

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Bewertung geomechanischer und markscheiderischer Messungen
Zusammenfassender Bericht Mikroakustische Messungen

Autor: Spies, T.

Erscheinungsjahr: 2001

Unterlagen-Nr.: P 141

Revision: 00

Unterlagenteil:



Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung	3
1 Veranlassung	4
2 Mikroakustische Messungen	5
2.1 Einsatz der Methode	5
2.2 Messtechnik und Auswertung	6
2.3 Messziele im ERAM	8
2.4 Einsatz der 24-Kanal-Anlage 1. Sohle Bartensleben	9
2.4.1 Untersuchungsbereich und Betrieb der Anlage	9
2.4.2 Ergebnisse	10
2.4.3 Bewertung	25
2.5 Einsatz der 24-Kanal-Anlage 4. Sohle Bartensleben	29
2.5.1 Untersuchungsbereich und Betrieb der Anlage	29
2.5.2 Ergebnisse	31
2.5.3 Bewertung	43
3 Zusammenfassung	46
4 Literaturverzeichnis	47
5 Verzeichnis der Tabellen	48
6 Verzeichnis der Anlagen	49
Tabellen (4 Seiten)	
Anlagen (76 Seiten)	
 Gesamtblattzahl: 137	

Verkürzte Zusammenfassung

Autor: Thomas Spies

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

Stichwörter:

Endlagerung radioaktiver Abfälle, Gebirgsmechanik, Mikroakustik.

Die BGR betreibt zwei mikroakustische Messanlagen im ERAM. Es handelt sich um Dauermessungen mit automatischer Akquisition und Auswertung der Daten. Anlage 1 befindet sich auf den oberen Sohlen im Zentralteil Bartensleben (Abbaureihen 2n und 1a, 1a-bis 2. Sohle), Anlage 2 in der Südstrecke auf der 4. Sohle im Südfeld Bartensleben über den Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle. Die mikroakustische Aktivität im Zentralteil Bartensleben konzentriert sich auf die abbaunahen Bereiche, aber auch tiefer im Gebirge - insbesondere an der Grenzfläche von Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) - werden Ereignisse geortet. Die Messungen in der Südstrecke zeigen ebenfalls eine Konzentration der mikroakustischen Aktivität auf den Bereich der Abbaue. In den Schweben zwischen der Südstrecke und den darüber und darunter gelegenen Abbaukammern wird eine höhere Aktivität als in dem im Zentralteil gelegenen Untersuchungsbereich festgestellt.

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 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) nimmt im Auftrag des BfS im AP9M21330011 die Planung sowie die regelmäßige Interpretation und Bewertung der im ERAM 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 Bericht werden die Ergebnisse der mikroakustischen Messungen dargestellt. Die Grundlage für die geologische Einordnung und Interpretation der Ergebnisse ist das von der BGR erarbeitete geologische Lagerstättenmodell des ERAM (BEHLAU, MINGERZAHN, BORNEMANN, 1997 und 1998).

2 Mikroakustische Messungen

2.1 Einsatz der Methode

Im ERAM werden gebirgsmechanische Vorgänge erkundet und überwacht. Dies umfasst innerhalb dieses AP zum einen die direkte Messung von Verformungen. Zum anderen wird die Mikroakustik als indirekte Methode eingesetzt, die Aussagen über Prozesse der Mikrorissbildung (Dilatanz, Bildung von Auflockerungszonen) bis hin zu makroskopischen Brucherscheinungen im Gebirge zulässt. Nach Ergebnissen von Laborversuchen der BGR an Steinsalzproben nimmt die akustische Emission (AE) mit dem Auftreten von Dilatanz deutlich zu (HUNSCHE, 1993). Der Nachweis der akustischen Emission und ihre Ortung kennzeichnen demnach Gebirgsbereiche, in denen Auflockerung aktuell stattfindet. Bei Spannungszuständen oberhalb der Dilatanzgrenze kann auf lange Sicht die Permeabilität des Steinsalzes zunehmen, und es kann bei konstanter Beanspruchung auch zum Kriechbruch kommen (HUNSCHE & SCHULZE, 1994).

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

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

2.2 Messtechnik und Auswertung

Bei den mikroakustischen Messungen wird die Abstrahlung hochfrequenter seismischer Energie im Gebirge erfasst ('Ereignisse', akustische Emission), welche mit der Entstehung oder der Erweiterung von Rissen auch kleiner Ausdehnung in der Größenordnung von mm bis cm verbunden ist. Der Frequenzbereich der hier eingesetzten piezoelektrischen Aufnehmer - auch als Sonden bezeichnet - liegt zwischen 1 und 100 kHz. Es gibt mikroakustische Verfahren, die akustische Emissionsereignisse registrieren und zählen (Ereignisraten an einzelnen Aufnehmern) und solche, mit denen darüber hinaus eine räumliche Ortung der Emission im Gebirge möglich ist. Bei letzteren werden die bestimmten Welleneinsätze bzw. Wellenlaufzeiten in den Signalen von räumlich verteilten Aufnehmern gemeinsam ausgewertet (Netzwerke, Vielkanalanlagen). Es können so Bereiche im Gebirge identifiziert werden, in denen Rissbildung aufgrund erhöhter Beanspruchung stattfindet. Bei den hier eingesetzten Messanlagen wird die Auswertung der Signale automatisch untertage durchgeführt, nämlich die Detektion von Ereignissen, die Ortung der Ereignisse und die Bestimmung ihrer Magnitude. Eine manuelle Bearbeitung ist aufgrund der Anzahl von Ortungen (Ortungsraten bis 100 1/h) nicht möglich. Die Signalformen der stärkeren Ereignisse werden abgespeichert.

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

Für die Ortung wird ein homogenes Modell der seismischen Geschwindigkeiten angesetzt. Die Werte der P- und S-Wellengeschwindigkeiten des Steinsalzes wurden bei Testmessungen in-situ ermittelt. Die Testmessungen ergaben, dass die Ortungsgenauigkeit in den Bereichen der hier betriebenen Netzwerke 3 m und weniger beträgt.

Die Maximalamplituden der Aufnehmersignale, in Dezibel (dB) spezifiziert, werden ausgewertet, um die relative Empfindlichkeit der Aufnehmer untereinander zu vergleichen und die Stärke der Ereignisse zu quantifizieren. Die Bestimmung des Ortes der akustischen Emission ist Voraussetzung für die Bestimmung eines Stärkemaßes in Anlehnung an die Vorgehensweise in der Seismologie (Bezeichnung Magnitude). Die Amplituden der Aufnehmersignale von einem Ereignis (bzw. Produkte Laufweg und Amplitude) werden dabei in logarithmischer Auftragung gegen die Laufwege aufgetragen. Dabei ergibt sich ein linearer Zusammenhang, da die Amplituden aufgrund der inelastischen Dämpfung und der Streudämpfung exponentiell mit dem Laufweg abnehmen. Es wird dann eine Ausgleichsgerade bestimmt und deren Wert für einen festen Laufweg als Magnitude des Ereignisses festgelegt. Für den festen Laufweg wird ein Wert von 50 m gewählt. Nimmt man viele Ereignisse in einer statistischen Auswertung zusammen, lassen sich mittlere Abweichungen der Amplituden der einzelnen Aufnehmer von den Ausgleichsgeraden bestimmen. Diese Abweichungen bezeichnen Unterschiede in der relativen Empfindlichkeit der einzelnen Aufnehmer zueinander. Solche Unterschiede sind vor allem auf die Ankopplung oder auf besondere Bedingungen im Bereich des Aufnehmers zurückzuführen, da die Aufnehmer vor der Installation auf gleichmäßige Empfindlichkeit im Labor getestet wurden. Die mittleren Abweichungen werden für die Magnitudenbestimmung als Korrekturwerte benutzt. Der mittlere Wert der Steigung der Ausgleichsgeraden von vielen Ereignissen ist ein Maß für die Dämpfung der Wellen entlang des Laufwegs (inelastische Dämpfung und Streudämpfung). Zeitliche Veränderungen der eben besprochenen mittleren Werte sind Anzeichen für Veränderungen in der Ankopplung der Aufnehmer oder für Veränderungen im Gebirge, z. B. Auswirkungen fortschreitender Rissbildung.

Die Magnituden vieler Ereignisse werden statistisch ausgewertet und ihre kumulativen und distributiven Häufigkeitsverteilungen für auszuwählende Orts- und Zeitbereiche bestimmt (Magnitudenverteilungen). Zusammen mit den Ortungen dienen sie der Charakterisierung räumlich-zeitlicher Variationen der mikroakustischen Aktivität und der Charakterisierung unterschiedlichen Materialverhaltens im Gebirge. Um das Materialverhalten zu charakterisieren, müssen allerdings räumliche Bereiche mit einheitlicher Geologie ermittelt und betrachtet werden. Als Kenngröße wird zum einen die Steigung der Verteilung in Anlehnung an die Seismologie und die Schallemissionsanalyse bestimmt, nämlich der sogenannte b -Wert als negativer Steigung bei logarithmischer Auftragung der kumulativen Häufigkeit.

Er charakterisiert das Verhältnis der Häufigkeiten von schwachen und starken Ereignissen. Weiter wird eine maximal mögliche obere Magnitude aus der Verteilung bestimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jede Verteilung nach oben begrenzt ist aufgrund maximal möglicher Rissgrößen, z. B. könnte dies im Anhydrit die Mächtigkeit einer Anhydritschicht sein.

2.3 Messziele im ERAM

Die BGR betreibt im ERAM zwei 24-Kanal-Messanlagen. Die Anlage im Zentralteil Bartensleben, Bereich Abbau 1a, 1a-Sohle - oft der 1. Sohle zugeordnet-, registriert seit Anfang 1995. Eine Optimierung der Anlage wurde 1997 durchgeführt. Das Messziel bei dieser Anlage ist zum einen die Erkundung und Überwachung des Bereichs der Tropfstellen im Abbau 1a und in der Schrapperkammer (SK) auf der 1. Sohle. Hier geht es um die Frage, ob aktuell Auflockerung stattfindet, so dass mit einer Erweiterung von Wegsamkeiten gerechnet werden muss. Zum anderen wird der Bereich der Risse am westlichen und nördlichen Stoß des Abbaus 2n auf der 1. Sohle und im anschließenden Bereich der Nordstrecke untersucht (Frage der lokalen Standsicherheit im Bereich der Risse; siehe Beschreibung der Risse in SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Das Netzwerk erfasst weiterhin den Bereich westlich der Abbaue mit der Grenzfläche von Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) und den Hauptanhydrit. Dort sind erhöhte geomechanische Beanspruchungen aufgrund des stark unterschiedlichen Deformationsverhaltens von Steinsalz (duktil) und Anhydrit (steif, elastisch) zu erwarten.

Die Anlage auf der 4. Sohle Bartensleben wird seit September 1997 in der 1. südlichen Richtstrecke betrieben (Bezeichnung 'Südstrecke'). Das Messziel ist eine Erkundung und Überwachung der Schweben und Stöße im stark durchbauten Bereich der 4a- bis 5a-Sohle (Frage der lokalen Standsicherheit). Risse in den Stößen der Südstrecke und Deformationsmessungen belegen die auftretenden Beanspruchungen (SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Unterhalb der Südstrecke liegen die Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle im untersuchten Bereich.

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

2.4.1 Untersuchungsbereich und Betrieb der Anlage

Die Anlage wird nach einem vorangegangenen Testbetrieb seit Mai 1995 betrieben. Anhand der vorliegenden Erfahrungen und Ergebnisse wurde 1997 eine Optimierung der Anlage vorgenommen (Abschluss der Optimierungsphase Ende 1997). Die damals modifizierte Anordnung der Aufnehmer ist in Anlage 2.1 dargestellt. Die Aufnehmer sind in Bohrungen installiert, die von der 1. und 2. Sohle aus gestoßen wurden. Das Netzwerk erfasst den südlichen Bereich der Abbaureihe 1a und den nördlichen Bereich der Abbaureihe 2n mit dem zwischen den Abbaureihen gelegenen Rolllochsystem 1a (siehe auch Anlage 2.6 mit Vertikalschnitt). Dieser Bericht fasst die Ergebnisse vom Beginn der Messungen bis zum Ende des Jahres 2000 zusammen.

Die Messzeiten schließen Arbeitszeiten der Grube nicht ein. In der Regel wird daher in der Frühschicht von 6:00 h bis 14:00 h an Werktagen nicht gemessen. Aufgrund von technischen Ausfällen und aufgrund von zeitweise intensiven bergmännischen Arbeiten wie der Durchführung von Bohrprogrammen konnte die Anlage in den angestrebten Messzeiten nicht immer eingesetzt werden. Tabelle 2.1 enthält als Beispiel die Betriebszeiten der Anlage im Zeitraum 4/1998 bis 3/1999 in Spalte 1. Bis zur Mitte des Jahres 1998 kam es zu erheblichen Einschränkungen aufgrund eines umfangreichen Bohrprogramms im Untersuchungsbereich der Anlage. Im August kam es zu einem Ausfall von 12 Tagen, und im November und Dezember 1998 musste die Anlage aufgrund einer schwerwiegenden technischen Störung übertage im Labor repariert werden. Daher betrug die Dauer der Einsatzmöglichkeit im Jahre 1998 nur 57% der angestrebten Messdauer. Sie stieg für das Jahr 1999 auf 91% und für 2000 auf 99%.

2.4.2 Ergebnisse

Ereignisraten

Überschreitungen eines Schwell- oder Triggerwertes der Signalspannung von 0,1 V an den einzelnen Aufnehmern werden registriert und als Ereignisraten abgespeichert. Mittlere Werte der Ereignisraten an den einzelnen Aufnehmern schwanken überwiegend um Werte zwischen 3 1/h und 30 1/h. Entscheidend für diese Werte ist die Nähe der Aufnehmer zu Zentren der mikroakustischen Aktivität. Ein Kennwert für das Netzwerk unter den eingestellten Betriebsbedingungen ist die Anzahl der Ortungen, die überwiegend zwischen 10 1/h und 20 1/h schwankt. Die Parameter für den Betrieb wurden nach der Optimierungsphase seit 1998 nicht verändert. Anlage 2.2 zeigt die Ortungsraten pro Stunde gemittelt über jeweils einen Monat in den Jahren 1998 bis 2000. Hier werden die längerfristigen Schwankungen der Ortungsrate erkennbar. Es wurden nur Monate mit mindestens 20% Einsatzmöglichkeit berücksichtigt (110 h von im Schnitt 550 h angestrebter Messdauer pro Monat).

Aufgrund der o. g. Beeinträchtigungen ist die Ortungsrate im 1. Halbjahr 1998 in Anlage 2.2 nicht aussagekräftig. Nach diesem Zeitraum erkennt man einen langfristigen, jahreszeitlichen Trend. Im Sommer werden deutlich mehr Ereignisse registriert als im Winter. Diese Anstiege im Sommer traten auch bereits in den vorangegangenen Messphasen von 1995 bis 1997 auf. In den Ortungsergebnissen beobachtet man, dass die zusätzlichen Ereignisse im Sommer i. w. aus den stoßnahen Bereichen stammen, also aus den Auflockungszonen um die Hohlräume. Eine mögliche Erklärung für die Schwankungen sind Variationen der Temperatur und/oder der Feuchte in den Wettern. Langzeitmessungen der Temperatur und der relativen Feuchte liegen z. B. für den Bereich der Versatzaufbereitungsanlage auf der 4a-Sohle im Zentralteil vor (██████, 2001). Danach schwankt die Temperatur in diesem Abbau nur innerhalb von 2 K. Die relative Feuchte zeigt dagegen jahreszeitliche Variationen zwischen 20 % im Winter und 60 % im Sommer. Die Temperaturschwankungen sind demnach gering, so dass kein erheblicher Einfluss auf das mechanische Verhalten des Steinsalzes zu erwarten ist. Man beobachtet jedoch im Sommer einen deutlichen Anstieg der relativen Feuchte. Der starke Einfluss der Feuchte auf das Kriechverhalten und die Mikrorissbildungsrate ist von Laborversuchen an aufgelockerten Stein-

salzproben her bekannt (Versuche mit niedrigem Seitendruck, siehe HUNSCHE & SCHULZE, 1994).

Betrachtet man die Ortungsraten pro Stunde, die über einen Tag gemittelt wurden, findet man ca. $\pm 10\%$ Schwankung von Tag zu Tag. Ausnahmen ergeben sich bei plötzlichen Wetteränderungen, z. B. bei Sommergewittern, wenn große Mengen an Feuchte nach untertage getragen werden sowie seltener bei besonderer Aktivität der Mikrorissbildung im Gebirge (Bildung von Clustern, siehe unten).

Insgesamt wurden von 1995 bis Ende 2000 rund 345 000 gültige Ortungen bestimmt.

Ortungen im (engeren) Untersuchungsbereich

Als Beispiele für die erhaltenen Ortungen werden die Ergebnisse des Zeitraums 4/1998 bis 3/1999 dargestellt (Anlagen 2.3 – 2.23). Nur wenn es in anderen Zeiträumen zu abweichenden Beobachtungen kam, werden diese genannt bzw. abgebildet.

Tabelle 2.1 enthält die gültig georteten Ereignisse (10 oder mehr benutzte Laufzeiten) im Zeitraum 4/1998 bis 3/1999. Hierbei wurde keine räumliche Einschränkung des Untersuchungsbereichs vorgenommen. Der in der Planung der Messungen vorgesehene Untersuchungsbereich um das Netzwerk herum wird in den Anlagen 2.3 - 2.22 dargestellt (siehe Messziele in Abschnitt 2.3). Es werden Horizontal- und Vertikalschnitte angefertigt, in die die Ortungsergebnisse hineinprojiziert werden. Je größer die ausgewählten Bereiche in der horizontalen oder vertikalen Erstreckung sind, desto größer werden Fehler bei der Zuordnung von Ereignissen zu den Hohlraumkonturen und der Geologie, da es sich um komplexe dreidimensionale geometrische und geologische Bedingungen handelt (Problem der Projektion aus einem ausgedehnten Bereich in eine horizontale oder vertikale Schnittebene). Geometrie und Geologie liegen in Form von Sohl- und Seigerrissen vor (offizielles Risswerk der DBE sowie BEHLAU, MINGERZAHN & BORNEMANN, 1997 und 1998). Die Anlagen 2.3 - 2.9 mit größeren räumlichen Ausschnitten geben einen Überblick über die mikroakustische Aktivität im Gebirge. Anhand der Anlagen 2.10 – 2.22 mit geringeren räumlichen Ausschnitten, insbesondere schmalere Teufenbereichen, ist eine genaue Zuordnung der Aktivität zu Hohlraumkonturen und geologischen Grenzen möglich.

Die Anlagen 2.3 - 2.5 zeigen die Verteilung aller Ortungen jeweils für unterschiedliche Magnitudenschwellen. Jede dieser Anlagen enthält Darstellungen in 3 aufeinander senkrecht stehenden Ebenen. Der Sohlriss zeigt dabei eine Horizontalprojektion mit Ereignissen aus dem gesamten Teufenbereich (Koordinaten x' gegen y' in m). Der Seigerriss II zeigt eine Vertikalprojektion als Ansicht von der Seite in x' -Richtung (Koordinate Teufe z in m NN gegen y' : Längsschnitt durch die Hohlräumenordnung); der Seigerriss I zeigt eine Vertikalprojektion als Ansicht von der Seite in y' -Richtung (z gegen x' : Querschnitt durch die Hohlräumenordnung). Die Zahlen an den Achsen bezeichnen die jeweiligen Anfangs- und Endkoordinaten, der Gitterabstand beträgt 20 m. Das Koordinatensystem ist um einen Winkel von 25° um eine vertikale Achse nach Osten gedreht worden, damit die Ereignisse im nördlichen Bereich (Rollochsystem 1a von -20 m bis 60 m in x' -Richtung und 20 m bis 40 m in y' -Richtung) lagerichtig zu den Abbauebenen in die Seigerrisse projiziert werden. Die Signaturen der Hohlraumkonturen der drei oberen Sohlen sind neben dem Sohlriss angegeben. In den anderen Abbildungen wurde wegen der starken Variation der Geometrie der Hohlräume auf die Konturen verzichtet, dafür aber Sohl- und Firstniveaus der Abbaue angegeben (S - Sohle, F - Firste). Zur Orientierung ist die Lage der Aufnehmer mit Kreuzen gekennzeichnet.

Anlage 2.3 enthält unabhängig von der Magnitude M alle Ortungen ($M > 0$ dB: 51 613 Ereignisse). Dem Sohlriss ist zu entnehmen, dass der überwiegende Anteil der Ereignisse in der Nähe der Abbaustöße, insbesondere im Rollochbereich, liegt. Der Seigerriss II zeigt die Konzentration auf den Rollochbereich von der 1. Sohle bis zur 2. Sohle und weitere markante Aktivitätshäufungen auf der 1. Sohle und auf der 2a-Sohle. Der Seigerriss I zeigt die Konzentration der Ereignisse entlang der Anordnung der Abbauebenen der 1. bis 2. Sohle, die gemäß dem generellen Einfallen der Schichten mit zunehmender Teufe nach Westen gegeneinander versetzt aufgeföhren wurden. Auffällig sind aber auch Ereignisse links bzw. westlich der Abbaue, die nach Kenntnis der Geologie im Steinsalz (z_3) zum Hauptanhydrit (z_{3HA}) hin und im Hauptanhydrit liegen. Die linearen Anordnungen im Seigerriss I stammen von Ereignissen um die neu erstellten Bohrungen RB971 und RB972 aus dem Abbau 2n der 2. Sohle in 4/1998 (Ereignisse jeweils nach der Schicht mit dem Stoßen der Bohrung). Aufgrund von methodischen Problemen bei der Ortung werden hier viele Ereignisse aus dem Bereich der Bohrungen in einem höher gelegenen Bereich geortet (siehe steile Linien zwischen 2a- und 1. Sohle). (Anm.: Zum Zeitpunkt des Stoßens

der Bohrungen waren die Aufnehmer 17, 20, 21 und 24 wegen Störungen abgeschaltet, siehe oben. Dies führte zu einer annähernd flächenhaften Anordnung der verbleibenden Aufnehmer, so dass der Ortungsalgorithmus in manchen Fällen nicht zwischen Ereignissen über und unter dieser Ebene unterscheiden konnte. Die auf diese Weise entstandenen Fehlortungen sind im Datensatz belassen worden. Es wird hier und in den folgenden Abbildungen jeweils darauf hingewiesen.)

In Anlage 2.4 sind die Ereignisse mit Magnituden $M > 40$ dB dargestellt (21 014 Ereignisse). Bei dieser Beschränkung bilden sich Stöße und Firste etwas deutlicher ab. Anlage 2.5 enthält schließlich nur Ereignisse mit $M > 50$ dB (7 257 Ereignisse). Hier findet man nur wenige Ereignisse in Abbaunähe. Man erkennt im Vergleich der drei Anlagen 2.3 - 2.5, dass die Ereignisse in Abbaunähe überwiegend schwach sind mit $M < 50$ dB, während die abbaufern gelegenen Ereignisse, z.B. westlich und südlich des Netzwerks, einen hohen Anteil starker Ereignisse $M > 50$ dB aufweisen.

