K, alt: 4.12(v) (8/97 zerstört): Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.116: Konvergenzmessungen CG 183 K
- Anlage 2.1.117: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Südstrecke über Abbau 2, 17 YER 31 CG 707 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.118: Konvergenzmessungen CG 707 K
- Anlage 2.1.119: 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 2.1.120: Konvergenzmessungen CG 709 K
- Anlage 2.1.121: 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 2.1.122: Konvergenzmessungen CG 166 K
- Anlage 2.1.123: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 168 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.124: Konvergenzmessungen CG 168 K

- Anlage 2.1.125: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Wetterstrecke, 17 YEA 34 CG 171 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.126: Konvergenzmessungen CG 171 K
- Anlage 2.1.127: 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 2.1.128: Konvergenzmessungen CG 154 K
- Anlage 2.1.129: 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 2.1.130: Konvergenzmessungen CG 735 K
- Anlage 2.1.131: Konvergenzstation, Grube Bartensleben 4. Sohle, Ostquerschlag, 17 YEQ 01 CG 151 K: Lage und Messquerschnitt mit Geologie (BGR/B2.4, nach Unterlagen DBE)
- Anlage 2.1.132: Konvergenzmessungen CG 151 K

Zu Abschnitt 2.2) Extensometermessungen

- Anlage 2.2.1: Lage des Extensometers CG759E und der Konvergenzstation CG759K auf der 2. Sohle Südfeld mit Darstellung der Abschnittsverformungen bei 3 Messepochen im Vertikalschnitt S13 (Unterlage DBE).
- Anlage 2.2.2: Lage des Extensometers CG760E und der Konvergenzstation CG760K auf der 2. Sohle Südfeld mit Darstellung der Abschnittsverformungen bei 3 Messepochen im Vertikalschnitt S15 (Unterlage DBE)
- Anlage 2.2.3: Zeitliche Entwicklung der Verformungen der Messabschnitte des Extensometers CG707E auf der 4. Sohle Südfeld (Unterlage DBE).
- Anlage 2.2.4: Lage des Extensometers CG707E und der Konvergenzstation CG707K auf der 4. Sohle Südfeld mit Darstellung der Abschnittsverformungen bei 3 Messepochen im Vertikalschnitt S1 (Unterlage DBE)
- Anlage 2.2.5: Lage der Extensometer CG708E und CG709E sowie der Konvergenzstation CG709K auf der 4. Sohle Südfeld mit Darstellung der Abschnittsverformungen bei 3 Messepochen im Vertikalschnitt S3 (Unterlage DBE).

Anlage 2.2.6: Vertikalschnitt Z3.1 mit geotechnischen Installationen im Bereich Zentralteil (Nordfeld, Unterlage DBE)

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
- Anlage 2.3.4: Ablesung des Messwertes auf der Messuhr in Richtung v längs zum Stoß.
- Anlage 2.3.5: Zeitliche Entwicklung der Rissöffnungsweiten an den Fissuometern CG089 bis CG093F auf der 1. Sohle Bartensleben (Unterlage DBE).
- Anlage 2.3.6: Zeitliche Entwicklung der Rissöffnungsweiten an den Fissuometern CG184F bis CG187F auf der 4. Sohle Bartensleben (Unterlage DBE).
- Anlage 2.3.7: Zeitliche Entwicklung der Rissöffnungsweiten an den Fissuometern CG171F bis CG173F auf der 3. Sohle Bartensleben (Unterlage DBE).

Zu Abschnitt 2.4) Lageänderungsmessungen

- Anlage 2.4.1: Lage der Messbohrung RB801 im Abbau 2n, 2. Sohle Bartensleben, und weitere Angaben.
- Anlage 2.4.2: Lage der Messbohrung RB801 im Vertikalschnitt mit Geologie.
- Anlage 2.4.3: Lageänderungsmessung RB801, 11. Folgemessung 9/99, Bezug 2. Folgemessung 4/96.
- Anlage 2.4.4: Lageänderungsmessung RB801: Verschiebungsvektoren in der Messebene (1:1) mit Lage und erwarteter Neigung der geologischen Grenzflächen für die 11. Folgemessung 9/99 (Unterlage DBE)

Zu Abschnitt 2.6) Übertägige Höhenmessungen

- Anlage 2.6.1: Entwicklung der Höhenänderungen in den Messepochen 1995, 1997, 1999
- Anlage 2.6.2: Übertägige Höhenänderungen für 1999
- Anlage 2.6.3: Punkte und Isolinien der Höhenänderungen 1999 über Quartärmächtigkeitkarte Allertal

Anlage 2.6.4: Festpunktnetz Morsleben - Lage der Festpunkte über dem Hutgestein

Anlage 2.6.5: Höhenpunkte über Geologie im Bereich des ERAM

Anlage 2.6.6: Morphologische Profile quer zum Allertal.

ERAM
Morsleben