Die Anlagen 2.6 - 2.9 zeigen spezielle Vertikalschnitte mit Abbaukonturen und geologischen Grenzen. Alle registrierten Ereignisse im Zeitraum von 4/1998 bis 3/1999 bilden hier die Datenbasis ohne Einschränkung der Magnituden ebenso wie bei den folgenden Darstellungen bis Anlage 2.22. Es handelt sich um die Profile 3.3, C und D aus dem geologischen Lagerstättenmodell der BGR (BEHLAU, MINGERZAHN & BORNEMANN, 1997 und 1998). Die Lagen der Schnittspuren sind in Anlage 2.1 dargestellt. Die Ereignisse werden jeweils aus einem 30 m breiten Bereich um die Schnittebene herum in die Abbildungen projiziert. Damit werden z. T. auch vor oder hinter dem Schnitt liegende Stöße der Hohlräume oder Pfeiler erfasst. Die Ereignisse aus diesen Bereichen werden dann in die Hohlräume im Schnitt hineinprojiziert. Dies ist wegen der komplizierten Geometrie bei diesen Übersichtsdarstellungen nicht zu vermeiden und muss bei der Betrachtung berücksichtigt werden. Der Vergleich der ermittelten Ortungen der akustischen Emission mit den geologischen Profilen erlaubt eine Zuordnung der Mikrorissbildung zu den geologischen Einheiten und damit eine vertiefte Interpretation.

Bei Anlage 2.6 handelt es sich um den Schnitt 3.3 des Risswerks durch die Abbaureihe 1a und das benachbarte Rolllochsystem. Es wird der gesamte Bereich des Abbaus 1a auf der 1a-Sohle erfasst. Man erkennt die Auflockerung des Bereichs um die Abbaue herum bis

hin zum Hauptanhydrit (z3HA). Am stärksten ist der Firstbereich des Abbaus 1a auf der 2a-Sohle betroffen. Entlang des Aufhauens zum Abbau 1a auf der 1a-Sohle - oft der 1. Sohle zugeordnet - beobachtet man eine mittelstarke Aktivität. Oberhalb von Abbau 1a erkennt man wenige Ereignisse im Hauptanhydrit (z3HA). (Da sich in der Firste von Abbau 1a aus Sicherheitsgründen keine Aufnehmer befinden, kann aus dem Bereich bis 10 m oberhalb der Firste prinzipiell kein Ereignis geortet werden.) Vom Abbau 1a auf der 2a-Sohle zieht sich ein schmales Aktivitätsband in Richtung des Hauptanhydrits (z3HA). Weiter beobachtet man eine deutliche Aktivität im Hauptanhydrit. Auffällig ist hier eine Ansammlung gegenüber von Abbau 1a, 1a-Sohle, die auch die Form eines Bandes aufweist bzw. in der räumlichen Ausdehnung einer in Nord-Süd-Richtung streichenden Fläche zuzuordnen ist.

Die Anlage 2.7 zeigt den Vertikalschnitt C durch die Schrapperkammer auf der 1. Sohle und die Abbaureihe 2n auf den tieferen Sohlen. In diesem Bereich liegen die o. g. Bohrungen RB971 und RB972, die vom Abbau 2n auf der 2. Sohle in 4/1998 gestoßen wurden (siehe unten: Ortungen von Clustern). Die Bohrungen erreichen den Hauptanhydrit (z3HA) nach 20 m bzw. 17,5 m Länge vom Hohlraum aus. (Anm.: Die Lage der Grenzfläche Steinsalz - Anhydrit gegenüber Abbau 2n der 2. Sohle wurde entsprechend der erbohrten Teufe gegenüber dem geologischen Lagerstättenmodell geringfügig modifiziert.) Auch in dieser Abbildung treten die oben erwähnten Fehlortungen oberhalb der Bohrungen auf. Die hohe Dichte von Ereignissen belegt die Auflockerung um die Abbaureihe im Steinsalz (z3), die sich bis in die schmale Hauptanhydritscholle nach Westen bzw. links in der Anlage erstreckt. Oberhalb der Abbaureihe, d. h. oberhalb der Schrapperkammer und der angrenzenden Nordstrecke findet man Ereignisse, die nach dem geologischen Modell im Übergangsbereich von Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) liegen und sich nicht tiefer in den Hauptanhydrit erstrecken.

Anlage 2.8 zeigt die Ergebnisse im Schnitt D. Man findet im Bereich der Abbaue eine prägnante Anhäufung am Nordstoß des Abbaus 2n auf der 1. Sohle. Der Hauptanhydrit (z3HA) liegt hier höher über dem Abbau auf der 1. Sohle als im Profil C in Anlage 2.7. Zwischen den Hohlräumen und dem Hauptanhydrit (z3HA) ist mikroakustische Aktivität festzustellen. Die Grenzfläche zum Steinsalz und der Bereich, in dem die beiden Anhydrit-

schollen westlich der Abbaureihen aneinanderstoßen, fallen durch etwas höhere Aktivität auf. Nach oben hin nimmt die Aktivität im Anhydrit ab.

In Anlage 2.9 sind die Ereignisse aus dem Bereich südlich des geologischen Profils D dargestellt. Dieses Profil wird hier D' genannt und seine Lage ist Anlage 2.1 zu entnehmen. Da nach Süden hin die Geologie nicht mehr so stark variiert wie im Bereich der geologischen Profile 3.3 und C, ist der Vergleich der akustischen Emission aus dem Bereich des Profils D' mit dem geologischen Profil D gerechtfertigt. Man erkennt eine schwache Auflockerung von den Hohlräumen zum Hauptanhydrit (z3HA) hin und die Ansammlungen von Ereignissen im Anhydrit. Auch hier scheinen sich die Ereignisse dort zu konzentrieren, wo die Anhydritschollen aneinanderstoßen. Eine lineare Struktur senkrecht zum Verlauf der Anhydritscholle fällt bei -240 m NN Teufe auf. Sie hat Ähnlichkeit mit der Ansammlung im Anhydrit im Profil 3.3 in Anlage 2.6. Die beiden Ansammlungen werden als Klufzonen im Bereich der Anhydritschollen interpretiert, die durch die Abbaubeanspruchung aktiviert werden.

Die Anlagen 2.10 - 2.19 zeigen die mikroakustische Aktivität in - bezüglich des Teufenbereichs - relativ schmalen Horizontalschnitten (Sohlrissen), um eine möglichst genaue Zuordnung zu Konturen und geologischen Grenzen zu ermöglichen (2. Sohle bis über die 1a-Sohle: -291 m NN bis -200 m NN). Geologische Sohlrisse liegen für die Niveaus der 1. und 2. Sohle vor (BEHLAU, MINGERZAHN & BORNEMANN, 1997 und 1998). Rechts oben findet man jeweils den Teufenbereich (Koordinate z), aus dem die Ereignisse in den Horizontalschnitt projiziert wurden. Die Achsen entsprechen bei dieser Darstellung der Nordrichtung (y) und der Ostrichtung (x). Es sind jeweils die letzten 3 Stellen der Rechts- und Hochwerte im Gauß-Krüger-System angegeben. Die Signaturen für die Konturen finden sich jeweils rechts von den Abbildungen. Die durchgezogenen Linien kennzeichnen dabei immer die Abbausohle, die näher am dargestellten Teufenbereich liegt.

Anlage 2.10 zeigt die Abbaue der 2. Sohle bis in den Firstbereich. Hier findet man Aktivität im Pfeiler zwischen den Abbauen 2n und 1a sowie entlang der Konturen des Abbaus 1a. Westlich vom Abbau 2n liegen die Ereignisse im Zusammenhang mit der Erstellung der Bohrungen RB971 und RB972 in das ringförmige Cluster R1 von 5/1997 mit schichtparalleler Lage (zu den Clustern siehe unten). Schwache Aktivität findet sich im Steinsalz vor

dem Übergang zum Hauptanhydrit (z3HA) und im Anhydrit selbst. Diese setzt sich in den nächsten Schnitten nach oben fort. Weitere Aktivität, die im Messzeitraum von 4/1998 bis 3/1999 in Anlage 2.10 nicht auftrat, ist am Nordstoß des Abbaus 3n der 2. Sohle zu verzeichnen. Sie ist in Anlage 2.11 in einem Horizontalschnitt mit Ergebnissen des Zeitraums 4/1999 bis 12/2000 im Teufenbereich von -291 m NN bis -269 m NN deutlich zu erkennen. Die Ereignisse, die entlang der Kontur des Abbaus 3n im Einfallen der Schichten liegen, korrelieren mit dem Auftreten von Anhydritmitteln im Anhydritmittelsalz (z3AM) in Stoß und Firste des Abbaus 3n und waren auch in früheren Messzeiträumen festgestellt worden.

Den Anschluss an die Teufenbereich von Anlage 2.10 bildet Anlage 2.12 vom Firstbereich der 2. Sohle bis zur 2a-Sohle. Am deutlichsten ist wieder die Aktivität im Pfeiler zu erkennen. Weiter findet man Ereignisse oberhalb der Firste des Abbaus 2n der 2. Sohle. Westlich vor Abbau 2n liegen Ereignisse, die in Zusammenhang mit der Erstellung der Bohrungen RB971 und RB972 auftraten.

Anlage 2.13 zeigt den Teufenbereich um die 2a-Sohle. Deutlich zeichnen sich hier Stöße im Bereich des Rolllochs ab ('Nase' nach Westen zwischen Abbauen 1a und 2n) und der sich anschließende Weststoß des Abbaus 2n. Im Pfeiler zwischen Abbau 1a und 2n beobachtet man Ereignisse, die sich nach oben zu markanten Aktivitätshäufungen an den Stößen und Firsten der Abbaue entwickeln (Anlagen 2.14 und 2.15). Westlich des Abbaus 2n liegt eine ringförmige Anordnung von Ereignissen (Cluster R2, siehe unten) an der Grenze zwischen Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA). Ähnliche Beobachtungen wie in Anlage 2.13 finden sich in Anlage 2.14 mit dem Teufenbereich der Firsten der 2a-Sohle. Der östliche Stoß des Abbaus 2n bildet sich zusätzlich ab. Hier und in den folgenden Anlagen 2.15 und 2.16 treten die o. g. Fehlortungen von Ereignissen um die Bohrungen RB971 und RB972 konzentriert bei etwa $x = 50$ m und $y = 340$ m auf.

Anlage 2.15 zeigt den Bereich der Schweben zwischen 1. Sohle und 2a-Sohle, die teilweise nur 4 m mächtig ist. Deutlich zeichnen sich Stöße und Firsten, auch Sohlbereiche der Abbaue 1a und 2n sowie der Schrapperkammer ab. Die Aktivität am östlichen Stoß des Abbaus 2n kann nicht weiter verfolgt werden, da der darüberliegende Abbau 2n der 1. Sohle die Wellenausbreitung zu den Aufnehmern verhindert (Abschattung). Vor der Nordwest-

Ecke des Abbaus 2n auf der 1. Sohle findet sich eine Anhäufung von Ereignissen, die nahe den Rissen am West- und Nordstoß des Abbaus liegen und diesen daher zugeordnet werden können. Die Aktivität erstreckt sich vom Abbau 2n etwa 10 m in das Gebirge hinein. Direkt am westlichen Nordstoß des Abbaus 2n der 1. Sohle beobachtet man kaum Aktivität. Dieser Befund korreliert mit dem Auftreten von Rissen sowohl am westlichen Nordstoß des Abbaus als auch in beiden Stößen der anschließenden Nordstrecke (SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001) und deutet auf eine aus der Rissbildung resultierende Entlastung in diesem Bereich hin. Westlich des Abbaus 2n findet man geringere Aktivität im Steinsalz. Die Grenze zum Anhydrit ist bereichsweise durch Ereignishäufungen markiert. (Die beiden markanten Anhäufungen links in der Anlage resultieren von den o. g. Fehlortungen in Zusammenhang mit der Erstellung der Bohrungen RB971 und RB972.)

Anlage 2.16 zeigt den Teufenbereich oberhalb der 1. Sohle. Die Aktivität im Bereich der Abbaue ist deutlich verschieden von der im darunterliegenden Bereich. Ein starkes Aktivitätsmaximum ist am östlichen Nordstoß des Abbaus 2n zu erkennen. Hier ist die höchste Ereignisdichte im Untersuchungsgebiet zu finden. Das Maximum liegt etwa dort, wo sich die Abbaulinien der 2a-Sohle und der 1. Sohle schneiden und hohe Spannungskonzentrationen zu erwarten sind. Am Weststoß des Abbaus 2n findet man dagegen nur geringe Anzeichen für akustische Emission. Es ist anzunehmen, dass die an den Stößen festzustellende Rissöffnungen von Westen her nach Norden und Osten erfolgt ist (siehe Beschreibung der Risse in SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001), und dass die Rissbildungsaktivität heute im wesentlichen an dem Aktivitätsmaximum im Nordstoß des Abbaus 2n stattfindet sowie weiter nördlich im Bereich der Nordstrecke vor der Schrapperkammer. Nach den geologischen Profilen C und D (siehe Anlagen 2.7 und 2.8) muss in diesem Bereich mit einer Annäherung des Hauptanhydrits (z3HA) an die Hohlräume bis auf wenige Meter gerechnet werden.

In Anlage 2.16 fallen Ereignisse im Abbau 2n direkt vor dem Eingang zur Nordstrecke auf (siehe auch Anlage 2.17). Dieser Bereich ist teilweise geankert, da man offenbar mit Abschaltungsproblemen rechnete. Beobachtbare Rissbildung an Stoß und Firste findet auch oberhalb des geankerten Bereichs statt (Ankerlängen vermutlich 80 cm).

In Anlage 2.17 mit Teufen zwischen -249 m NN bis etwa zum Firstniveau des Abbaus 2n bei -243 m NN zeigt sich im Bereich der Abbaue eine ähnliche Verteilung wie direkt über der 1. Sohle in Anlage 2.16. Etwa 20 m westlich des Abbaus 2n trat in 4/1998 ein linienförmiges Cluster auf, das der Grenze zum Hauptanhydrit (z3HA) zuzuordnen ist. Es setzt sich in Anlage 2.18 als nach NE ansteigende Linie fort. Insgesamt muß die Aktivität westlich der Abbaue erwähnt werden, die an der Grenze zum Anhydrit, im Anhydrit und jenseits davon auftritt (Cluster R4 am Aufhauen aus dem Lager C mit ca. $x = 90$ m und $y = 280$ m, siehe unten).

Anlage 2.18 stellt den Teufenbereich um den Abbau 1a der 1a-Sohle dar und erstreckt sich bis in sein Firstniveau hinein. Am Abbau 1a fallen Ereignisse entlang des Aufhauens besonders auf. Direkt über der Firste können keine Ereignisse geortet werden, da sich keine Aufnehmer in der Firste befinden. Weiter ist Aktivität über Abbau 2n der 1. Sohle festzustellen und auch nördlich davon über Abbau 2n der 2a-Sohle. Es handelt sich um das Ausklingen der starken Aktivität im darunterliegenden Teufenbereich nach oben hin. Westlich der Abbaue, auch direkt westlich über der Nordstrecke findet sich Aktivität, die nach dem geologischen Lagerstättenmodell im Hauptanhydrit (z3HA) stattfindet. Deutlich erkennt man das Umbiegen des Streichens von NW – SE nach N – S von Süden nach Norden. Vor zwei Aufhauen aus dem Kalilager C im westlichen Bereich liegen Anhäufungen akustischer Emission. Sie kennzeichnen - vom Netzwerk her gesehen - die Rückseite des Hauptanhydrits (z3HA). Insgesamt vermittelt die Aktivität westlich der Abbaue den Eindruck, dass viele Ereignisse räumlich gruppiert auftreten.

Anlage 2.19 schließlich zeigt den Teufenbereich oberhalb von Abbau 1a, 1a-Sohle, bis -200 m NN. Oberhalb von Abbau 1a als auch oberhalb von Abbau 2n finden sich einige Ereignisse. Sie liegen im Hauptanhydrit (z3HA). Westlich der Abbaue findet eine Fortsetzung der Aktivität von Anlage 2.18 nach oben hin statt.

Ortungen von Clustern

Der überwiegende Anteil der akustischen Emission, deren räumliche Verteilung in den Anlagen 2.3 - 2.19 dargestellt ist, zeigt eine relativ gleichmäßige zeitliche Verteilung, wenn man von den jahreszeitlichen Schwankungen absieht. Abweichungen von dieser Beobachtung treten als kurzfristige zeitliche Variationen in räumlich begrenzten Bereichen auf.

Diese werden hier Cluster genannt. Auffällige Cluster werden anhand der visuellen Inspektion der Ereignisverteilungen identifiziert. Die Anzahl der einzelnen Ereignisse dieser Cluster beträgt zwischen wenigen Ereignissen und etwa 1000 Ereignissen mit zeitlicher Korrelation, d.h. die Ereignisse folgen kurz aufeinander und dann fällt die Ereignisrate in diesem Bereich wieder ab. Im Bereich der Aktivitätszentren im Steinsalz, insbesondere im Rollochsystem 1a auf dem Niveau der 2a-Sohle und am Nordstoß des Abbaus 2n auf der 1. Sohle, treten bisweilen Cluster mit relativ wenigen Ereignissen auf. Im Vergleich mit der gesamten Aktivität in diesen Bereichen ist ihr Anteil gering. Auffällige Cluster mit mehr Ereignissen werden zum überwiegenden Teil am Übergang Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) oder hinter dieser Schichtgrenze festgestellt und ihre räumliche Anordnung zeigt eine deutliche Korrelation mit dem Streichen des Hauptanhydrits. Im Folgenden wird die Entwicklung im Bereich westlich der Abbaureihen 1a und 2n dargestellt, wo die prägnantesten Cluster auftreten.

Die Anlagen 2.20 - 2.22 enthalten Horizontalschnitte mit Ortungen von Ereignissen westlich der Abbaureihen 2n und 1a. Als Beispiele werden jeweils die Daten eines Monats aus dem Zeitraum 4/1998 bis 3/1999 dargestellt. Anlage 2.22, Abbildung b), zeigt die Ortungen des gesamten Zeitraums von 4/1998 bis 3/1999. Zur Orientierung sind die Konturen der am weitesten nach Westen ausgreifenden Hohlräume auf der 2. Sohle eingezeichnet. Die als Orte von Clustern identifizierten Bereiche sind durch Rechtecke markiert. Sie waren teilweise schon früher als aktiv erkannt worden oder traten im dargestellten Zeitraum erstmalig in den Messungen auf. Der Bereich B1 mit leicht schwankender, aber merklicher Aktivität ist gestrichelt gekennzeichnet. Die im Folgenden genannten Teufenangaben beziehen sich auf die räumliche Mitte der beobachteten Cluster. Die Aktivität im mittleren und östlichen Teil der Abbildungen stammt von dem Pfeiler zwischen den Abbauen 1a und 2n auf der 2. Sohle und der 2a-Sohle.

Cluster R1 (Teufe ca. -275 m NN) trat im Mai 1997 auf. Es wird in Anlage 2.20 in Abbildung a) dargestellt. Es wurde im April 1998 durch die Bohrungen RB971 und RB972 erschlossen, die in seinem Bereich den Übergang von Liniensalz (z3LS) zu Hauptanhydrit (z3HA) antrafen. Die Ereignisse, die in Zusammenhang mit den Bohrungen, aber nicht während der Bohrzeiten registriert wurden, sind Anlage 2.20 Abbildung b) zu entnehmen. Die Ringfläche hat als Folge der Störung des Spannungszustandes aufgrund der Bohrlöcher

erneut emittiert. Dabei ist eine deutliche Vergrößerung des Ringes festzustellen und eine Erweiterung in Form eines vom Ring ausgehenden Astes, der im Räumlichen nach oben zeigt.

Cluster R2 (Teufe ca. -265 m NN) oberhalb von Cluster R1 emittierte während des Zeitraums relativ gleichmäßig und zeigte von allen Clusterbereichen in der Summe die meisten Ereignisse.

Cluster R3 (Teufe ca. -270 m NN) zeigte diffuse, aber merkliche Aktivität im Zeitraum nach der erstmaligen Beobachtung der Clusteraktivität im Herbst 1997. Die Anordnung in Form eines halben Ringes mit einem Durchmesser von ca. 25 m ist in Anlage 2.22 in Abbildung b) angedeutet. Er liegt oberhalb und westlich der Firste des Abbaus 1a der 2. Sohle. Nach dem geologischen Lagerstättenmodell liegt der Ring in diesem Fall in einem Bereich mit starker Undulation der Grenzfläche Liniensalz (z3LS) und Hauptanhydrit (z3HA) (siehe Anlage 2.10 mit der Lage des Anhydrits westlich des Abbaus 1a). Ein weiteres Cluster R5 über der Firste des Abbaus 1a trat in 10/1998 auf (siehe Anlage 2.21 Abbildung a), Teufe ca. -260 m NN).

Cluster R4 (Teufe ca. -240 m NN) zeigt relativ gleichmäßige Aktivität. Es liegt vom Netzwerk her gesehen auf der Rückseite des Hauptanhydrits (z3HA) in der Nähe der Ortsbrust eines Aufhauens im Einfallen des Kalilagers C (siehe auch Anlage 2.17).

Cluster R6 (Teufe ca. -255 m NN) ereignete sich in 2/1999 in einem Bereich, der früher schon durch ein prägnantes linienförmiges Cluster aufgefallen war. Cluster R7 (Teufe ca. -255 m NN) zeichnet sich durch mehrere kleine Ansammlungen aus und war besonders in 3/1999 auffällig.

Die Aktivität im Bereich B1 unterscheidet sich von der Aktivität der eben besprochenen Cluster, die nördlich von B1 liegen (Anlagen 2.20 - 2.22). Es handelt sich sowohl um schwächere zeitliche als auch räumliche Konzentrationen. Hier deuten sich Unterschiede zwischen den Aktivitäten im nördlichen und im südlichen Bereich des Ausschnitts an. Dies korrespondiert mit einem Unterschied in der geologischen Situation: im Norden sind die

Hauptanhydritschollen stärker gegeneinander verstellt als im Süden (vergleiche die geologischen Profile in den Anlagen 2.6 – 2.8).

Ortungen westlich und südlich des (engeren) Untersuchungsbereichs

Die Ortungsgenauigkeit ist für diese weit vom Netzwerk entfernt liegenden Ereignisse deutlich schlechter als im bisher dargestellten eigentlichen Untersuchungsbereich. Es müssen zudem Laufweganteile in anderen Salzgesteinen als Steinsalz unterstellt werden, so dass die Annahme einer einheitlichen seismischen Geschwindigkeit für die Ortung nur noch näherungsweise erfüllt ist.

Anlage 2.23 enthält die gleichen Darstellungen wie die Anlagen 2.3 - 2.5 in 3 aufeinander senkrecht stehenden Ebenen (Sohlriss mit Drehung um vertikale Achse in Abbildung a), Seigerriss II in Längsrichtung der Abbaue in Abbildung b), Seigerriss \perp in Querrichtung in Abbildung c). Der Bereich in den x'- und y'-Richtungen ist allerdings viel größer gewählt worden als in den Anlagen 2.3 – 2.5. Weiter sind nur die starken Ereignisse mit Magnituden $M > 60$ dB dargestellt, da aus den entfernteren Bereichen schwächere Ereignisse nicht registriert werden können. Zur Orientierung sind die Lagen der Aufnehmer und im Sohlriss die Abbaukonturen der 1. Sohle eingezeichnet worden (Abkürzungen: S - Sohle, F - Firste, HQ - Hauptquerschlag, C - Kalilager). Im Seigerriss \perp verdeutlicht die Lage der Aufnehmer in etwa die Lage der Hohlräume. Der Drehwinkel um eine vertikale Achse beträgt hier 30° (siehe vorne bei der Erläuterung der Anlagen 2.3 - 2.5). Dies bewirkt einen Ausgleich zwischen dem Streichen des Hauptanhydrits (z3HA) und dem Verlauf der Abbaue. Auffällig ist die große Ansammlung im Sohlriss etwa 120 m westlich und südlich des Zentrums des Netzwerks in der Form eines breiten Bandes. Es erstreckt sich entlang des Hauptquerschlags bis hin zum Kalilager C. Verglichen mit dieser Ansammlung treten die im Bereich des Netzwerks georteten Ereignisse mit $M > 60$ dB an Häufigkeit weit zurück. In den Seigerrissen II und \perp erkennt man, dass die Ereignisse des Bandes überwiegend im Teufenbereich von -320 m NN bis -180 m NN verteilt sind. Abbildung b) zeigt, dass sie überwiegend südlich vom Netzwerk liegen, und Abbildung c) zeigt, dass sie sich überwiegend über und westlich vor dem Netzwerk befinden.

Das Band von Ereignissen liegt im Bereich des Schichtpakets aus Leinesteinsalz (z3), Hauptanhydrit (z3HA), Grauem Salzton (z3GT) und Kalilager (z2SF), das den äußeren Teil des westlichen Schenkels der Hauptmulde darstellt, sowie dahinter im Älteren Steinsalz (z2HS). Innerhalb des Bandes von Ereignissen lassen sich Häufungspunkte etwa entlang des Hauptquerschlags erkennen (Anlage 2.23 Abbildung a).

Insgesamt deutet sich als geomechanischer Befund an, dass am westlichen Schenkel der Hauptmulde eine höhere Beanspruchung über den Hauptquerschlägen - also im mittleren Bereich des Zentralteils - als im Bereich des Netzwerks - also am nördlichen Abschluss des Zentralteils - auftritt (vergleiche die Hohlräumenordnung der oberen Sohlen in Anlage 2.24). Da die Abbaue des Zentralteils symmetrisch von den Hauptquerschlägen her aufgeföhren sind, entsprechen die Hauptquerschläge dem Zentrum der Durchbauung des Feldesteils. Die beobachtete Aktivität über den Hauptquerschlägen lässt darauf schließen, dass dieser Bereich als eine Art Pfeiler zwischen den Abbauen im Norden und denen im Süden wirkt.

Amplitudenanalyse und Magnitudenverteilungen

Tabelle 2.1 enthält Ergebnisse der Amplitudenanalyse am Beispiel des Zeitraums von 4/1998 bis 3/1999. Die Messzeiten in den einzelnen Monaten sind in Spalte 1 in Klammern angegeben. Dann folgen die mittleren Abweichungen in Dezibel (dB) für die 24 Aufnehmer in den einzelnen Monaten, die als Korrekturwerte für die Berechnung der Magnituden benutzt werden (vergleiche Abschnitt 2.2). Die untere Zeile enthält jeweils Mittelwerte für den gesamten Zeitraum. Die Werte geben die relative höhere oder niedrigere Empfindlichkeit untereinander an (positive bzw. negative Werte). Da ein oder mehrere Aufnehmer zeitweise nicht betrieben werden konnten, schwankten die Werte aller Aufnehmer. Sie stellten sich aber wieder auf ein jeweils konstantes Niveau ein. Weiter sind die Gesamtanzahl der georteten Ereignisse, der mittlere Wert der Steigung der Ausgleichsgeraden für die Amplituden der Aufnehmer in dB/(10 m) (siehe Abschnitt 2.2) und die mittlere Magnitude in dB im jeweiligen Zeitraum angegeben.

Für den betrachteten Zeitraum werden nachfolgend die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden (Magnitudenverteilungen) für den gesamten Untersuchungsbereich

und für 11 einzelne Ortungsbereiche dargestellt. Kumulativ bedeutet dabei, dass für den betrachteten Magnitudenwert die Anzahl von Ereignissen aus dem Ensemble, die einen höheren Wert besitzen, angegeben wird. Die räumliche Begrenzung der Bereiche sowie eine Beschreibung der Lage und der Stratigraphie ist Tabelle 2.2 zu entnehmen. Die Koordinaten der Begrenzungen werden für die x-, y- und z-Richtung angegeben, bei x und y jeweils die letzten drei Stellen im Gauß-Krüger-Bezugssystem. Die ausgewählten Bereiche umfassen jeweils entweder Zentren der Aktivität in Abbaunähe (Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6) oder abbauferne Gebiete, die aufgrund besonderer mikroakustischer Aktivität auffallen (Nr. 7 und 8 westlich der Abbaue in unterschiedlichen Teufenbereichen, Nr. 9 weit westlich und südlich des Netzwerks) oder Gebiete mit einheitlicher Geologie im geologischen Lagerstättenmodell (Nr. 10 im Hauptanhydrit (z3HA) gegenüberliegend zu Abbau 1a, 1a-Sohle, Nr. 11 westlich der Abbaue im Steinsalz). Zur Einordnung der Lage der Bereiche können die Anlagen 2.10 - 2.19 dienen. Bereich 4 erfasst das Gebiet um die Risse am Weststoß des Abbaus 2n. Er liegt entlang der Abbaukonturen, so dass seine Seiten nicht wie im Fall der anderen Bereiche parallel zur Ost- bzw. Nordrichtung sind. Daher sind in diesem Fall in Tabelle 2.2 die Summen und Differenzen der begrenzenden Koordinaten angegeben (Geradengleichungen).

In den Anlagen 2.25 - 2.36 findet man die Nummern der Ortungsbereiche, ihre räumlichen Grenzen und die enthaltene Anzahl der Ereignisse. Die mittlere Magnitude ist für zeitliche Variationen in einzelnen Bereichen interessant. Sie hängt von der Entfernung des Bereichs zum Netzwerk ab, da die Detektionsschwelle für schwache Ereignisse mit der Entfernung stark zunimmt (siehe unten). Die Magnitudenverteilungen werden in den Anlagen 2.25 – 2.36 in logarithmischer und in linearer Auftragung der Häufigkeit angegeben. Üblicherweise wird in der Seismologie und der Schallemissionsanalyse die logarithmische Auftragung ausgewertet.

Die Magnitudenverteilungen zeigen jeweils eine untere Grenze, die der Detektionsschwelle für schwache Ereignisse im Ortungsbereich entspricht. Bis dorthin ist die Verteilung flach. Die Detektionsschwelle liegt für die abbaunahen bzw. netzwerknahe Bereiche bei 25 dB. Oberhalb dieser Schwelle erfolgt ein Abfall der Verteilung, der in der logarithmischen Auftragung der Häufigkeit (linkes Diagramm) annähernd lineare Form besitzt. Der lineare Verlauf ist aus der Seismologie und der Schallemissionsanalyse bekannt. Der b-Wert (negative

Steigung des Abfalls der Verteilung bei logarithmischer Auftragung) wird als pauschaler Kennwert der Verteilung unter Annahme einer Geraden ermittelt, z. B. im Steinsalz zwischen den Werten für 40 und 60 dB Magnitude (siehe gestrichelte Gerade in den Anlagen 2.25 - 2.36). Nach dem Abfall in Form einer Geraden findet man in den Verteilungen bei höheren Magnituden einen weiteren Knick, der einer Sättigungsgrenze für die Magnituden entspricht. Hier kommt es zu einer Übersteuerung des Messsystems aus Gründen der dynamischen Beschränktheit, wodurch höhere Amplituden abgeschnitten werden. Dieser Effekt ist ebenso wie die Detektion schwacher Ereignisse entfernungsabhängig. Weiter weg vom Netzwerk ist man in der Lage, stärkere Magnituden nachzuweisen, da die Signalamplituden entlang der Laufwege so stark gedämpft werden, dass sie im Nutzbereich liegen. Abweichungen von der einfachen Form der Verteilung mit nur einem (annähernd) linearen Abschnitt zwischen Detektionsschwelle und Sättigungsgrenze ergeben sich für Bereiche, in denen verschiedene Gesteine vorkommen (z. B. in den Anlagen 2.25 und 2.33, siehe unten).

Tabelle 2.2 enthält die bestimmten b-Werte der Magnitudenverteilungen. Der b-Wert hat die Dimension 1/dB, wird im Text aber ohne Dimension angegeben. Weil in der Literatur die Magnituden und Amplituden manchmal nicht in dB angegeben werden, wird der b-Wert in Klammern auch ohne den Vorfaktor 1/20 in der Definition für Dezibel angegeben. Ein weiterer Kennwert ist die maximal auftretende Magnitude M_{\max} der Verteilung für den betrachteten Bereich. Sie wird durch Extrapolation des linearen Abfalls der Verteilung zu großen Magnituden hin bestimmt (kumulative Häufigkeit $N = 1$), wo aufgrund des oben beschriebenen Sättigungseffektes oft keine Bestimmung der Magnituden möglich ist. In Klammern sind jeweils die tatsächlich bestimmten maximalen Werte angegeben.

Für die Bereiche, die völlig im Steinsalz (z3) liegen - sowohl in Abbaunähe (Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6) als auch abbaufern (Nr. 11) - finden sich höhere b-Werte zwischen 0,08 und 0,11 als für die anderen Bereiche. Die maximal auftretenden Magnituden liegen sehr einheitlich um 70 bis 80 dB. Im Bereich 10, in dem entsprechend dem geologischen Lagerstättenmodell nur Hauptanhydrit (z3HA) vorkommt, erhält man den niedrigsten b-Wert um 0,02. Die maximale Magnitude erreicht dagegen mit 167 dB den höchsten Wert.

Im Vergleich der Magnitudenverteilungen für Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) sieht man demnach deutliche Unterschiede. Im Steinsalz (z3) findet man eine viel schmalere Verteilung der Magnituden als im Hauptanhydrit (z3HA). Es gibt im Steinsalz viel mehr schwache Ereignisse im Verhältnis zu den starken Ereignissen als im Anhydrit (Aussage des b-Wertes). Die mit der Rissbildung verbundene seismische Abstrahlung bzw. die mögliche seismische Energiefreisetzung ist im Steinsalz deutlich geringer als im Anhydrit (Aussage der maximal möglichen Magnitude).

In den Bereichen mit unterschiedlicher Petrographie (7, 8 und 9) kommt es zu einer Überlagerung der Magnitudenverteilungen des Steinsalzes (z3) und des Hauptanhydrits (z3HA) sowie auch des Grauen Salztons (z3GT) und des Kalilagers (z2SF). Letztere sind allerdings volumenmäßig geringer vertreten. Die Kennwerte liegen entsprechend zwischen den angesprochenen Werten im Steinsalz und im Anhydrit. Die Magnitudenverteilung des weit vom Netzwerk entfernten Bereichs 9, der die oben angesprochenen Ereignisse westlich und südlich im Bereich des Hauptquerschlags enthält, weist die niedrigsten Magnituden bei 50 dB (Detektionsschwelle) und die höchsten gemessenen Magnituden bei etwa 100 dB (Sättigungsgrenze) auf. Die mittlere Magnitude liegt bei 64 dB, wo die Verteilungen im Steinsalz praktisch keine Ereignisse mehr zeigen. Dies erklärt die Beobachtung im Fall der Magnitudenverteilung des Gesamtbereichs in Anlage 2.25, dass zwei lineare Abschnitte auftreten (Abschnitt I mit 0,04 und Abschnitt II mit 0,07 für den b-Wert). Der Knick im Abfall bei etwa 65 dB wird von den Ereignissen aus Bereich 9 bewirkt.

Die hier diskutierten Kennwerte der Magnitudenverteilungen wie die b-Werte (Steigungen der Verteilungen), die maximalen Magnituden M_{\max} und die mittleren Magnituden weisen im gesamten Messzeitraum von 1997 bis 2000 nur geringe Variationen auf, die sich überwiegend innerhalb von $\pm 10\%$ bewegen und auch keine klaren Trends erkennen lassen.

2.4.3 Bewertung

Allgemeine Charakterisierung der Aktivität

Die Beobachtungen der mikroakustischen Aktivität zeigen, dass trotz der bisher im Zentralteil gemessenen relativ geringen Verformungsraten und des Fließvermögens des Stein-

salzes Deformationen im Gebirge stattfinden, die mit Mikrorissbildung einhergehen. Der Großteil der Aktivität zeigt eine räumlich und zeitlich gleichmäßige Verteilung, wie man es z. B. im Vergleich von Darstellungen für jeweils einen Monat erkennt. Daraus kann man schließen, dass die Mikrorissbildung im Gebirge relativ gleichmäßig verläuft. Langfristige, jahreszeitliche Schwankungen der Ereignisraten sind festzustellen. Für diese Schwankungen ist der Einfluss von Feuchte auf die mechanischen Eigenschaften und die Mikrorissbildung in aufgelockerten Bereichen eine mögliche Erklärung.

In kleineren räumlichen Bereichen beobachtet man dagegen kurzfristige zeitliche Variationen der mikroakustischen Aktivität. Räumliche und zeitliche Konzentrationen der Aktivität werden hier als Cluster bezeichnet. Oft fallen die Ereignisraten in den Clustern nach einem Anstieg innerhalb von Tagen oder Wochen wieder deutlich ab. Dies wird als ein Vorgang gedeutet, bei dem sich die Mikrorisse aufgrund einer erreichten hohen Rissdichte zu größeren (makroskopischen) Rissen verbinden und/oder vorhandene größere Risse wachsen. Cluster werden selten beobachtet. Bisher gibt es sowohl von eigenen Untersuchungen her als auch in der Literatur wenig Erfahrungen über den Zusammenhang von Clustern der Mikrorissbildung und Fragen der Standsicherheit und Integrität. Hydraulische Messungen der BGR im Bereich des Clusters R1 an der Grenze von Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) belegen eine lokal hohe Durchlässigkeit entlang einer Trennfläche zwischen zwei parallelen Bohrungen mit 3 m Abstand. Die Trennfläche ist hydraulisch nicht an das umgebende Gebirge angeschlossen, also insgesamt als abgeschlossen anzusehen.

Für das Cluster R1 konnte mit Bohrungen nachgewiesen werden, dass die Aktivität an der Grenze von Steinsalz und Anhydrit stattfindet. Weitere Cluster liegen nach dem geologischen Lagerstättenmodell in der Nähe der Grenze von Steinsalz (z3) und Hauptanhydrit (z3HA) westlich der Abbaureihen 1a und 2n oder im Anhydrit. Cluster mit Durchmessern um 20 - 25 m befinden sich nahe der Firste des Abbaus 1a auf der 2. Sohle.

Konturnahe Aktivität

Der größte Anteil der georteten mikroakustischen Ereignisse stammt aus konturnahen Bereichen in Pfeilern, Schweben und Firsten. Dies belegt eine Auflockerung des Gebirges, die mit Erhöhungen der Durchlässigkeit und mit Brucherscheinungen verbunden sein kann, z. B. mit Abschalungen an den Konturen.

Der Bereich der etwa horizontal verlaufenden Risse im nördlichen Teil des Weststoßes des Abbaues 2n auf der 1. Sohle zeigt keine starke Häufung von Ereignissen. Es lässt sich eine linienförmige Aktivität im Gebirge etwa 10 m vor den Rissen am Stoß feststellen. Fissurometermessungen weisen auf geringe Öffnungsbewegungen an den Rissen im Stoß hin (SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Die Befunde lassen darauf schließen, dass ein geringes Risswachstum im Gebirge erfolgt. Die stärkste Häufung von Ereignissen ergibt sich am Nordstoß des Abbaues 2n der 1. Sohle östlich der Nordstrecke. In diesem Bereich laufen die Risse am Stoß aus. Diese starke Aktivität dehnt sich bis in den Bereich der Nordstrecke kurz vor der Schrapperkammer aus. Nach dem geologischen Lagerstättenmodell befindet sich der Hauptanhydrit (z3HA) über der Nordstrecke der Schrapperkammer nur wenige Meter über der Firste und die Auflockerung reicht dort in den Anhydrit hinein. Die Rissbildung wird auch mit den Fissurometer- und Konvergenzmessungen in diesem Bereich nachgewiesen. Die Fissurometermessungen in der Nordstrecke belegen geringe Rissöffnungsraten und die benachbarte Konvergenzstation in der Strecke zeigt Divergenz in der vertikalen Messstrecke (SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Die Schwebelücke zwischen dem Abbau 2n auf der 1. Sohle und dem darunterliegenden Abbau 2n auf der 2a-Sohle ist in diesem Bereich nur 4 m mächtig. Zu bemerken ist weiterhin die Rissbildung im Abbau 2n auf der 1. Sohle über dem Eingang zur Nordstrecke.

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

Unterhalb des Firstniveaus beobachtet man bereichsweise mikroakustische Aktivität an den Konturen des Abbaus 1a und am Aufhauen zum Abbau. Direkt oberhalb bis ca. 10 m über der Firste des Abbaues 1a sind keine Ortungen möglich, da dort aus Sicherheitsgründen keine Bohrungen gestößt werden konnten. Im Bereich darüber, in dem wieder Ortungen möglich sind, finden sich wenige Ereignisse. Sie liegen im Hauptanhydrit (z3HA). Auch die Ereignisraten an den drei Aufnehmern im oberen Bereich des Abbaus 1a lassen nur auf eine geringe mikroakustische Aktivität schließen.

Aktivität westlich und oberhalb der Abbaureihen 2n und 1a

Der Vergleich der Ortungen akustischer Emission mit dem geologischen Lagerstättenmodell zeigt, dass Ereignisse auch im Hauptanhydrit (z3HA) westlich der Abbaue auftreten. Einige Strukturen sind dort zu erkennen, wie z. B. ein im Vertikalschnitt steil stehendes

Band von Ereignissen westlich oberhalb der 1. Sohle vor dem Abbau 1a der 1a-Sohle (Ortungsbereich 10). Stärker betroffen ist auch die Scholle direkt westlich der Abbaureihen 2n und 1a, die im Firstniveau der 2. Sohle nur etwa 20 m von den Abbauen entfernt liegt. Die Ereignisse konzentrieren sich an den Stellen, wo Hauptanhydritschollen aneinanderstoßen. Die Aktivität im Hauptanhydrit nimmt vom Niveau des Abbaus 1a der 1a-Sohle nach oben hin stark ab.

Die Untersuchung der Magnituden der Ereignisse im Hauptanhydrit (z3HA) zeigt, dass dort im Vergleich mit den Ergebnissen für das Steinsalz höhere Werte auftreten. Da der kompakte Hauptanhydrit eine weit höhere Festigkeit als das Steinsalz aufweist, sind zum Entstehen von Rissen im kompakten Anhydrit höhere Scher- oder Zugbeanspruchungen nötig, und bei der Rissbildung findet eine entsprechend höhere seismische Energiefreisetzung statt. So könnten die hohen Magnituden im Anhydrit erklärt werden. Eine andere Erklärung ist das Aufreißen von verheilten Klüften durch bergbauliche Einflüsse. Solche in der geologischen Vergangenheit angelegten Klüfte oder Kluftzonen treten im Hauptanhydrit (z3HA) auf und sind z. B. auf der 1. Sohle in der Nordstrecke aufgeschlossen (Lage der geschlossenen, verheilten Kluft ca. 100 m nördlich Schrapperkammer, Kluft erfasst gesamten Streckenquerschnitt, Kluftweite ca. 1 m, Kluftfüllung Carnallit, Steinsalz und zerbrochener Anhydrit). Da der kompakte Anhydrit sich nur wenig verformt, findet eine Konzentration der Verformungen auf die mechanisch weicheren und schwächeren Klüfte statt. Vom geologischen und auch geomechanischen Standpunkt aus erscheint die Rissbildung in Klüften oder Kluftzonen im Anhydrit als bereits geschwächten Zonen plausibler als die Annahme von Rissbildung im kompakten Anhydrit.

Aktivität weit südlich und südwestlich des mikroakustischen Netzwerks

In diesem Bereich - etwa an den Hauptquerschlägen - finden sich deutlich mehr Ereignisse mit höheren Magnituden als im Bereich des Netzwerks ($M > 60$ dB). Dies lässt darauf schließen, dass im mittleren Teil des Zentralteils höhere Beanspruchungen auftreten als an seinem nördlichen Abschluss, wo sich das Netzwerk befindet. Diese Vermutung gilt für die untersuchte westliche Flanke des Zentralteils.

Auswertung der Magnitudenverteilungen

In Gebirgsvolumina, die nur Steinsalz enthalten, findet man schmale Verteilungen der Magnituden mit starker Steigung oder hohem b-Wert und niedriger maximaler Magnitude der Ereignisse. Dies ist qualitativ mit der Vorstellung der Auflockerung im Steinsalz vereinbar, nämlich der Mikrorissbildung durch einzelne Salzkörner oder entlang deren Korngrenzen, also Prozessen in einem nach oben durch die Dimension der Korngröße beschränkten Bereich von Rissgrößen. Dagegen findet man im Hauptanhydrit (z3HA) deutlich niedrigere Steigungen oder b-Werte und höhere maximale Magnituden. Wie oben diskutiert, könnte die Aktivierung von verheilten Klüften die Ursache der Rissbildung im Hauptanhydrit sein. Dabei wären - den Beobachtungen der Kluftlängen untertage entsprechend - auch größere als die für das Steinsalz angenommenen Mikrorisslängen möglich. Solche Ereignisse wären mit einer höheren seismischen Energiefreisetzung bzw. mit einer höheren Magnitude verbunden.

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

2.5.1 Untersuchungsbereich und Betrieb der Anlage

Anlage 2.37 zeigt die Anordnung der Aufnehmer in einem Sohlriss. Alle Aufnehmer wurden in Bohrungen von der Südstrecke aus installiert, da die Hohlräume darunter und darüber nicht zugänglich waren. Die längeren Bohrungen von 30 m Länge wurden so weit wie möglich an den Hohlräumen vorbei nach unten und nach oben gestoßen, um eine gute Ortungsgenauigkeit in der Teufe zu erhalten. Mit dieser Anordnung kann der Bereich der Schweben zwischen den Abbauen der 4a-Sohle, 4. Sohle und 5a-Sohle erfasst werden. Schweben zwischen anderen Sohlenniveaus können nicht erfasst werden, da die Wellenausbreitung zu den Aufnehmern hin von den Abbauen verhindert wird. Ereignisse tiefer im Gebirge, deren abgestrahlte seismische Wellen zu den Aufnehmern nicht durch Abbaue in der Ausbreitung behindert werden, können erfasst werden, insbesondere die Bereiche tiefer im Gebirge zwischen der Sohle der 4a-Sohle und der Firste der 5a-Sohle. Im Bereich des Rolllochsystems 9 sind auch Ortungen weiter oberhalb und weiter unterhalb möglich.

Die Anordnung der Grubenbaue ist den Angaben in Anlage 2.37 im Sohlriss, in Anlage 2.38 im Seigerriss II parallel zur Südstrecke - hier seitenverkehrt zum Risswerk - sowie den Anlagen 2.44 und 2.46 im Seigerriss \perp quer zur Südstrecke zu entnehmen (in letzteren jeweils Abbildung c: Anlage 2.44 im Bereich Abbau 9n und Abbau 2 (Schnitt S1), Anlage 2.46 im Bereich Abbau 9s und Abbau 3, Schnitt S3). Die Südstrecke, 4. Sohle, - im Sohlriss in Anlage 2.37 durchgezogen dargestellt (Abkürzung SS) - liegt zwischen Abbau 9n, 4a-Sohle, und Abbau 2, 5a-Sohle, sowie zwischen Abbau 9s, 4a-Sohle, und Abbau 3, 5a-Sohle. Von der Südstrecke gibt es einen heute abgemauerten Zugang zur 4a-Sohle über das Rolllochsystem 9, das zwischen den Abbauen 9n und 9s liegt (siehe auch Anlage 2.38). Die tatsächliche Sohlenteufe der Abbaue 9n und 9s der 4a-Sohle variiert im Untersuchungsbe- reich sowohl entlang der Länge als auch der Breite der Abbaue, da diese nachträglich vom Niveau der 4a-Sohle bei -346 m NN bis ins Niveau der 4. Sohle bei -372 m NN gestrosst wurden. In den beiden Querschnitten in den Anlagen 2.44 und 2.46 ist die Variation des Sohlenniveaus vom Rollloch bis zum Schnitt jeweils durch 2 Linien angegeben. In Anlage 2.38 erkennt man im Längsschnitt, dass im Sohlenniveau von Abbau 9s etwa in der Abbaumitte ein Sprung von -355 m NN fast bis zur 4. Sohle auftritt (siehe auch Konturen im Sohlriss in Anlage 2.37: im südlichen Teil des Abbaus 9s wird diese Hochlage mit einer anderen Signatur gekennzeichnet als im nördlichen Teil).

Die Abbaue liegen im Steinsalz der Leine-Folge (z3LS – z3AM), das in enge isoklinale Falten gelegt ist. Die Schichten fallen steil nach Westen ein. Östlich der Abbaue befindet sich Hauptanhydrit (z3HA), der aber nicht von den Hohlräumen erschlossen wird (siehe Anlage 2.55 mit Geologie im Niveau der Südstrecke). Westlich der Abbaue befindet sich das Kalilager (z2SF) mit geringer Mächtigkeit und anschließend das Hauptsalz (z2HS).

Die Mikroakustikanlage wurde im Juni 1997 installiert und nach einem Testbetrieb ab September 1997 in Betrieb genommen. Die Messanlage ist im wesentlichen baugleich mit der 24-Kanal-Anlage auf der 1. Sohle. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse vom Beginn der Messungen bis zum Ende des Jahres 2000 zusammen.

Die Messzeiten schließen Arbeitszeiten der Grube nicht ein. In der Regel wird daher in der Frühschicht von 6:00 h bis 14:00 h an Werktagen nicht gemessen. Aufgrund von techni- schen Ausfällen und aufgrund von zeitweise intensiven bergmännischen Arbeiten wie der

Durchführung von Bohrprogrammen konnte die Anlage in den angestrebten Messzeiten nicht immer eingesetzt werden. Tabelle 2.3 enthält als Beispiel in Spalte 1 die Betriebszeiten der Anlage im Zeitraum von 4/1998 bis 3/1999. In diesem Zeitraum kam es nur zu relativ wenigen Ausfällen. Im Jahr 2000 mussten dagegen wichtige Teile der Anlage nach übertage gebracht und im Labor repariert werden, was mehrere Ausfälle in der Größenordnung eines Monats bedeutete. Die Dauer der Einsatzmöglichkeit betrug in 1998 87% der angestrebten Messdauer, in 1999 93% und in 2000 68%.

2.5.2 Ergebnisse

Ereignisraten

Wie bei der Anlage auf der 1. Sohle im Zentralteil werden Überschreitungen eines Schwell- oder Triggerwertes der Signalspannung von 0,1 V an den einzelnen Aufnehmern registriert und als Ereignisraten abgespeichert. Im Vergleich mit den Ergebnissen der Anlage auf der 1. Sohle liegen die mittleren Ereignisraten an einzelnen Aufnehmern deutlich höher (siehe Abschnitt 2.4.2). Mittlere Werte für einzelne Aufnehmer schwanken überwiegend zwischen etwa 5 1/h und 600 1/h. Entscheidend für die Höhe der Ereignisraten der einzelnen Aufnehmer ist die Nähe zu Zentren der mikroakustischen Aktivität. Ein Kennwert für das Netzwerk unter den eingestellten Betriebsbedingungen ist die Anzahl der Ortungen in der Zeiteinheit. Anlage 2.39 zeigt die Ortungsraten pro Stunde gemittelt über jeweils einen Monat in den Jahren 1998 bis 2000. Hier werden die längerfristigen Schwankungen der Ortungsraten erkennbar. Es wurden nur Monate mit mindestens 20% Einsatzmöglichkeit berücksichtigt (110 h von im Schnitt 550 h angestrebter Messdauer pro Monat).

Nach Anlage 2.39 ergaben sich in 1998 Ortungsraten zwischen 70 1/h und 90 1/h, die dann bis auf eine Ausnahme ab Anfang 1999 auf 50 1/h bis 70 1/h zurückgingen. Gegen Ende 2000 stiegen die Ortungsraten wieder an. Eine jahreszeitliche Variation mit einem Maximum im Sommer wie bei der Anlage im Zentralteil ist hier nur für das Jahr 1998 festzustellen. Für den Bereich der Südstrecke liegen Wetterdaten vor, die wie im Zentralteil eine jahreszeitliche Variation der relativen Feuchte in den Wettern belegen. Allerdings variierte neben der relativen Feuchte auch die Wettermenge erheblich. Der starke Abfall der Or-

tungsraten in der ersten Jahreshälfte 1999 korreliert mit einem Abfall der relativen Feuchte in den Wettern und einem gleichzeitigen starken Rückgang der Wettermenge. Danach stieg die relative Feuchte im Sommer wieder an, die Ortungsrate erreichte aber nicht mehr das Niveau des vergangenen Sommers des Jahres 1998. Im Vergleich mit der Anlage im Zentralteil mit Ortungsraten zwischen 10 1/h und 20 1/h liegen die Werte im Südfeld mit 50 1/h bis 90 1/h deutlich höher. Hier deutet sich eine höhere geomechanische Beanspruchung des Gebirges im Bereich der Messanlage im Südfeld als im Bereich der Messanlage im Zentralteil an.

Betrachtet man die Ortungsraten pro Stunde, die über einen Tag gemittelt wurden, findet man ca. $\pm 10\%$ Schwankung von Tag zu Tag. Ausnahmen ergeben sich bei plötzlichen Wetteränderungen, z. B. bei Sommergewittern, wenn große Mengen an Feuchte nach untertage getragen werden. Insgesamt wurden von 1997 bis Ende 2000 rund 1 410 000 gültige Ortungen bestimmt.

Wie man Tabelle 2.3 entnehmen kann, lag die Anzahl der Ortungen pro Monat im Zeitraum von 4/1998 bis 3/1999 etwa zwischen 40 000 und 50 000. Im Juli 1998 wurde die Anlage zu Testzwecken mit einer höheren Empfindlichkeit betrieben, so dass deutlich höhere Ortungsraten auftraten.

Ortungen im gesamten Untersuchungsbereich

Als Beispiele für die erhaltenen Ortungen werden die Ergebnisse des Zeitraums 4/1998 bis 3/1999 dargestellt (Anlagen 2.40 – 2.64). Nur wenn es in anderen Zeiträumen zu abweichenden Beobachtungen kam, werden diese genannt bzw. abgebildet.

Wie bei der Anlage auf der 1. Sohle werden die Ortungen im gesamten Untersuchungsbereich in Sohlen- und Seigerrissen dargestellt, um eine Übersicht über die mikroakustische Aktivität zu ermöglichen. Die Anlagen 2.40 - 2.47 mit größeren räumlichen Ausschnitten geben einen Übersicht über die akustische Aktivität im Gebirge. Anhand der Anlagen 2.48 – 2.64 mit geringeren räumlichen Ausschnitten, insbesondere schmalere Teufenbereichen, ist eine genaue Zuordnung der Aktivität zu Hohlraumkonturen und geologischen Grenzen möglich.

Die Verteilung der Ortungen eines Monats sind in den folgenden Anlagen 2.40 – 2.42 für unterschiedliche Magnitudenschwellen in jeweils 3 aufeinander senkrecht stehenden Ebenen dargestellt. Der Sohlriss zeigt dabei eine Horizontalprojektion mit Ereignissen aus dem gesamten Teufenbereich (Koordinaten x' gegen y' in m). Der Seigerriss II ist eine Vertikalprojektion als Ansicht von der Seite in x' -Richtung (Koordinate Teufe z in m NN gegen y'), der Seigerriss I eine Vertikalprojektion als Ansicht von der Seite in y' -Richtung (Koordinate z gegen y'). Der Seigerriss II ist ein Längsschnitt durch die Hohlraumanordnung, der Seigerriss I ein Querschnitt. Die Zahlen an den Achsen bezeichnen die jeweiligen Anfangs- und Endkoordinaten, der Gitterabstand beträgt 20 m. Das Koordinatensystem ist um einen Winkel von 18° um eine vertikale Achse nach Osten gedreht worden (Verlauf der Südstrecke gegen Nordrichtung), damit die Ereignisse lagerichtig zu den Abbauen in die Vertikalschnitte projiziert werden. Die Signaturen der Hohlraumkonturen der 5a-Sohle sind neben dem Sohlriss angegeben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf die Konturen der anderen Sohlen verzichtet. In den Seigerrissen II und I wurde wegen der Variation der Hohlraumgeometrie entlang der Schnitte auf die Angabe der Konturen verzichtet, dafür aber Sohl- und Firstniveaus der Abbaue angegeben (S - Sohle, F - Firste). Die Lage der Aufnehmer ist zur Orientierung mit Kreuzen gekennzeichnet.

Die Anlagen 2.40 -2.42 zeigen Ergebnisse für den Monat Juli 1998, in dem mit einer höheren Empfindlichkeit registriert wurde. Anlage 2.40 enthält unabhängig von der Magnitude alle Ortungen des Monats (Magnitude $M > 0$ dB mit 71 137 Ereignissen). Dem Sohlriss ist zu entnehmen, dass die Verteilung der Aktivität mit den Konturen der 5a-Sohle korreliert und nur wenige Ereignisse außerhalb der Hohlraumanordnung auftreten. Der Großteil der Ereignisse wird an den einander zugewandten Seiten der Abbaue 2 und 3 bzw. 9n und 9s mit dem Rolllochsystem 9 in der Mitte beobachtet. Die Seigerisse II und I zeigen die Konzentration auf einen etwa 60 m breiten Teufenbereich mit der 4. Sohle im Zentrum. Im Seigerriss II zeichnen sich die Sohl- und Stoßbereiche der Abbaue 9 der 4a-Sohle und die Firstbereiche der Abbaue 2 und 3 der 5a-Sohle ab. Im Rolllochbereich beobachtet man Ereignisse an Stößen zwischen der Firste der 4a-Sohle und der 5- Sohle. Im Sohlbereich des Abbaus 3 verläuft eine Verbindungsstrecke zum Abbau 2, in deren Firste viele Ereignisse liegen. Der Südstoß des Abbaus 2, dessen Sohle tiefer liegt, zeichnet sich ebenfalls ab. Im

Seigerriss \perp erkennt man einige Ereignisse aus dem Bereich der 5. Sohle unter den Hohlräumen.

In Anlage 2.41 sind die Ereignisse mit Magnituden $M > 40$ dB dargestellt (25 031 Ereignisse). Bei dieser Beschränkung bilden sich Stöße und Firsten deutlicher ab, insbesondere die Teufenlage der Firsten der Abbaue 2 und 3 der 5a-Sohle im Seigerriss II. Hier fällt auch der Sprung im Sohlniveau des Abbaus 9s über dem südlichen Teil des Abbaus 3 auf (links im Seigerriss II). Die Aktivität im Bereich des Sohlniveaus des Abbaus 9s erstreckt sich bis in eine Teufe von -355 m NN.

Anlage 2.42 enthält nur Ereignisse mit $M > 50$ dB (4 630 Ereignisse). Hier findet man in Bezug auf die Dichte der Ereignisse eine andere Verteilung als in Anlage 2.40. Die starken Ereignisse liegen gehäuft in der Schwebelzone zwischen Südstrecke und 5a-Sohle und sind relativ gleichmäßig über die Abbaulängen verteilt. Es ist anzumerken, dass schwache Ereignisse unter 40 dB nur innerhalb des Netzwerkbereichs registriert werden können. Besonders im Seigeriss \perp fällt eine diffuse Ansammlung von Ereignissen westlich bzw. links von den Hohlräumen im Teufenbereich von -440 m NN bis -380 m NN auf. Sie korreliert mit dem Vorkommen von z3AM in einem Muldenkern. Östlich der Hohlräume bzw. rechts davon finden sich Ereignisse, die nach dem geologischen Lagerstättenmodell teilweise im Hauptanhydrit (z3HA) liegen.

Die Anlage 2.43 zeigt die Ortungen im Zeitraum 1/1999 bis 12/2000 in ähnlicher Darstellung wie die vorangegangenen Anlagen. Der räumliche Ausschnitt ist hier auf den Abbau 9n der 4a-Sohle beschränkt, er liegt nördlich des Rollochsystems 9 und umfasst nur den Teufenbereich oberhalb der 4. Sohle. Hier tritt westlich vor dem Abbau 9n der 4a-Sohle Aktivität auf, die im Längsschnitt in Teilabbildung b) am besten zu erkennen ist. Sie hat die Form von mehreren Bändern oder Schlieren, die sich vor dem Abbau entlang ziehen. Die Aktivität lässt sich von seinem Sohlniveau direkt oberhalb der 4. Sohle bei etwa -370 m NN bis zu seinem Firstniveau bei etwa -340 m NN verfolgen. Sie war schon in den früheren Messperioden vor dem Abbau 9n der 4a-Sohle festzustellen (siehe Anlagen 2.48 – 2.51), prägte sich aber im Jahr 2000 deutlicher aus. Dabei war in wenigen Fällen eine schwache Tendenz der Clusterung von Ereignissen erkennbar. Die Anzahl der einzelnen Ereignisse in Clustern war wesentlich geringer als bei den prägnanten Clustern im Zentral-

teil. Die hier beschriebene Aktivität steht mit Auflockerungsvorgängen im Weststoß des Abbaus 9n der 4a-Sohle in Zusammenhang.

Die Anlagen 2.44 - 2.47 zeigen in Sohl- und Seigerrissen jeweils 20 m breite Ausschnitte des Untersuchungsbereichs in y' - bzw. in Längsrichtung im Bereich der Schnitte S1 und S3 quer zu den Hohlräumen für den Monat Juli 1998. Dies sind die Schnitte für die geometrischen Modellberechnungen, in denen auch Extensometer in der Schwebelücke zwischen 4. und 5a-Sohle installiert wurden. Die Schnitte S1 und S3 mit den Konturen der Abbaue 9n bzw. 9s, 5a-Sohle, der Südstrecke (SS), 4. Sohle, und der Abbaue 2 bzw. 3 der 5a-Sohle sind jeweils in Abbildung c) dargestellt. Die Sohlen der Abbaue 9s und 9n sind jeweils durch 2 Linien gekennzeichnet, die die Variationsbreite des Niveaus im Ausschnitt angeben (nach DBE-Unterlagen). Die Ausschnitte in y' -Richtung sind so gewählt worden, dass die Geometrie im gesamten Ausschnitt in etwa durch den Schnitt repräsentiert wird. Dies wird für den Schnitt S3 weniger gut erfüllt, da die Südstrecke nicht genau in der Achse des Abbaus 3 verläuft. Dieser Umstand ist bei der Zuordnung von Ereignissen zu den Konturen zu berücksichtigen. Schnitt S1 verläuft am nördlichen Rand des gewählten Ausschnitts, Schnitt S3 südlich des Ausschnitts (zur Lage der Schnitte siehe Anlage 2.37). Der Ausschnitt für den Vergleich mit S3 wurde nicht weiter südlich gewählt, da unmittelbar südlich von S3 ein markanter Sprung im Sohlniveau des Abbaus 9s erfolgt, der durch den Schnitt nicht repräsentiert wird.

Anlage 2.44 enthält alle Ortungen im ausgewählten Ausschnitt um Schnitt S1 unabhängig von der Magnitude, Anlage 2.45 nur die Ereignisse mit Magnituden $M > 40$ dB. Die Aktivität in den Abbildungen c) beschränkt sich auf den Bereich oberhalb der Firste des Abbaus 2. Markante Ansammlungen finden sich jeweils direkt an den Abbauecken. Dazwischen wird eine Häufung von schwachen Ereignissen gefunden, die unterhalb der Firste des Abbaus 2 endet. Eine schlüssige Erklärung für die Lage dieser Ereignisse steht zur Zeit noch aus. Wahrscheinliche Gründe sind Abweichungen des Firstniveaus von den Angaben des Risswerks sowie stärkere Variationen des Firstniveaus, möglich sind aber auch Einschränkungen für genaue Ortungen wie z. B. Verminderungen der seismischen Geschwindigkeiten in einem stark aufgelockerten Bereich, wie es die Firste sein könnte.

Im Ausschnitt der Anlagen 2.44 - 2.45 liegen die Risse im Oststoß der Südstrecke über Abbau 2, die mit Fissurometern überwacht werden (siehe SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Wie man den beiden Anlagen entnehmen kann, findet man östlich bzw. rechts von der Südstrecke (SS) mikroakustische Aktivität, die sich hinüber zur Ecke des Abbaus 9n zieht.

Anlage 2.46 enthält die Ortungen im Ausschnitt um Schnitt S3. Auch hier beobachtet man Aktivität über der gesamten Firste des unteren Abbaus, aber markante Ansammlungen beschränken sich auf den Bereich unterhalb der Südstrecke (SS) und den Bereich direkt am Abbau darüber. Wie in Anlage 2.44 bei Abbau 2 (Schnitt S1) findet man auch hier Ereignisse, die unterhalb der Firste des Abbaus 3 auftreten. Dafür können dieselben Gründe wie oben im Schnitt S1 vermutet werden. Im Abbau 3 könnten jedoch tatsächlich Ereignisse auftreten, da der Abbau vollständig verfüllt wurde (ausgehärteter, zementartiger Versatz). In diesem Bereich treten einige stärkere Ereignisse mit $M > 40$ dB auf, wie man Anlage 2.47 entnehmen kann. Im dargestellten Ausschnitt befinden sich Risse am Weststoß der Südstrecke (SS), die mit Fissurometern überwacht werden (siehe SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Westlich bzw. links der Südstrecke findet sich nur relativ schwache mikroakustische Aktivität (siehe auch Anlage 2.54).

Die Anlagen 2.48 - 2.64 zeigen Horizontalschnitte bzw. Sohlrisse im Teufenbereich von -430 bis -334 m NN mit den Abbaukonturen aus dem Risswerk sowie den geologischen Grenzen für die Teufenbereiche, in denen geologische Karten vorliegen (BEHLAU, MINGERZAHN & BORNEMANN, 1997). Diese Darstellungen sind für eine detaillierte und lagerichtige Zuordnung der Ortungen zu den Abbauen und den geologischen Grenzen geeignet. Es handelt sich um die Ortungen im Zeitraum von 4/1998 bis 3/1999, die hier stellvertretend für die gesamte Messdauer stehen, ohne Einschränkung der Magnituden. Die Anzahl der Ortungen in den Teufenintervallen wird angegeben. Die Ortungen sind im Bereich von 10 m unterhalb bis 10 m oberhalb der Südstrecke (4. Sohle, -372 m NN, Abkürzung ‚SS‘) jeweils aus 2 m mächtigen Teufenintervallen in die Darstellungen hineinprojiziert worden. In bezüglich der Teufe weiter entfernt liegenden Bereichen von der Südstrecke sind die Intervalle größer gewählt worden. Man erkennt in den Anlagen, wie engräumig die Aktivität im stark durchbauten Untersuchungsbereich variiert. Zahlreiche Details bilden sich ab, z. B. kleine Pfeiler im Bereich des Rolllochsystems 9 und Rolllöcher von

1 - 2 m Durchmesser. Dies spricht für die hohe erzielte Ortungsgenauigkeit unter 1 m, bei der auch belastete Elemente kleinerer Dimension genau erfasst werden können.

Beginnend im oberen Teufenbereich wird in den Anlagen 2.48 - 2.51 überwiegend Aktivität im Rollochsystem 9 dargestellt sowie auch westlich vor den Abbauen 9n und 9s und im südlichen Bereich der Sohle des Abbaus 9s. Die Sohle liegt im südlichen Teil des Abbaus 9s etwa 20 m über dem Niveau des nördlichen Bereichs (siehe Anlage 2.49 mit der 'Abbruchkante' in der Mitte des Abbaus 9s). Das steil stehende dünne Kalilager bildet sich durch schwache Aktivität vor Abbau 9s ab (z. B. Anlage 2.50, vergleiche Geologie in Anlage 2.55 im Niveau der 4. Sohle, Schichten fallen steil nach Westen ein). Aufgrund der Abschattung durch die Abbaue kann potentielle Aktivität östlich der Abbaue nicht erfasst werden. In den folgenden Anlagen 2.52 - 2.55 differenziert sich das Bild sehr stark in Annäherung an die Südstrecke. Man erkennt bereichsweise Aktivität vor Abbauen, unter Abbauen und über Abbauen (vergleiche dazu die Angabe der Signaturen für die Konturen der verschiedenen Sohlen). Kleine Pfeiler im Rollochsystem zeichnen sich ab. Die Lage der 'Abbruchkante' im Abbau 9s korreliert deutlich mit einer Aktivitätshäufung (Anlagen 2.52 - 2.53). Entlang der Konturen der Abbaue 9n und 9s hat die Aktivität in den stärker belasteten Bereichen eine streifenförmige Erstreckung. Auch die Konturen der Firten der Abbaue der 5a-Sohle unter der Südstrecke zeichnen sich hier bereichsweise ab (Anlagen 2.52 - 2.55).

Die Anlagen 2.56 - 2.64 zeigen die Aktivität unter der Südstrecke. Wie auch schon in den vorhergehenden Anlagen zu sehen war, ist die Aktivität entlang der Abbaukonturen in Form von Streifen angeordnet, die horizontale Schnitte durch die annähernd keilförmigen Verteilungen darstellen (siehe Vertikalschnitte S1 und S3 in den Anlagen 2.44 - 2.47). Es zeichnen sich dabei deutlich die Firten der Abbaue der 5a-Sohle ab. Da die Aktivität die Konturen insbesondere der Firten und der einander zugewandten Stöße der Abbaue 2 und 3 abbildet, kann man aus dem Vergleich mit den Angaben des Risswerks schließen, dass die tatsächlichen Lagen der Kammerfirten und Kammersohlen teilweise einige Meter von den Angaben im Risswerk abweichen (Anlagen 2.57 - 2.63).

Über Abbau 3 erkennt man im nördlichen Teil eine starke Konzentration der Ereignisse unterhalb der Südstrecke. Dort hat die Schwebe zwischen den großen Abbauen 3 und 9s

eine Mächtigkeit von 8 m. Dagegen ist die Aktivität im südlichen Teil über Abbau 3 geringer und gleichmäßig über den Teufenbereich verteilt (Anlagen 2.54 - 2.60). Die Schwebelänge zwischen den Abbauen ist im südlichen Teil von Abbau 3 gut 20 m mächtiger als im nördlichen Teil. Diese Verteilung korreliert mit der Beobachtung der starken Sohlenaufwölbung im nördlichen Teil der Südstrecke über Abbau 3 und den höchsten beobachteten Konvergenzgeschwindigkeiten in der Südstrecke (siehe SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001).

Ein Reihe weiterer Details sind in der Aktivitätsverteilung unterhalb der Südstrecke festzustellen. Das Kalilager bildet sich über der Firste des Abbaus 3 durch schwache Aktivität ab, die sich mit dem Einfallen der Schichten nach Westen verlagert (Anlagen 2.56 - 2.59). Ein Rollloch zwischen der Südstrecke und dem nördlichen Bereich der Firste des Abbaus 3 zeichnet sich deutlich ab (Anlagen 2.56 - 2.59, siehe auch unten), ebenso wie ein Rollloch im mittleren Teil des Abbaus (Anlagen 2.57 - 2.59). Weitere Rolllöcher bilden sich zwischen der 5a- und der 5. Sohle ab (Anlagen 2.62 - 2.63).

Im Bereich des Rolllochsystems 9 bildet sich eine bogenförmige Struktur ab, die bis 1999 keinem Hohlraum im Risswerk und keiner geologischen Struktur zuzuordnen war (Anlagen 2.56 - 2.59, siehe unten).

Etwa 40 m westlich vor den Abbauen 2 und 3 findet sich eine markante Ansammlung von Ereignissen in den Anlagen 2.62 - 2.64 unterhalb einer Teufe von etwa -386 m NN. Sie sind Anhydritmittelschichten (z3AM) zuzuordnen, die dort in einem Muldenkern vorkommen (siehe Geologie im Niveau der 5. Sohle in Anlage 2.64).

Die Beobachtung von Ereignissen innerhalb der Abbaue 2 und 3 - entsprechend deren Lage und Ausdehnung im Risswerk- sind bereits oben in Zusammenhang mit den Vertikalschnitten S1 und S3 in den Anlagen 2.44 - 2.47 diskutiert worden.

Ortungen im Bereich des Rolllochsystems 9 (Zentrum des Netzwerks)

Die Anlagen 2.65 - 2.69 zeigen die Aktivität um die Südstrecke herum in einem kleineren räumlichen Ausschnitt als in den vorhergehenden Anlagen, um Besonderheiten darzustellen und auf Korrelationen mit der Rissbildung in der Südstrecke sowie mit der Geologie

einzufragen. Die Konturen der Abbaue 2 und 3 der 5a-Sohle wurden hier entsprechend der Einschätzung aus der mikroakustischen Aktivität gegenüber den Angaben des Risswerks modifiziert.

Anlage 2.65 mit dem Teufenbereich -376 m NN bis -374 m NN und Anlage 2.66 mit dem Bereich -374 m NN bis -372 m NN zeigen deutlich die bogenförmige Anordnung von akustischer Emission unter dem Rollochsystem 9. Diese Aktivität wurde als Auflockerung in der Firste eines Hohlraums gedeutet, der nicht im Risswerk verzeichnet war. Entsprechend findet man in tieferliegenden Bereichen Ereignisse - hier nicht dargestellt -, die in der Sohle des vermuteten Hohlraums liegen. Um diese Deutung zu verifizieren, wurden 1999 die Bohrungen RB973 und RB974 mit Ansatzpunkten in der Südstrecke gestoßen (siehe Anlage 2.65). Sie fallen mit 30° bzw. 15° nach unten ein und haben eine Zielteufe von -376,7 m NN. Der Zielpunkt liegt in der Mitte des georteten Hohlraums und damit deutlich über dem mittleren Firstniveau der beiden Abbaue 2 und 3 der 5a-Sohle von ca. -380 m NN. Beide Bohrungen trafen den Hohlraum wie prognostiziert an. In der Bohrung RB973 sind Risse als Ursachen der mikroakustischen Aktivität und eine Schalenbildung direkt an der Hohlraumkontur in den letzten beiden Kernmärschen deutlich zu identifizieren. Befahrungen der Bohrungen RB973 und RB974 mit einem Endoskop wurden auf Videoband aufgezeichnet.

Der bogenförmige Hohlraum hat eine Höhe von ca. 1,50 m und verbindet die Abbaue 2 und 3. Über Abbau 3 mündet der Hohlraum in ein Rolloch (Anlage 2.65), das in den Abbau 3 hinunterführt. Der Zugang zum Hohlraum ist heute abgemauert und nicht mehr ersichtlich. Diese Aussagen stützen sich auch auf Erinnerungen einiger Bergleute aus den Zeiten der Einlagerung in der Südstrecke. Die Verbindung mit Abbau 2 könnte in dessen Firstniveau liegen, das dort ca. 2 m höher liegt als das mittlere Firstniveau der Abbaue.

Ein weiteres Detail ist die Abbildung eines Rollochs am nördlichen Ende des Abbaus 3 von der 4. Sohle in den Abbau hinunter (Anlagen 2.65 und 2.66). Dieses Rolloch hat Verbindung zum georteten und nachgewiesenen Hohlraum. Ferner findet sich schwache Aktivität am schmalen Kalilager westlich des Abbaus 3, die sich mit dem Einfallen von Osten nach Westen nach unten verlagert (Anlagen 2.66 und 2.67, siehe Geologie in Anlage 2.55).

Interessant ist weiterhin der Vergleich der Ortungen mit der Lage der ausgedehnten horizontalen Risse am Oststoß der Südstrecke über Abbau 2 und am Weststoß der Südstrecke über Abbau 3 (siehe SPIES, SCHNIER, GERARDI & BACKHAUS, 2001). Die Anlagen 2.66 - 2.68 zeigen starke Aktivität am Oststoß der Südstrecke im Bereich der Risse (siehe Lagen der Fissurometer in den Anlagen). Gegenüber liegt ähnlich starke Aktivität direkt am Abbau 9n vor (siehe auch Vertikalschnitt S1 in Anlage 2.44, die hier angesprochene Aktivität betrifft den östlichen oder rechten Teil des 'Keils' im oberen Bereich).

Im Bereich der Risse am Weststoß über Abbau 3 findet man Aktivität westlich der Südstrecke in das Gebirge hinein (Anlagen 2.66 - 2.68 mit den Lagen der Fissurometer an den Rissen). Verglichen mit der Aktivität an den Rissen im Oststoß ist sie gering.

Amplitudenanalyse und Magnitudenverteilungen

Tabelle 2.3 enthält Ergebnisse der Amplitudenanalyse jeweils für die einzelnen Monate des Zeitraums 4/1998 bis 3/1999 stellvertretend für die Ergebnisse der Messungen bis Ende 2000. Die Messzeiten sind in Spalte 1 in Klammern angegeben. Dann folgen die mittleren Abweichungen in dB für die 24 Aufnehmer in den einzelnen Monaten, die als Korrekturwerte für die Berechnung der Magnituden benutzt werden. Die untere Zeile enthält jeweils Mittelwerte für den gesamten Zeitraum. Es zeigen sich überwiegend konstante Werte für die einzelnen Aufnehmer, die die höhere oder niedrigere Empfindlichkeit (positive bzw. negative Werte) angeben als auch eine zeitliche Konstanz belegen, d.h. konstante Ankopplungsbedingungen und Ausbreitungsbedingungen der elastischen Wellen in der Nähe der Aufnehmer. Eine deutliche Abnahme der Empfindlichkeit ist bei den Aufnehmern 11, 12 und 16 zu verzeichnen. Als mögliche Gründe kommen eine sich verschlechternde Ankopplung an das Gebirge in Frage oder die Ausbildung von Rissen (Mikro- und eventuell auch Makrorissbildung), die die Wellenausbreitung zu den Aufnehmern dämpfen. Die Empfindlichkeit der Aufnehmer 11 und 12 konnte durch Lösen und erneutes Installieren im November 1999 verbessert werden. Bei Aufnehmer 16 konnte keine Verbesserung der Empfindlichkeit erzielt werden.

Weiter sind in Tab. 2.3 die Gesamtanzahl der georteten Ereignisse in den einzelnen Monaten des Zeitraums 4/1998 – 3/1999 angegeben, der mittlere Wert der Steigung der Ausgleichsgeraden durch die Amplituden der Aufnehmer in dB/10m (vergleiche Abschnitt 2.2)

und die mittlere Magnitude in dB im jeweiligen Monat. Diese Werte zeigen nur geringe Variationen. Im Vergleich mit der Anlage auf der 1. Sohle im Zentralteil tritt hier ein (vom Betrag her) größerer Wert der mittleren Steigung der Ausgleichsgeraden auf (siehe Abschnitt 2.4.2). Da die Steigung ein Maß für die Dämpfungseffekte auf den Laufwegen ist, bedeutet der höhere Wert, dass im Bereich der Südstrecke stärkere Dämpfung als im Zentralteil auftritt. Eine mögliche Erklärung ist der höhere Grad an Auflockerung im untersuchten Bereich des Südfelds, der auch durch die höheren mikroakustischen Ereignisraten belegt wird. An den bei der Auflockerung entstandenen Rissen werden die akustischen Wellen gestreut. Dieser Prozeß hängt von der Dichte, aber auch der Orientierung, Größe und Öffnungsweite der Risse ab.

Nachfolgend werden die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden für den gesamten Untersuchungsbereich und für 6 einzelne Ortungsbereiche und ihre Auswertung analog zur Vorgehensweise in Abschnitt 2.4.2 diskutiert (linke Diagramme in den Anlagen 2.70 - 2.76). Die räumliche Begrenzung der Bereiche sowie eine Beschreibung der Lage und der Geologie ist Tabelle 2.4 zu entnehmen (Grenzen in x und y als letzte drei Stellen der Koordinaten im Gauß-Krüger-Bezugssystem und in z). Es handelt sich um den nördlichen Bereich des Netzwerks bzw. der Abbaue jeweils über und unter der Südstrecke (Ortungsbereiche 1 und 2), den südlichen Bereich jeweils über und unter der Südstrecke (3 und 4) sowie Bereich 5 westlich und unterhalb der Abbaue mit einem Muldenkern von Anhydritmittelsalz (z3AM) und Bereich 6 östlich und unterhalb der Abbaue, der teilweise im Hauptanhydrit (z3HA) liegt. Zur Einordnung der Lage der Bereiche dienen die Anlagen 2.37 und 2.38.

In den Anlagen 2.70 - 2.76 findet man jeweils die Nummern der Ortungsbereiche, ihre räumlichen Grenzen und die enthaltene Anzahl der Ereignisse im betrachteten Zeitraum. Die mittlere Magnitude ist für zeitliche Variationen in einzelnen Bereichen interessant. Sie hängt von der Entfernung des Bereichs zum Netzwerk ab, da die Detektionsschwelle für schwache Ereignisse mit der Entfernung stark zunimmt.

Interessant ist der Vergleich der Anzahl der Ortungen in den Bereichen 1 bis 4 mit identischen Volumina. Die größte Aktivität trat zu Beginn der Messungen (Zeitraum 9/1997 - 4/1998) im Bereich 4 auf (Schwebe zwischen Südstrecke und Abbau 3, 5a-Sohle), während

sie im Zeitraum 4/1999 – 12/2000 im Bereich 2 auftrat (Schwebe zwischen Südstrecke und Abbau 2, 5a-Sohle). Auch im Bereich 1 (Schwebe zwischen Südstrecke und Abbau 9n, 4a-Sohle) lag die Aktivität im Zeitraum 4/1999 – 12/2000 höher als im Bereich 4. Insgesamt ist die Anzahl der Ortungen pro Zeiteinheit jedoch zurückgegangen wie es oben in Anlage 2.39 dargestellt wurde.

Die Magnitudenverteilungen in den Anlagen zeigen jeweils eine untere Grenze, die der Detektionsschwelle für schwache Ereignisse im Bereich entspricht. Bis dorthin sind die Verteilungen flach. Die Detektionsschwelle liegt für die abbaunahen bzw. netzwerknahen Bereiche zwischen 25 und 30 dB. Oberhalb dieser Schwelle erfolgt ein Abfall der Verteilung, der annähernd lineare Form besitzt. Die Sättigungsgrenze für die Magnituden liegt für die abbaunahen bzw. netzwerknahen Bereiche bei ca. 80 dB. Tabelle 2.4 enthält die bestimmten b-Werte und die maximal möglichen Magnituden M_{\max} als Kennwerte für die Magnitudenverteilung. Für M_{\max} werden die Werte der mittleren Gerade durch den Abfall der Verteilung angegeben sowie in Klammern die größten gemessenen Magnitudenwerte.

Wie bei der Anlage auf der 1. Sohle (Tabelle 2.2) findet man für die Ortungsbereiche, die völlig im Steinsalz liegen, b-Werte um 0,1 und maximal auftretende Magnituden um ca. 80 dB. Man beobachtet auch hier, dass die Magnitudenverteilungen im Steinsalz keinen exakt linearen Verlauf aufweisen, sondern eine leichte Krümmung zeigen. (Der lineare Verlauf wird im entsprechenden Diagramm in der Seismologie und in der Schallemissionsanalyse überwiegend gefunden.) Für den Bereich 2 – der Schwebe zwischen der Südstrecke 4. Sohle und dem Abbau 2 der 5a-Sohle – ergab sich im Verlauf der Messungen seit 1997 eine schwache Tendenz zu einem erhöhten Auftreten von stärkeren Ereignissen zwischen 60 dB und 80 dB mit Extrapolation zu 90 dB. Dies würde das Auftreten von stärkerer seismischer Abstrahlung bedeuten, die von größeren Risslängen herrühren könnte.

Für den Ortungsbereich 5, in dem sich nach dem geologischen Modell ein Muldenkern aus Anhydritmittelsalz (z3AM) befindet, erhält man mit 0,07 einen niedrigeren b-Wert als für die Bereiche 1 – 4 und maximal mögliche Magnituden um 100 dB. Diese Ereignisse tragen in der Magnitudenverteilung des Gesamtbereichs zum Knick bei 70 dB in Anlage 2.70 bei. Im Bereich 6 kommen neben Hauptanhydrit (z3HA) verschiedene Steinsalzvarietäten, Grauer Salzton (z3GT) und das Kalilager (z2SF) vor. Die Magnitudenverteilung hat mit

0,07 ebenfalls einen niedrigeren b-Wert als im Steinsalz und entspricht den Ergebnissen für die Bereiche mit unterschiedlicher Petrographie, die mit der Anlage auf der 1. Sohle erhalten wurden (siehe Tabelle 2.2).

2.5.3 Bewertung

Die ermittelten Ereignisraten an den einzelnen Aufnehmern und die Ortungsraten liegen in der Südstrecke über den Abbauen 2 und 3 der 5a-Sohle deutlich über denen im oberen Zentralteil im Bereich der Abbaureihen 1a und 2n von der 1a- Sohle bis zur 2. Sohle. Dies lässt auf eine höhere geomechanische Beanspruchung schließen. Die Ortungsraten für den gesamten Untersuchungsbereich zeigen eine Tendenz zur Abnahme im Messzeitraum von 1997 bis Ende 2000. Die räumliche Verteilung der Ortungen hat sich bis auf wenige Ausnahmen nicht verändert, so dass sich keine Hinweise auf stärkere Änderungen in der Mikrorissbildung im Gebirge ergeben haben. Eine erhöhte mikroakustische Aktivität trat im Jahr 2000 vor dem Weststoß des Abbaus 9n der 4a-Sohle auf. Sie steht mit Auflockerungsvorgängen an der Kontur des Abbaus in Zusammenhang. Die Ausprägung von Clustern mit zeitlicher Variation der Ortungsraten in begrenzten Bereichen ist nur in wenigen Fällen aufgefallen und damit im Vergleich zu den Ergebnissen der Anlage im Zentralteil nur schwach ausgeprägt.

Die erzielte Ortungsgenauigkeit im Bereich des Netzwerks ist sehr hoch. Der Ortungsfehler liegt im Bereich des Netzwerks bei 1 m, so dass sich auch die Umrissse kleiner belasteter Elemente wie von Pfeilern im Rolllochsystem 9 oder Gebirgsbereichen um Rolllöcher von 2 m Durchmesser deutlich in der mikroakustischen Aktivität abbilden.

Die Ereignisse konzentrieren sich überwiegend auf die Schweben der Südstrecke zu den darunter- sowie darüberliegenden Abbauen der 5a- Sohle und der 4a-Sohle und auf den Bereich zwischen den Abbauen auf der 4a- und 5a-Sohle einschließlich des Rolllochsystems 9. Nur ein geringer Teil der Ereignisse wird tiefer im Gebirge geortet (rasches Abklingen der Aktivität mit zunehmender Entfernung von den Hohlräumen). In den genannten Schweben findet eine intensive Mikrorissbildung statt. Die Aktivität über Abbau 3 korreliert mit dem Auftreten einer starken Sohlenaufwölbung in der Südstrecke über dem nörd-

lichen Teil des Abbaus und den höchsten Konvergenzgeschwindigkeiten im Bereich der Südstrecke. Der Grund ist in der deutlich geringeren Schwebenmächtigkeit zur 4a-Sohle im Vergleich zum südlichen Teil des Abbaus 3 zu finden. In der Nähe der Risse im Oststoß der Südstrecke der 4. Sohle über Abbau 2 findet man intensive mikroakustische Aktivität zwischen der Südstrecke und dem Abbau 9n der 4a-Sohle. Verglichen damit ist die Aktivität im Bereich der Risse am Weststoß der Südstrecke über Abbau 3 als gering zu bezeichnen. Dies korrespondiert mit den Fissurometermessungen: die Fissurometer am Oststoß zeigen höhere Raten der Rissöffnung als diejenigen am Weststoß. Am Oststoß der Südstrecke findet eine fortschreitende Auflockerung mit Bildung von Rissen von der Südstrecke in das Gebirge hinein statt und - als Folgerung aus der hohen Dichte an Ortungen - wahrscheinlich auch am Abbau 9n.

Eine bogenförmige Anordnung von Ortungen akustischer Emission wurde als Auflockerung um einen Hohlraum gedeutet, der nicht im Risswerk verzeichnet war. Er wurde durch 2 Bohrungen nachgewiesen. Nach den mikroakustischen Ortungen und den weiteren vorliegenden Erkenntnissen handelt es sich um eine etwa 30 m lange und 1,50 m hohe Verbindungsstrecke zwischen den Abbauen 2 und 3 der 5a-Sohle über bzw. in deren Firstniveau.

Eine Korrelation der mikroakustischen Aktivität mit den geologisch-petrographischen Strukturen ist nur für einen kleinen Teil der Ereignisse möglich. Zum einen kann man eine schwache Aktivität oberhalb der Firste des Abbaus 3 feststellen und ebenso in einem höheren Niveau vor dem Abbaus 9s, wo das schmale Kalilager (z2SF) mit Übergangsschichten verläuft. Zum anderen beobachtet man deutliche mikroakustische Aktivität in einem Muldenkern aus Anhydritmittelsalz (z3AM). Diese stratigraphische Einheit fällt auch in den Ergebnissen der Messanlage der 1. Sohle im Zentralteil auf. Die erhöhte Rissbildungsrate ist mit den Materialunterschieden zwischen Steinsalz und den auftretenden Anhydritmitteln zu begründen. Im Bereich des Hauptanhydrits (z3HA) und des Grauen Salztons (z3GT) östlich der Abbaue ist eine schwache Aktivität feststellbar.

Die Auswertung der Amplituden und der Häufigkeitsverteilungen der Magnituden ergibt ähnliche Resultate wie bei der Anlage auf der 1. Sohle im Zentralteil. Bereiche im Steinsalz zeichnen sich durch b-Werte um 0,1 und eine Begrenzung der Magnituden auf maxi-

male Werte um 80 dB aus. Deutliche zeitliche Variationen der Parameter der Magnitudenverteilungen sind nicht feststellbar. Für den Bereich der Schwebelänge zwischen der Südstrecke der 4. Sohle und dem Abbau 2 der 5a-Sohle deutet sich eine leichte Erhöhung von Ereignissen mit größeren Magnituden an.

ERA
Morsleben

3 Zusammenfassung

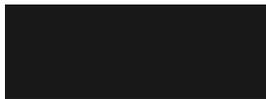
Der überwiegende Teil der mikroakustischen Aktivität im Bereich der Abbaureihen 2n und 1a zwischen der 1a-Sohle und der 2. Sohle im Zentralteil Bartensleben konzentriert sich auf abbaunahe Bereiche in Pfeilern und Schweben. Tiefer im Gebirge wird Aktivität bereichsweise sowohl im Steinsalz (z3) als auch im Hauptanhydrit (z3HA) festgestellt. An der Grenze von Liniensalz (z3LS) und Hauptanhydrit (z3HA) treten prägnante Cluster akustischer Emission auf. Südlich vom Netzwerk - etwa am Hauptquerschlag - sind wesentlich mehr starke Ereignisse als im Bereich des Netzwerks zu finden.

Die mikroakustischen Messungen im Südfeld Bartensleben in der Südstrecke der 4. Sohle über den Einlagerungskammern 2 und 3 der 5a-Sohle zeigen ebenfalls eine Konzentration der mikroakustischen Aktivität auf den Bereich der Abbaue. Die ermittelten Ereignis- und Ortungsraten sind deutlich höher als bei der Anlage im Zentralteil. In einiger Entfernung vom Netzwerk wird mikroakustische Aktivität im Anhydritmittelsalz (z3AM) festgestellt.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

HANNOVER

Im Auftrag



(Dr. H. Raschka)

- Direktor und Professor -
Abteilungsleiter B2



(Dr. M. Wallner)

- Direktor und Professor -
Projektleiter



(Dr. T. Spies)

- Wiss. Angestellter -
Arbeitspaketleiter und Autor

4 Literaturverzeichnis

- 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 1a.- BGR-Bericht zum AP 9M 212 460 11, Archiv-Nr.: 117 709, Hannover.
- BUNDESMINISTER DES INNEREN (1983): Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission: Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk, Bonn.
- █ (2001): Projekt Morsleben; Geomechanische Betriebsüberwachung 2000.- DBE-Bericht, 9M/99Y/GC/BY/0013/00, 313 Seiten, Peine.
- HUNSCHE, U. (1993): Failure behavior of rock salt around underground cavities. Proceedings of the Seventh Symposium of Salt, Vol.1, p. 59 - 65, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- HUNSCHE, U. & SCHULZE, O. (1994): Das Kriechverhalten von Steinsalz. Kali und Steinsalz, Band 11, S. 238-255.
- SPIES, T., SCHNIER, H., GERARDI, J. & BACKHAUS, D. (2001): Zusammenfassender Bericht Verformungsmessungen.- BGR-Bericht zum AP 9M21330011 Bewertung geomechanischer und markscheiderischer Messungen, Hannover.

5 Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 2.1: Mikroakustik Zentralteil ERAM: Amplitudenanalyse und Magnitudenbestimmung 4/98 - 3/99.
- Tabelle 2.2: Mikroakustik Zentralteil ERAM: Bereiche für die Bestimmung der kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden und pauschale Kennwerte b und M_{\max} der Verteilungen 4/98 - 3/99.
- Tabelle 2.3: Mikroakustik Südfeld ERAM: Amplitudenanalyse und Magnitudenbestimmung 4/98 - 3/99.
- Tabelle 2.4: Mikroakustik Südfeld ERAM: Bereiche für die Bestimmung der kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden und pauschale Kennwerte b und M_{\max} der Verteilungen 4/98 - 3/99.

6 Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 2.1: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Sondenordnung des Netzwerks im Bereich 1. Sohle (-253 m NN) bis 2. Sohle (-291 m NN) mit Lage der Profile 3.3, C, D und D'.
- Anlage 2.2: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Entwicklung der Ortungsrate (Ortungen/Stunde, hier Monatsmittelwerte) von 1998 - 2000.
- Anlage 2.3: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen 4/98 - 3/99, $M > 0$ dB.
- Anlage 2.4: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen 4/98 - 3/99, $M > 40$ dB.
- Anlage 2.5: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen 4/98 - 3/99, $M > 50$ dB.
- Anlage 2.6: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil 3.3 mit Ortungen im Bereich Abbau 1a, 1. Sohle, und südlicher Abschluß Abbau 1a, 2. Sohle sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.7: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil C (RB623) mit Ortungen im Bereich Schrapperkammer, 1. Sohle, und nördlicher Abschluss Abbau 2n, 2. Sohle, sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.8: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil D (RB624) mit Ortungen im Bereich nördlicher Abschluss Abbau 2n, 1. Sohle, und Abbau 2n, 2. Sohle, sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.9: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil D mit Ortungen im mittleren Bereich Abbau 2n, 1. Sohle (Profil D'), und Abbau 2n, 2. Sohle, sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.10: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -291 m NN bis -278 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.11: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -291 m NN bis -269 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/99 - 12/00.
- Anlage 2.12: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -278 m NN bis -269 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.

- Anlage 2.13: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -269 m NN bis -264 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.14: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -264 m NN bis -259 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.15: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -259 m NN bis -253 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.16: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -253 m NN bis -249 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.17: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -249 m NN bis -243 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.18: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -243 m NN bis -225 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.19: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -225 m NN bis -200 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.20: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt (Sohlriss) mit Ortungen westlich der Abbaureihen 2n und 1a, Teufenbereich -290 bis -260 m NN, Konturen 2. Sohle, -291 m NN: a) Zeitraum Monat 5/97, b) Zeitraum Monat 4/98.
- Anlage 2.21: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt (Sohlriss) mit Ortungen westlich der Abbaureihen 2n und 1a, Teufenbereich -290 bis -240 m NN, Konturen 2. Sohle, -291 m NN: a) Zeitraum Monat 10/98, b) Zeitraum Monat 2/99.
- Anlage 2.22: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt (Sohlriss) mit Ortungen westlich der Abbaureihen 2n und 1a, Teufenbereich -290 bis -240 m NN, Konturen 2. Sohle, -291 m NN: a) Zeitraum Monat 3/99, b) Gesamtzeitraum Monate 4/98 – 3/99.

- Anlage 2.23: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Ortungen im weiteren Bereich, $M > 60$ dB, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.24: Skizze der Hohlräume im oberen Zentralteil mit Hauptquerschlägen und angrenzenden Lagerteilen C und D (übereinanderprojizierte Sohlrisse 1., 2a- und 2. Sohle).
- Anlage 2.25: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Gesamtbereich.
- Anlage 2.26: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 1.
- Anlage 2.27: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 2.
- Anlage 2.28: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 3.
- Anlage 2.29: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 4.
- Anlage 2.30: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 5.
- Anlage 2.31: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 6.
- Anlage 2.32: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 7.
- Anlage 2.33: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 8.
- Anlage 2.34: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 9.
- Anlage 2.35: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 10.
- Anlage 2.36: Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 11.
- Anlage 2.37: Sondenanordnung Mikroakustik ERAM Südfeld im Bereich 4a-Sohle bis 5a-Sohle mit Lage der Vertikalschnitte S1 und S3 und Abbaubezeichnungen.
- Anlage 2.38: Seigerriss II (seitenverkehrt zu Seigerriss $a_2 - d_2$ des Risswerks).

- Anlage 2.39: Mikroakustik ERAM Südfeld: Entwicklung der Ortungsrate (Ortungen/Stunde, hier Monatsmittelwerte) von 1998 - 2000.
- Anlage 2.40: Mikroakustik ERAM Südfeld: Ortungen 7/98, $M > 0$ dB.
- Anlage 2.41: Mikroakustik ERAM Südfeld: Ortungen 7/98, $M > 40$ dB.
- Anlage 2.42: Mikroakustik ERAM Südfeld: Ortungen 7/98, $M > 50$ dB.
- Anlage 2.43: Mikroakustik ERAM Südfeld: Ortungen im Bereich von Abbau 9n, 4a-Sohle, im Zeitraum 1/99 – 12/00, $M > 0$ dB.
- Anlage 2.44: Mikroakustik ERAM Südfeld: Vertikalschnitt S1 mit Ortungen und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 7/98, $M > 0$ dB.
- Anlage 2.45: Mikroakustik ERAM Südfeld: Vertikalschnitt S1 mit Ortungen und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 7/98, $M > 40$ dB.
- Anlage 2.46: Mikroakustik ERAM Südfeld: Vertikalschnitt S3 mit Ortungen und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 7/98, $M > 0$ dB.
- Anlage 2.47: Mikroakustik ERAM Südfeld: Vertikalschnitt S3 mit Ortungen und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 7/98, $M > 40$ dB.
- Anlage 2.48: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -350 m NN bis -334 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.49: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -358 m NN bis -350 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.50: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -362 m NN bis -358 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.51: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -364 m NN bis -362 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.52: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -366 m NN bis -364 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.53: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -368 m NN bis -366 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.

- Anlage 2.54: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -370 m NN bis -368 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.55: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -372 m NN bis -370 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.56: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -374 m NN bis -372 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.57: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -376 m NN bis -374 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.58: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -378 m NN bis -376 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.59: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -380 m NN bis -378 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.60: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -382 m NN bis -380 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.61: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -386 m NN bis -382 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.62: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -394 m NN bis -386 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.63: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -410 m NN bis -394 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.
- Anlage 2.64: Mikroakustik ERAM Südfeld: Horizontalschnitt mit Ortungen im Teufenbereich -430 m NN bis -410 m NN und Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.

- Anlage 2.65: Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle: Ortungen akustischer Emissionen (AE) in der Schwebe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 5a-Sohle (ca. -380 m NN) im Sohlriss, Teufenintervall -376 bis -374 m NN, Zeitraum 04/98 - 03/99, 72.902 Ereignisse.
- Anlage 2.66: Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle: Ortungen akustischer Emissionen (AE) in der Schwebe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 5a-Sohle (ca. -380 m NN) im Sohlriss, Teufenintervall -374 bis -372 m NN, Zeitraum 04/98 - 03/99, 36.898 Ereignisse.
- Anlage 2.67: Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle: Ortungen akustischer Emissionen (AE) in der Schwebe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und 4a-Sohle (ca. -365 m NN) im Sohlriss, Teufenintervall -372 bis -370 m NN, Zeitraum 04/98 - 03/99, 25.747 Ereignisse.
- Anlage 2.68: Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle: Ortungen akustischer Emissionen (AE) in der Schwebe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und 4a-Sohle (ca. -365 m NN) im Sohlriss, Teufenintervall -370 bis -368 m NN, Zeitraum 04/98 - 03/99, 41.249 Ereignisse.
- Anlage 2.69: Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle: Ortungen akustischer Emissionen (AE) in der Schwebe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und 4a-Sohle (ca. -365 m NN) im Sohlriss, Teufenintervall -368 bis -366 m NN, Zeitraum 04/98 - 03/99, 46.147 Ereignisse.
- Anlage 2.70: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Gesamtbereich.
- Anlage 2.71: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 1.
- Anlage 2.72: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 2.
- Anlage 2.73: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 3.
- Anlage 2.74: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 4.
- Anlage 2.75: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 5.

Anlage 2.76: Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 6.

ERA
Morsleben

ERA Morsleben

Tabellen

Monat	Aufnehmerkorrekturen [dB]																								Anzahl Ortungen	Mittlere Magnitude [dB]	Mittlere Steigung [dB/10m]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
04/98 (30.03. - 29.04.)	2.3	-0.8	-5.3	3.9	6.3	5.1	4.2	0.6	-3.9	-1.4	3.8	0.7	-14.0	3.4	-9.5	3.2	0.0	5.9	-3.9	0.0	0.0	0.6	-1.7	0.0	4796	44.2	-1.72
05/98 (10.05. - 31.05.)	-0.2	2.2	-4.1	1.9	2.7	3.3	9.0	0.9	-3.0	-2.1	1.2	0.2	-11.9	-0.1	-4.4	3.7	5.6	3.5	-2.1	-12.9	-14.4	-1.9	-4.1	-4.7	1609	44.9	-1.72
06/98 (01.06. - 30.06.)	1.0	2.0	-4.2	1.3	1.9	2.8	8.5	0.7	-2.8	-1.1	1.2	-0.5	-11.8	-1.1	-4.5	4.3	4.8	3.1	-3.0	2.2	-3.3	-1.1	-2.8	4.4	4547	41.7	-1.78
07/98 (01.07. - 31.07.)	1.5	2.1	-4.2	1.0	1.8	2.8	8.9	0.6	-2.6	-0.8	1.3	-0.7	-11.5	-0.9	-4.4	4.9	4.7	3.3	-3.9	1.9	-3.5	-1.1	-2.4	0.0	5579	40.3	-1.80
08/98 (01.08. - 19.08.)	2.0	2.2	-4.1	0.6	1.5	2.6	8.9	0.3	-2.2	-0.4	1.1	-1.0	-11.3	-0.9	-4.5	4.7	4.6	3.3	-3.6	2.0	-3.0	-1.1	-2.1	3.6	6958	39.7	-1.82
09/98 (01.09. - 30.09.)	2.1	2.3	-3.9	0.5	1.4	2.5	8.7	0.2	-1.9	-0.1	1.0	-1.0	-11.6	-0.9	-4.7	4.5	4.6	3.3	-3.6	2.3	-3.5	-0.9	-1.9	0.0	6758	40.0	-1.81
10/98 (01.10. - 30.10.)	1.8	2.3	-3.9	0.4	1.4	2.5	9.1	0.2	-1.9	-0.4	0.9	-1.1	-11.5	-1.1	-4.2	4.4	4.8	3.4	-3.5	2.4	-3.2	-1.2	-1.6	0.0	7182	40.8	-1.77
11/98 (Ausfall)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/98 (17.12. - 31.12.)	2.1	3.9	-2.6	2.3	0.7	1.8	8.9	-0.1	-2.4	-0.7	0.8	-0.8	-11.4	-1.1	-4.3	3.6	4.3	3.2	-3.4	2.3	-3.8	-1.3	-2.2	0.0	2783	42.3	-1.79
01/99 (01.01. - 31.01.)	1.9	3.8	-2.6	2.1	0.7	1.8	8.8	-0.2	-2.7	-0.8	0.7	-1.0	-11.5	-1.1	-4.0	-3.4	4.3	3.3	-3.2	2.1	-3.6	-1.3	-2.2	2.5	5086	42.4	-1.81
02/99 (01.02. - 28.02.)	1.1	3.3	-3.0	2.0	0.8	1.9	8.8	-0.1	-3.2	-1.2	0.8	-0.8	-11.3	-1.4	-4.1	3.2	4.2	3.4	-3.8	1.8	-3.8	-1.1	-2.0	3.4	5090	42.8	-1.73
03/99 (01.03. - 31.03.)	1.0	3.4	-2.8	2.2	0.9	1.8	8.8	0.0	-3.1	-1.3	0.8	-0.9	-11.3	-1.4	-4.1	3.0	4.3	3.5	-3.4	1.8	-3.8	-1.0	-2.0	3.2	5350	42.8	-1.76
Mittelwerte 04/98 - 03/99	1.5	2.4	-3.7	1.7	1.8	2.6	8.4	0.3	-2.7	-0.9	1.2	-0.6	-11.7	-0.6	-4.8	3.3	4.2	3.6	-3.4	0.5	-4.2	-1.0	-2.3	1.1	5067	42.0	-1.77

Mikroakustik Zentrerteil ERAM: Amplitudenanalyse und Magnitudenbestimmung 4/98 - 3/99

Nr.	Beschreibung der Lage	Stratigraphie	Grenzen Bereich x [m]	Grenzen Bereich y [m]	Grenzen Bereich z [mNN]	b [1/dB bzw. (-)]	M _{max} [dB]
0	Gesamtbereich, weit gefaßt	z2HS-z3AM	0,220	220,460	-350,-150	I: 0.036 (0.72) II: 0.069 (1.38)	I: 163 (100) II: 117 (100)
1	N-Stoß Abbau 2n 1. Sohle	z3LS-AM	110,170	330,365	-259,-243	0.101 (2.02)	74 (68)
2	N-Stoß Abbau 2n 2a-Sohle (Pfeiler zwischen Abbau 1a und 2n)	z3LS-AM	110,170	350,376	-264,-253	0.101 (2.02)	68 (67)
3	S-Stoß Abbau 1a 2a-Sohle (Pfeiler zwischen Abbau 1a und 2n) und nördl.	z3LS-AM	110,170	376,430	-264,-253	0.101 (2.02)	68 (65)
4	W-Stoß Abbau 2n 1. Sohle (Bereich der Risse)	z3LS-BD	420,460 (hier x+y)	140,240 (hier x-y)	-260,-240	0.105 (2.10)	65 (64)
5	W-Stoß Abbau 2n 2a-Sohle und schmaler Pfeiler zum Rolloch hin	z3LS-AM	90,112	330,400	-278,-253	0.087 (1.74)	78 (68)
6	Pfeiler zwischen Abbau 1a und 2n 2. Sohle	z3LS-AM	60,110	350,390	-300,-269	0.089 (1.78)	76 (68)
7	Bereich westl. der Abbaue, oberhalb der 1. Sohle	z2HS-z3AM (z3HA)	20,90	240,440	-253,-180	0.040 (0.80)	130 (97)
8	Bereich westl. der Abbaue, unterhalb der 1. Sohle	z2HS-z3AM (z3HA)	20,90	240,440	-300,-253	I: 0.047 (0.94) II: 0.074 (1.48)	I: 122 (90) II: 98 (90)
9	Bereich Hauptquerschlag u. Kalilager C, westl. und südl. Netzwerk	z2HS-z3AM	0,250	200,280	-340,-160	0.071 (1.42)	115 (102)
10	Bereich im Anhydrit westlich Abbau 1a 1. Sohle	z3HA	20,100	340,420	-245,-200	0.022 (0.44)	167 (80)
11	Bereich im Steinsalz westlich der Abbaue vor Grenze zum Anhydrit	z3LS	70,90	330,370	-270,-245	0.076 (1.52)	74 (68)

Mikroakustik Zentralteil ERAM: Bereiche für die Bestimmung der kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden und pauschale Kennwerte b und M_{max} der Verteilungen 4/98 - 3/99.

Tabelle 2.2

Monat	Aufnehmerkorrekturen [dB]																								Anzahl Ortungen	Mittlere Magnitudo [dB]	Mittlere Steigung [dB/10m]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
04/98 (01.04. - 30.04.)	-7.0	0.6	0.0	-1.0	3.2	3.4	2.3	3.6	2.8	5.4	-5.7	-8.1	-3.3	-1.1	-1.0	-10.7	9.4	-0.1	1.3	3.0	5.9	1.0	-5.5	-6.8	40570	38.6	-2.47
05/98 (01.05. - 31.05.)	-7.1	0.5	0.1	-1.0	3.6	3.6	2.5	3.7	2.7	5.4	-6.2	-8.3	-3.0	-0.8	-0.8	-11.7	9.7	0.0	1.0	2.9	5.9	1.1	-5.4	-6.8	39734	38.4	-2.50
06/98 (01.06. - 09.06., 15.06. - 30.06.)	-6.0	0.0	-0.7	-0.8	4.2	4.3	2.6	4.0	2.5	5.0	-7.1	-9.2	-2.7	-1.1	-0.4	-12.7	10.0	0.1	1.2	3.1	5.4	0.8	-5.2	-7.4	39938	37.7	-2.59
07/98 (07.07. - 31.07.)	-6.9	-0.1	-0.4	-0.7	4.5	4.9	2.7	4.1	2.0	5.0	-7.6	-10.0	-2.7	-0.8	-0.4	-14.1	10.3	0.2	1.3	3.1	5.8	0.7	-4.7	-7.0	71444	38.5	-2.61
08/98 (01.08. - 09.08., 19.08. - 31.08.)	-8.5	-0.4	-1.2	-0.7	4.7	4.9	2.7	4.2	2.4	4.9	-8.1	-10.4	-2.9	-0.8	-0.2	-15.0	10.3	0.0	1.1	2.9	5.7	0.9	-5.3	-7.0	37621	37.4	-2.65
09/98 (01.09. - 25.09.)	-8.5	-0.6	-1.1	-0.7	4.7	5.0	2.7	4.3	2.5	5.0	-8.5	-11.2	-2.7	-0.7	-0.2	-16.0	10.4	-0.2	1.1	3.0	5.8	1.0	-5.3	-6.8	41294	37.4	-2.62
10/98 (01.10. - 29.10.)	-8.3	-0.3	-0.9	-0.8	4.6	4.9	2.7	4.2	2.8	5.3	-8.2	-11.7	-2.9	-0.6	-0.3	-16.9	10.2	-0.5	1.3	3.1	6.3	1.3	-5.2	-6.7	47507	37.6	-2.59
11/98 (29.10. - 27.11.)	-8.4	-0.3	-0.8	-0.7	4.5	5.0	2.6	4.1	3.0	5.4	-8.3	-12.7	-2.7	-0.4	-0.4	-17.7	10.2	-1.0	1.3	3.2	6.3	1.4	-5.2	-6.5	44929	37.6	-2.59
12/98 (01.12. - 31.12.)	-8.3	-0.4	-1.0	-0.8	4.7	5.2	2.6	4.1	3.1	5.2	-8.6	-13.3	-2.6	-0.2	-0.1	-18.3	10.4	-0.8	1.0	3.1	6.1	1.3	-5.3	-6.2	48569	37.8	-2.59
01/99 (01.01. - 31.01.)	-8.2	-0.5	-1.1	-0.6	4.8	5.4	2.5	4.2	3.2	5.3	-9.1	-14.0	-2.5	-0.3	-0.1	-18.8	10.4	-0.9	1.0	3.2	6.0	1.3	-5.2	-6.2	48046	37.6	-2.60
02/99 (01.02. - 28.02.)	-8.2	-0.4	-1.3	-0.8	4.9	5.3	2.6	4.2	3.1	5.4	-9.3	-14.3	-2.7	0.0	0.0	-19.3	10.4	-0.9	0.8	3.1	6.2	1.3	-5.4	-6.2	40954	37.7	-2.59
03/99 (01.03. - 31.03.)	-7.3	0.0	-0.7	-0.5	4.9	5.3	2.6	4.4	3.6	6.1	-9.3	-14.5	-2.2	-0.3	0.0	-19.6	10.3	-1.0	1.5	3.9	5.5	0.2	-5.4	-6.0	45214	37.6	-2.42
Mittelwerte 4/98 - 3/99	-7.9	-0.2	-0.8	-0.8	4.4	4.8	2.6	4.1	2.8	5.3	-8.0	-11.5	-2.7	-0.6	-0.3	-15.9	10.2	-0.4	1.2	3.1	5.9	1.0	-5.3	-6.6	45402	37.8	-2.57

Mikroakustik Südfeld ERAM: Amplitudenanalyse und Magnitudenbestimmung 4/98 - 3/99

Tabelle 2.3

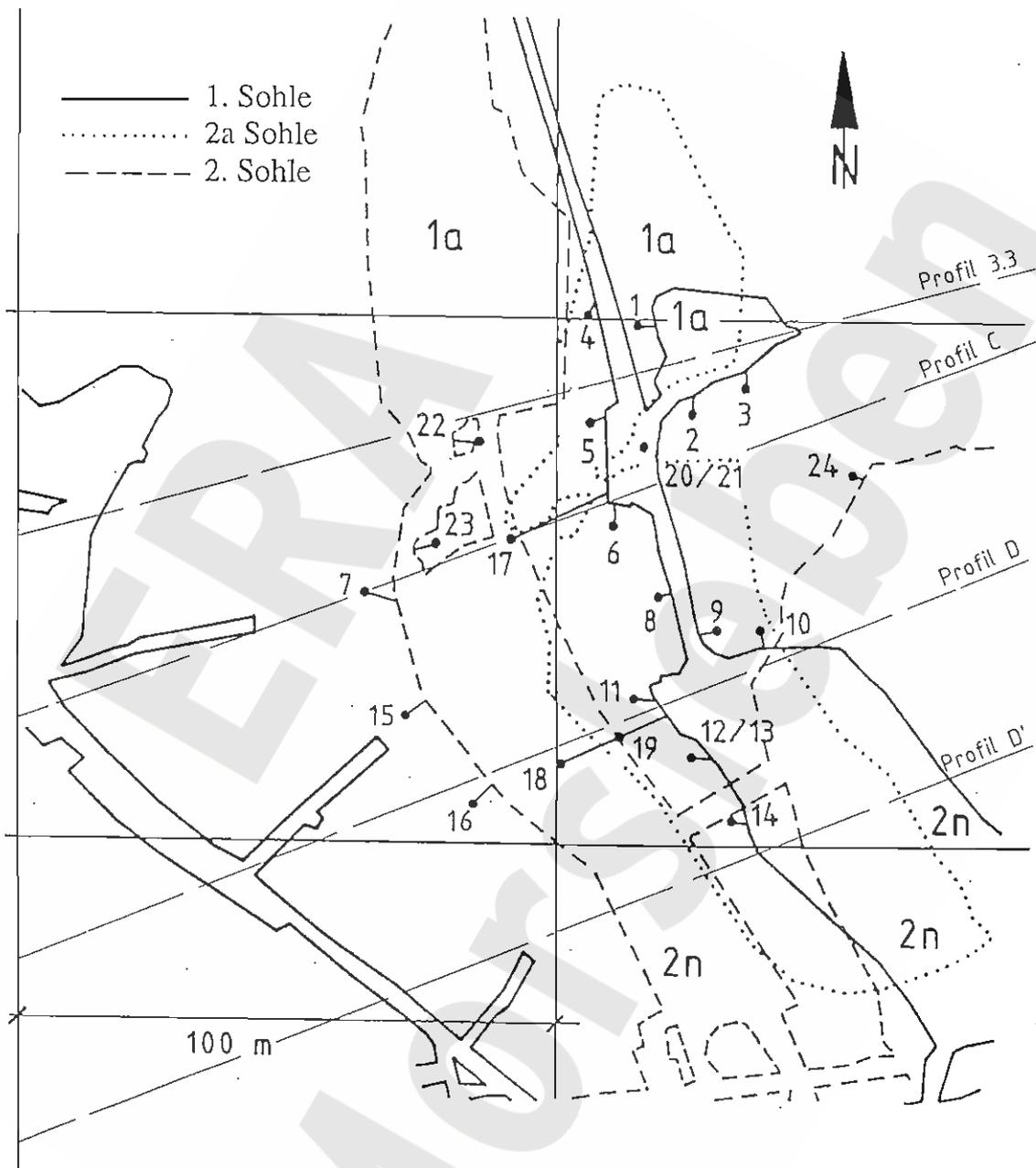
Nr.	Beschreibung der Lage	Stratigraphie	Grenzen Bereich x [m]	Grenzen Bereich y [m]	Grenzen Bereich z [mNN]	b [1/dB bzw. (-)]	M _{max} [dB]
0	Gesamtbereich	z2HS-z3AM	860,1060	560,860	-460,-280	I: 0.086 (1.72) II: 0.065 (1.30)	104 (-) 114 (-)
1	Nördl. Bereich Netzwerk (Abbau 9n, über 4. Sohle)	z3LS-BD	930,1000	700,800	-372,-342	0.116 (2.32)	80 (84)
2	Nördl. Bereich Netzwerk (Abbau 2, unter 4. Sohle)	z3LS-BD	930,1000	700,800	-402,-372	0.114 (2.28)	81 (84)
3	Südl. Bereich Netzwerk (Abbau 9s, über 4. Sohle)	z3LS-BD	930,1000	600,700	-372,-342	0.098 (1.96)	85 (78)
4	Südl. Bereich Netzwerk (Abbau 3, unter 4. Sohle)	z3LS-BD	930,1000	600,700	-402,-372	0.114 (2.28)	83 (77)
5	Bereich westlich und unterhalb der Abbaue 4a - 5a-Sohle	z2HS-z2SF, z3OS-z3AM	860,930	600,800	-460,-386	0.074 (1.48)	103 (100)
6	Bereich östlich und unterhalb der Abbaue 4a - 5a-Sohle	z2HS-z3LS (z3HA)	980,1020	670,800	-460,-372	0.066 (1.32)	97 (93)

Mikroakustik Südfeld ERAM: Bereiche für die Bestimmung der kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Magnituden und pauschale Kennwerte b und M_{max} der Verteilungen 4/98 - 3/99.

Tabelle 2.4

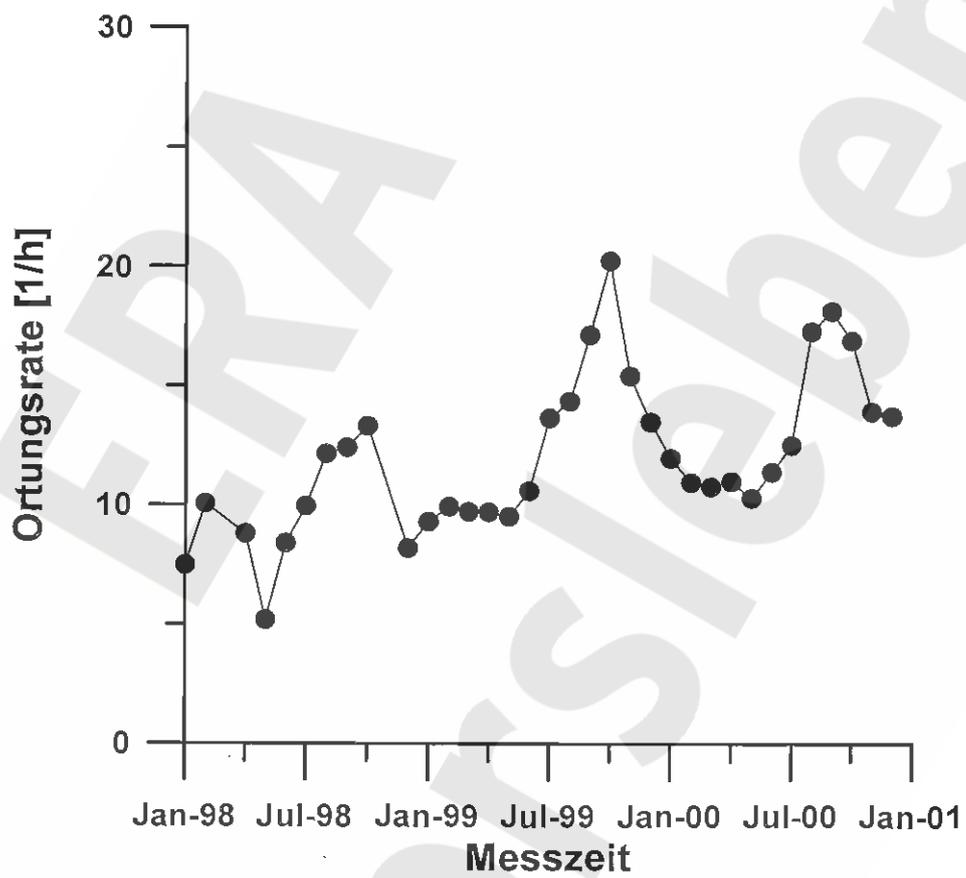
ERA Morsleben

Anlagen

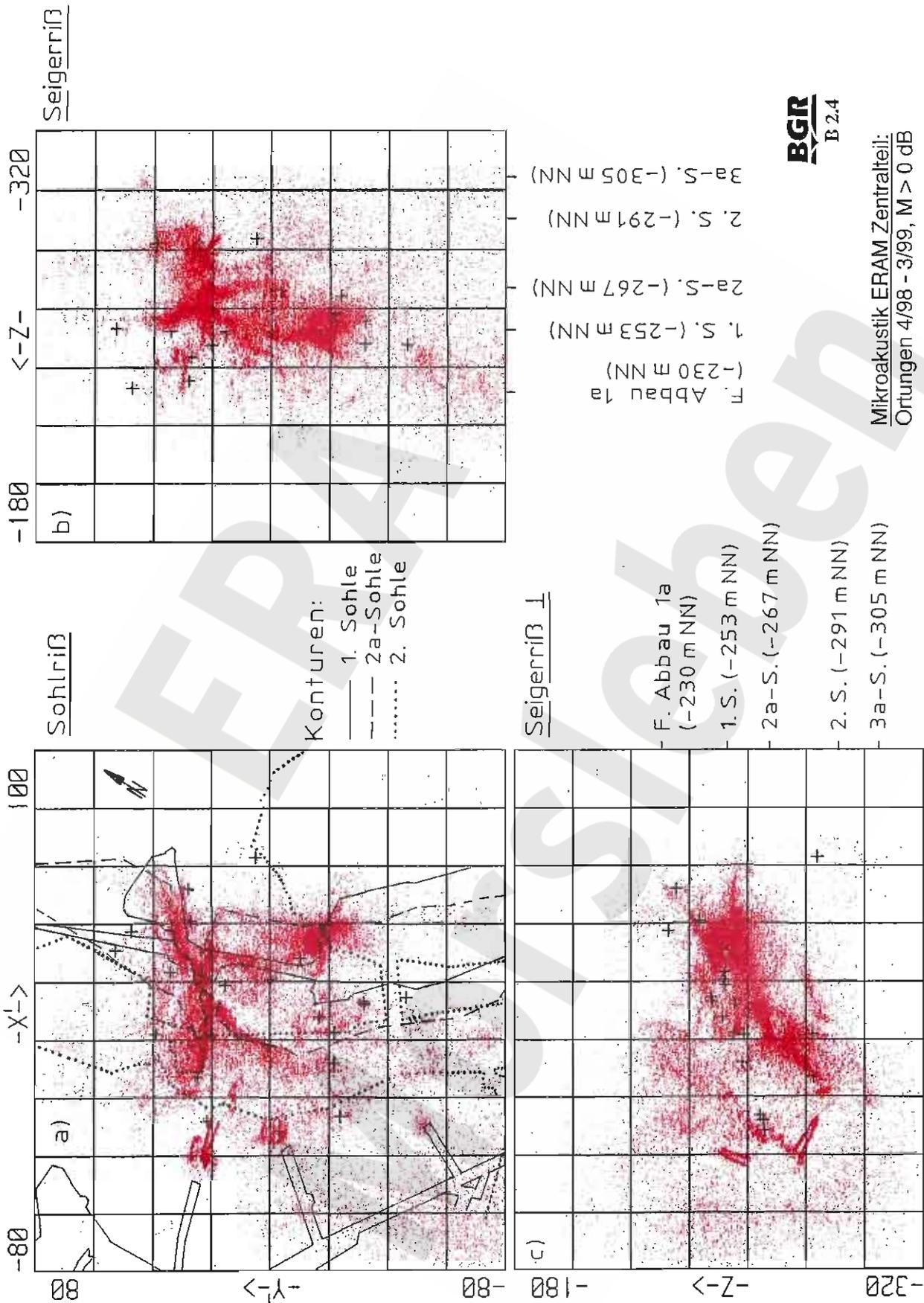


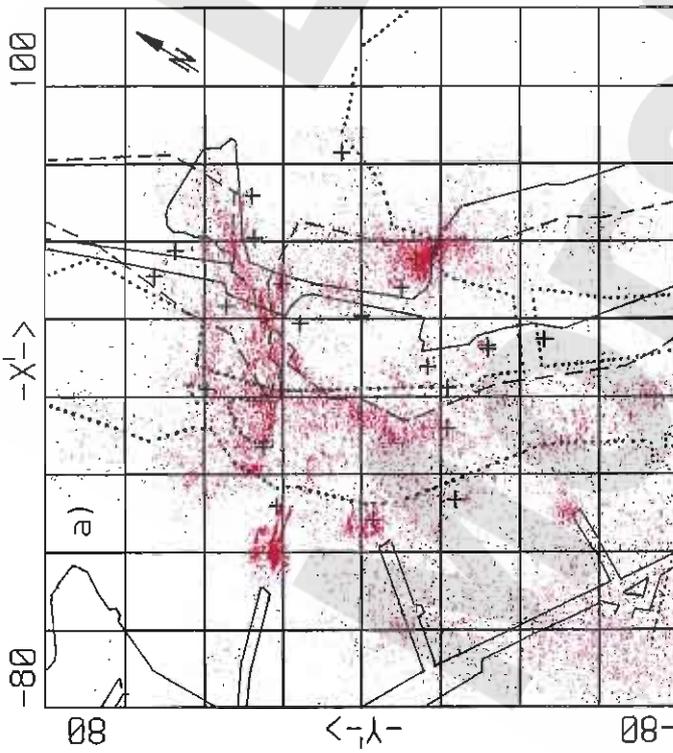
BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Aufnehmeranordnung des Netzwerks im Bereich der 1. Sohle (-253 m NN) und 2. Sohle (-291 m NN) mit Lage der Profile 3.3, C, D und D' sowie Abbaubezeichnungen.



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Entwicklung der Ortungsrate (Ortungen pro Stunde, hier Monatsmittelwerte) von 1998 bis 2000

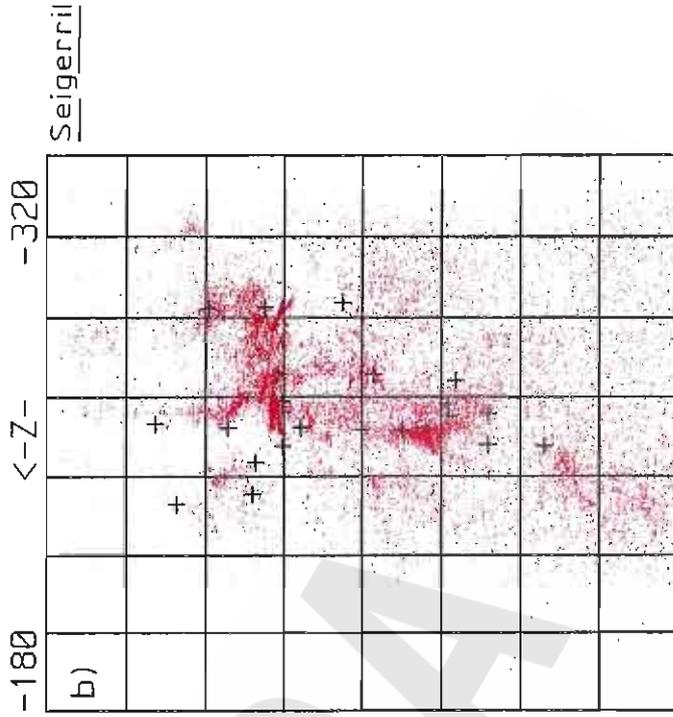




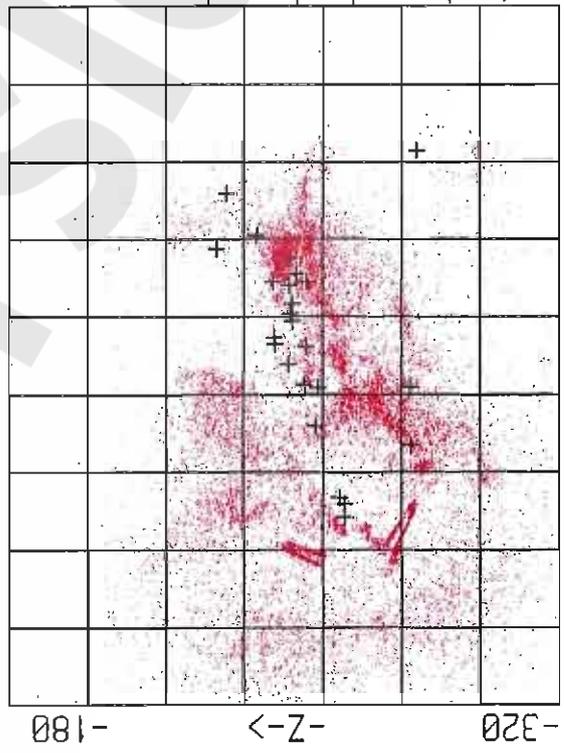
Sohlriß

Konturen:

- 1. Sohle
- - - 2a-Sohle
- 2. Sohle



Seigerril



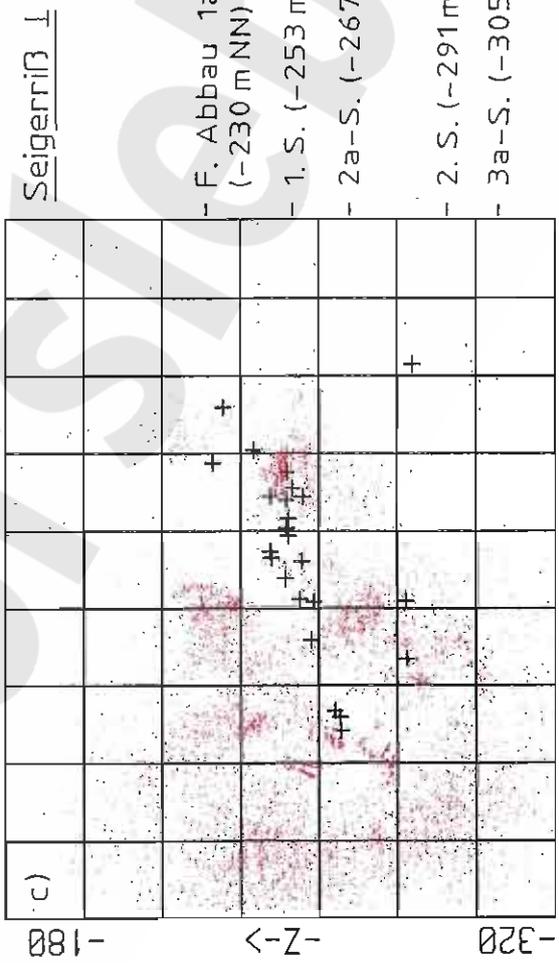
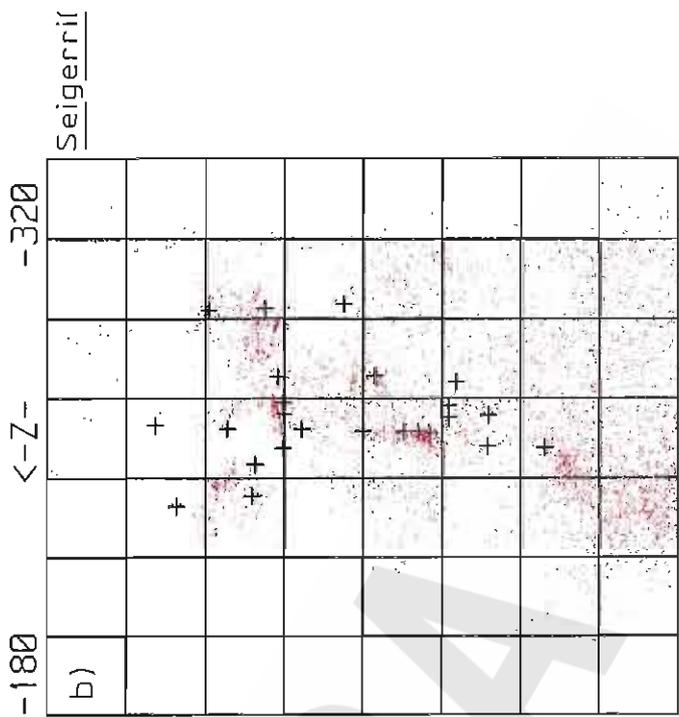
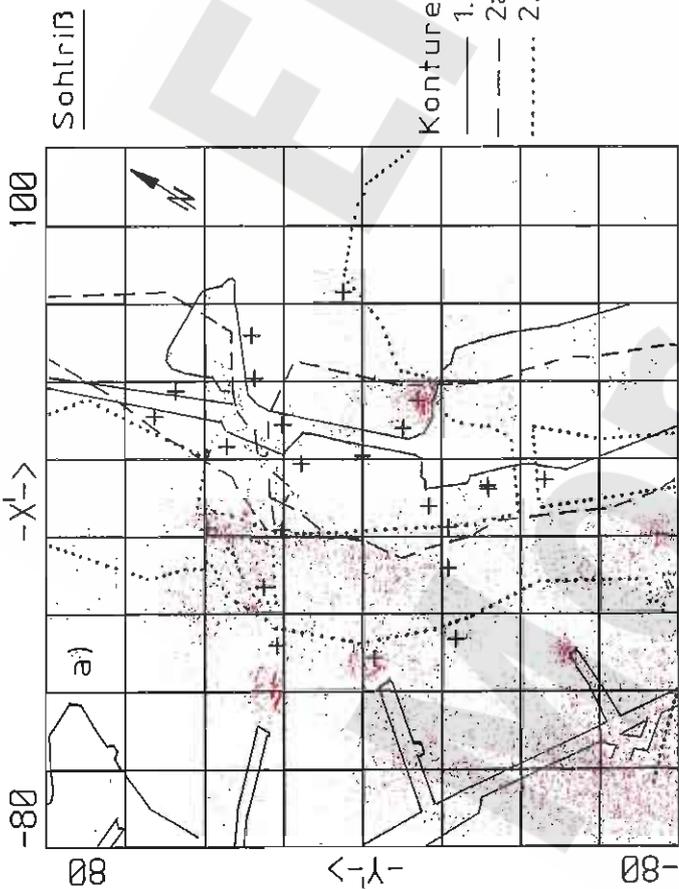
Seigerril ⊥

- F. Abbau 1a (-230 m NN)
- 1. S. (-253 m NN)
- 2a-S. (-267 m NN)
- 2. S. (-291 m NN)
- 3a-S. (-305 m NN)

- F. Abbau 1a (-230 m NN)
- 1. S. (-253 m NN)
- 2a-S. (-267 m NN)
- 2. S. (-291 m NN)
- 3a-S. (-305 m NN)



Mikroakustik ERAM Zentralteil:
Ortungen 4/98 - 3/99, M > 40 dB



- F. Abbau 1a (-230 m NN)
- 1. S. (-253 m NN)
- 2a-S. (-267 m NN)
- 2. S. (-291 m NN)
- 3a-S. (-305 m NN)

- F. Abbau 1a (-230 m NN)
- 1. S. (-253 m NN)
- 2a-S. (-267 m NN)
- 2. S. (-291 m NN)
- 3a-S. (-305 m NN)

BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
Ortungen 4/98 - 3/99, M > 50 dB

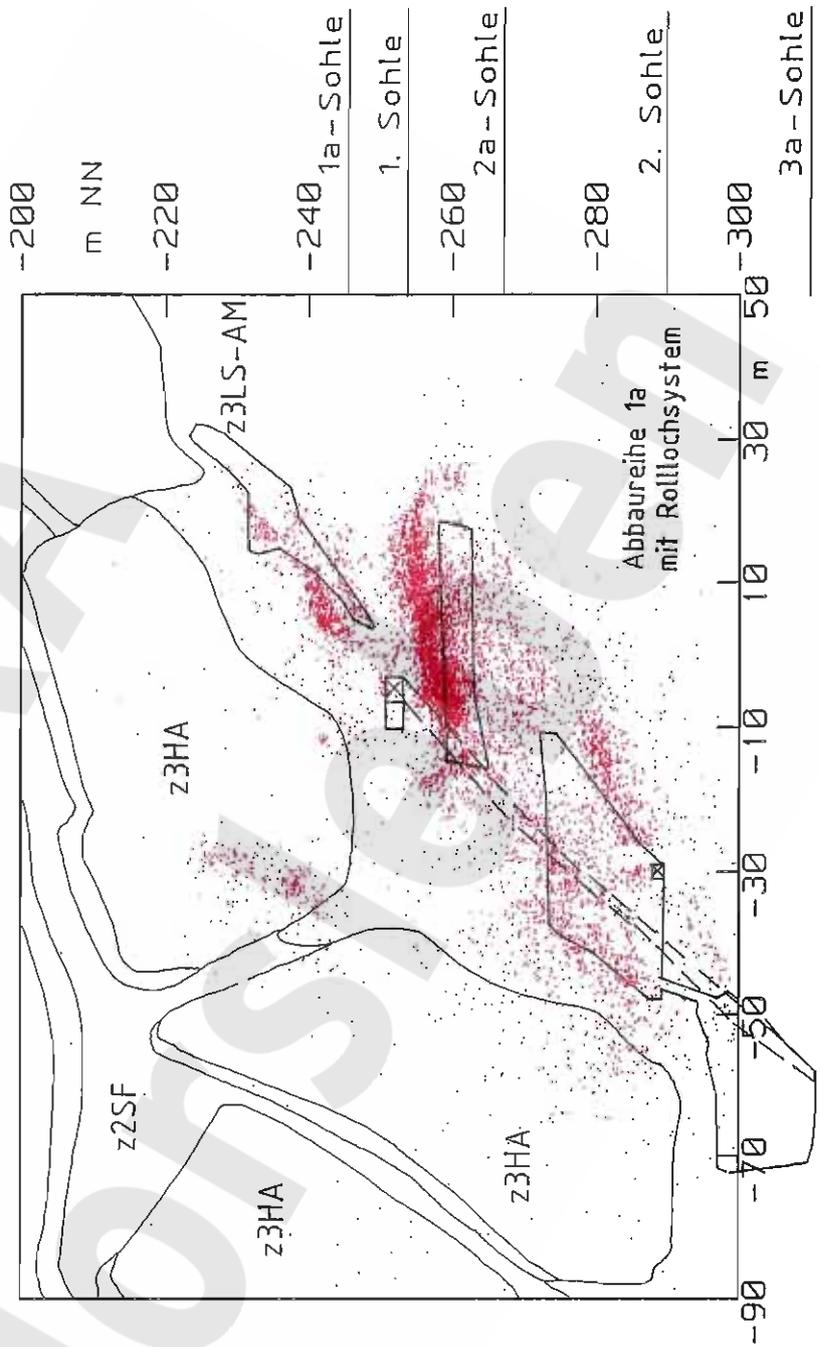
Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil 3.3 mit Ortungen im Bereich Abbau 1a, 1. Sohle, und südlicher Abschluß Abbau 1a, 2. Sohle, sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.

Winkel der Blickrichtung gegeneüber Nord: 15°

Drehachse im Punkt x = 114 m, y = 389 m

Schichtdicke -15 m bis 15 m

8708 Ereignisse



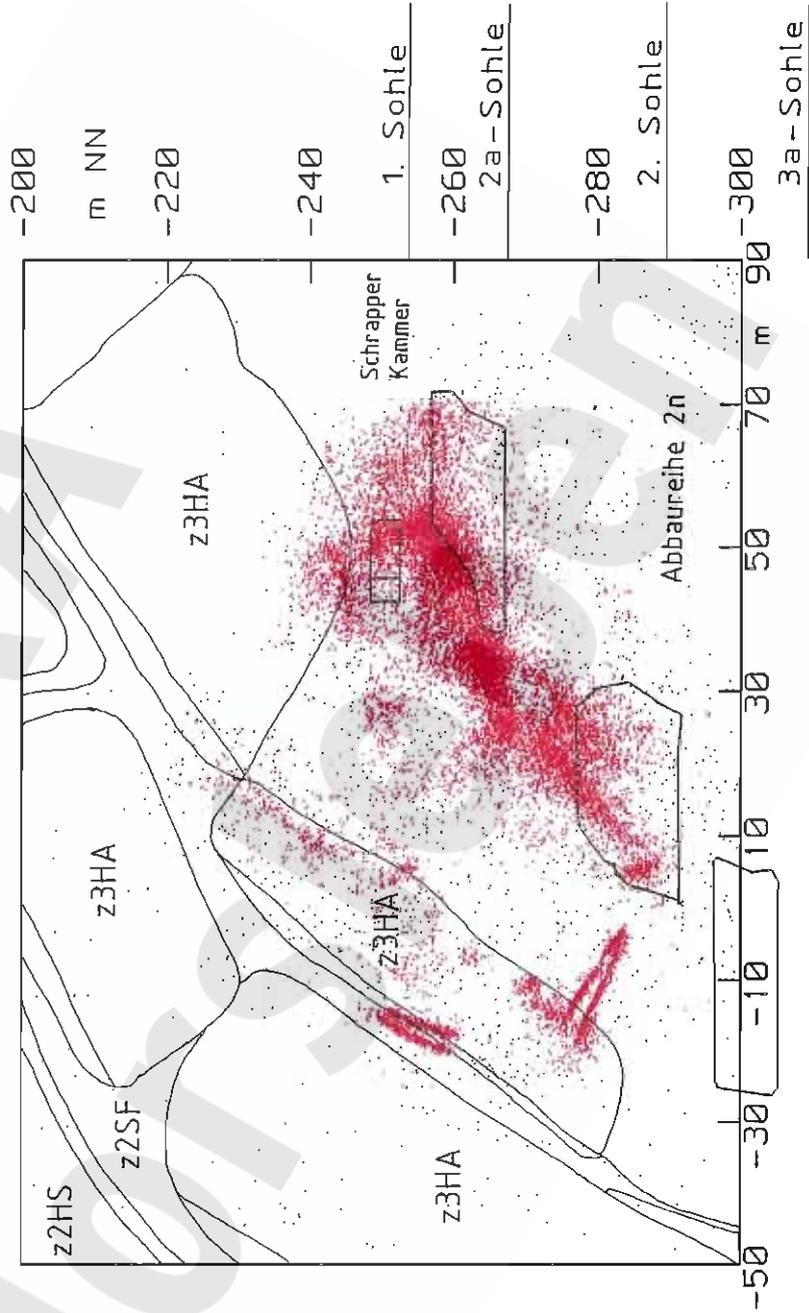
Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil C (RB623) mit
 Ortungen im Bereich Schrapperkammer, 1.Sohle, und nördlicher
 Abschluß Abbau 2n, 2.Sohle, sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum
 4/98 - 3/99.

Winkel der Blickrichtung gegenüber Nord: 21°

Drehachse im Punkt x = 69 m, y = 350 m

Schichtdicke -20 m bis 10 m

22018 Ereignisse



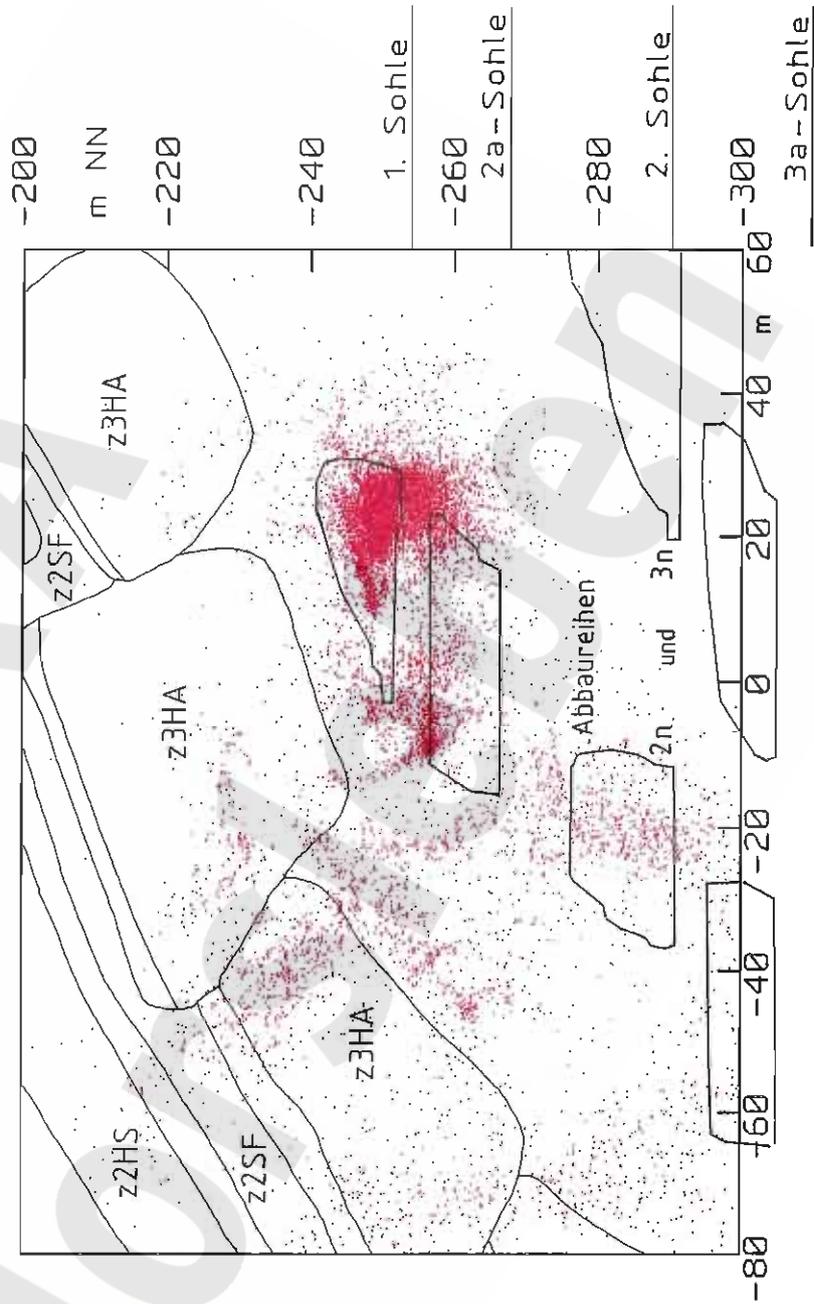
Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil D (RB624) mit Ortungen im Bereich nördlicher Abschluß Abbau 2n, 1. Sohle, und Abbau 2n, 2.Sohle, sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.

Winkel der Blickrichtung gegenüber Nord: 22°

Drehachse im Punkt x = 120 m, y = 325 m

Schichtdicke -15 m bis 15 m

14315 Ereignisse



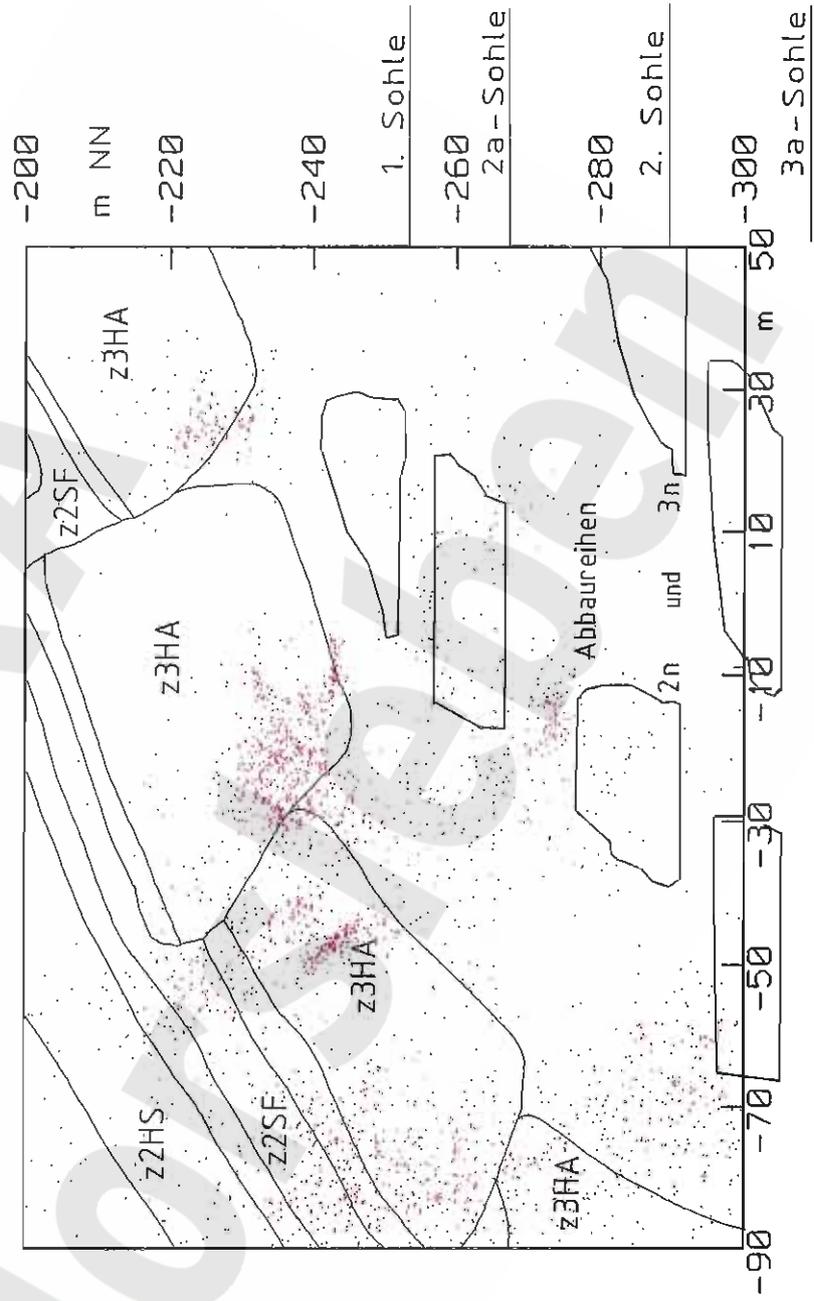
Mikroakustik ERAM Zentralteil: Geologisches Profil D (RB624) mit
 Ortungen im mittleren Bereich Abbau 2n, 1. Sohle, und Abbau 2n,
 2.Sohle, (Profil D') sowie Abbaubezeichnungen, Zeitraum 4/98 - 3/99.

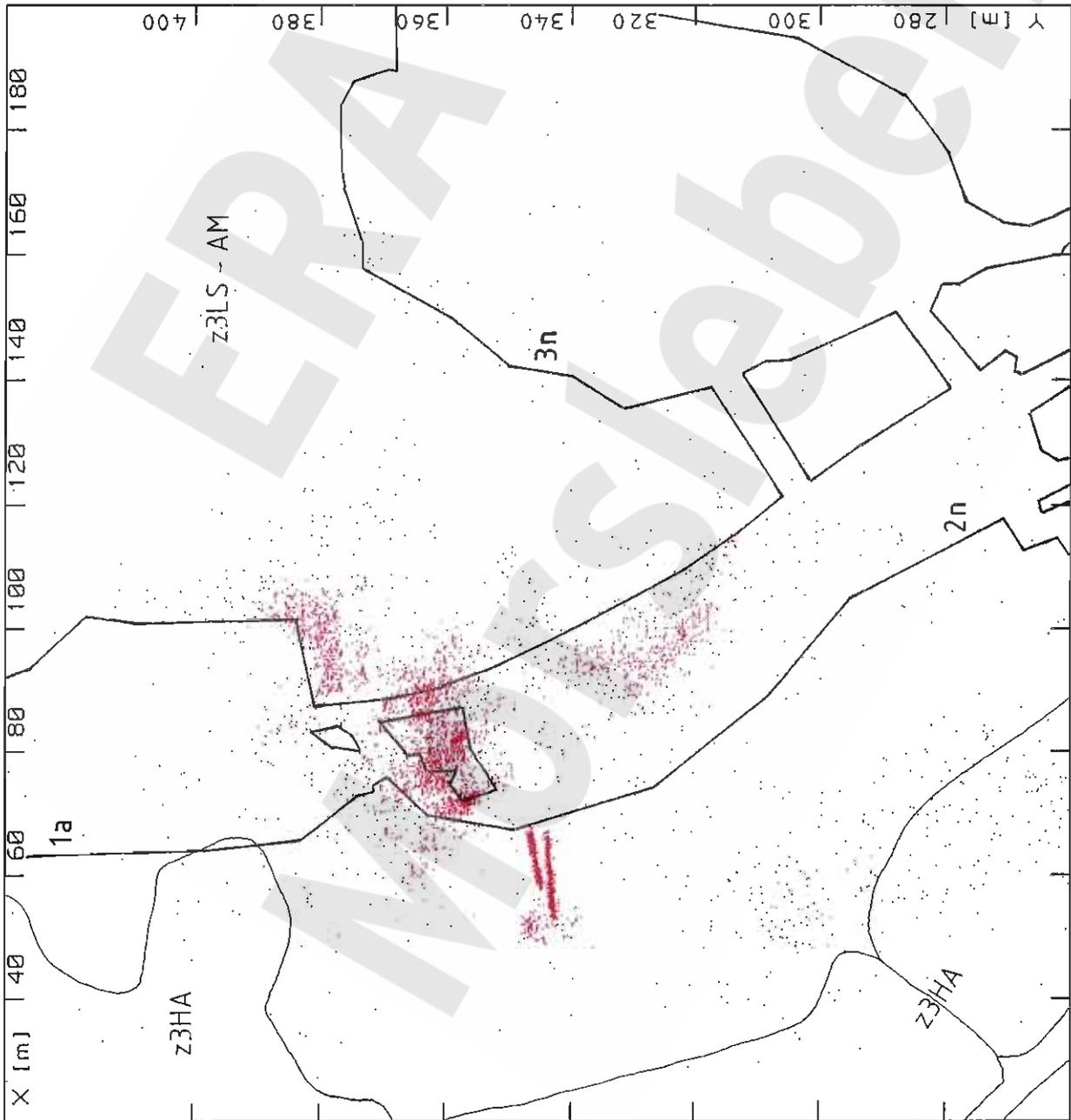
Winkel der Blickrichtung gegenüber Nord: 22°

Drehachse im Punkt x = 138 m, y = 298 m

Schichtdicke -15 m bis 15 m

2740 Ereignisse





$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-291 \text{ m} < Z < -278 \text{ m}$
 5202 Ereignisse

Konturen:

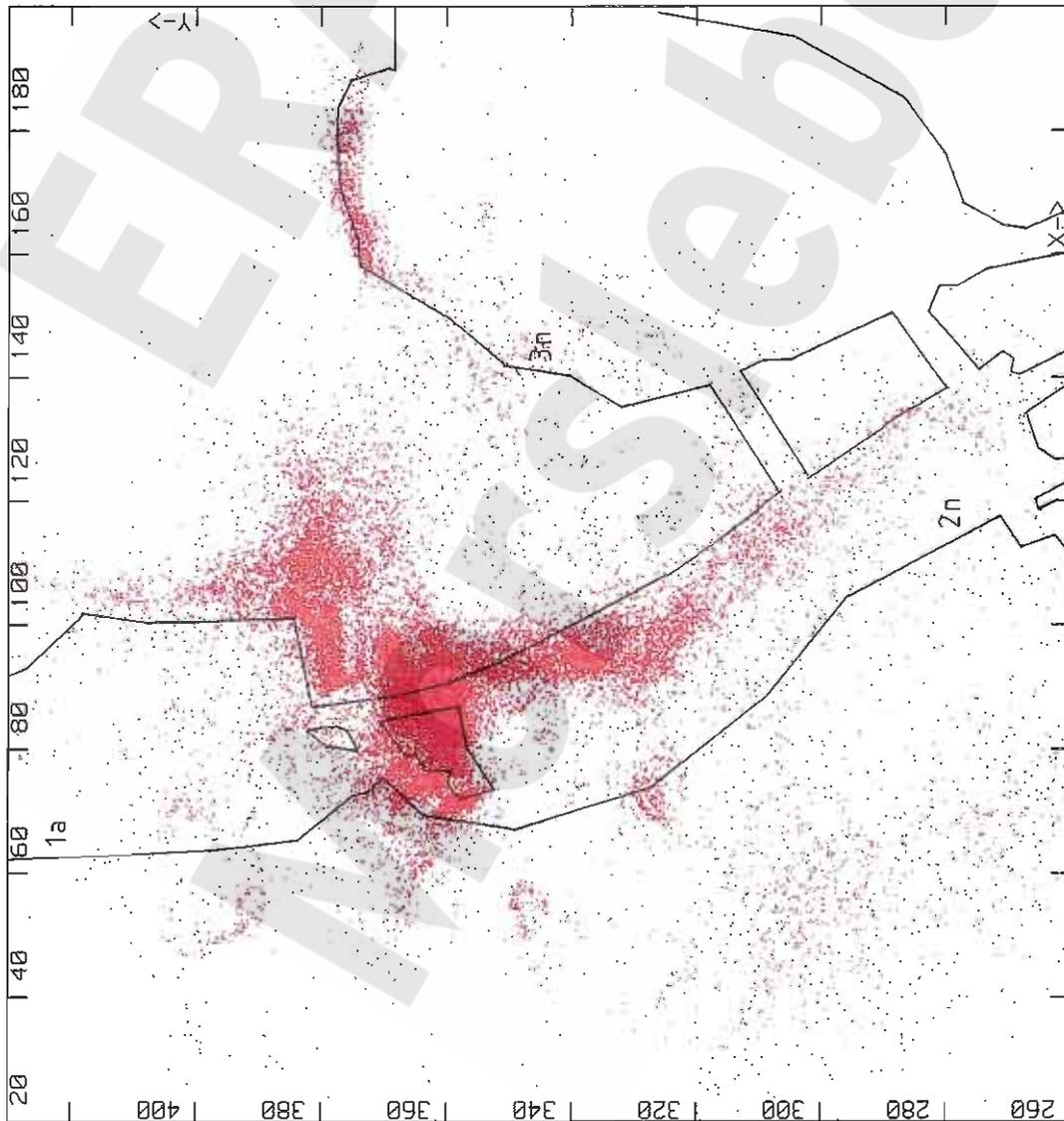
— 2. Sohle (-291mNN)

Geologie:

Niveau 2. Sohle (-291mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:

Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -291 mNN bis -278 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.



Konturen:

— 2. Sohle (-291 m NN)

1 Apr 1999, 00:08:12

31 Dec 2000, 23:58:56

Ortungsfiles

20 m < X < 200 m

260 m < Y < 430 m

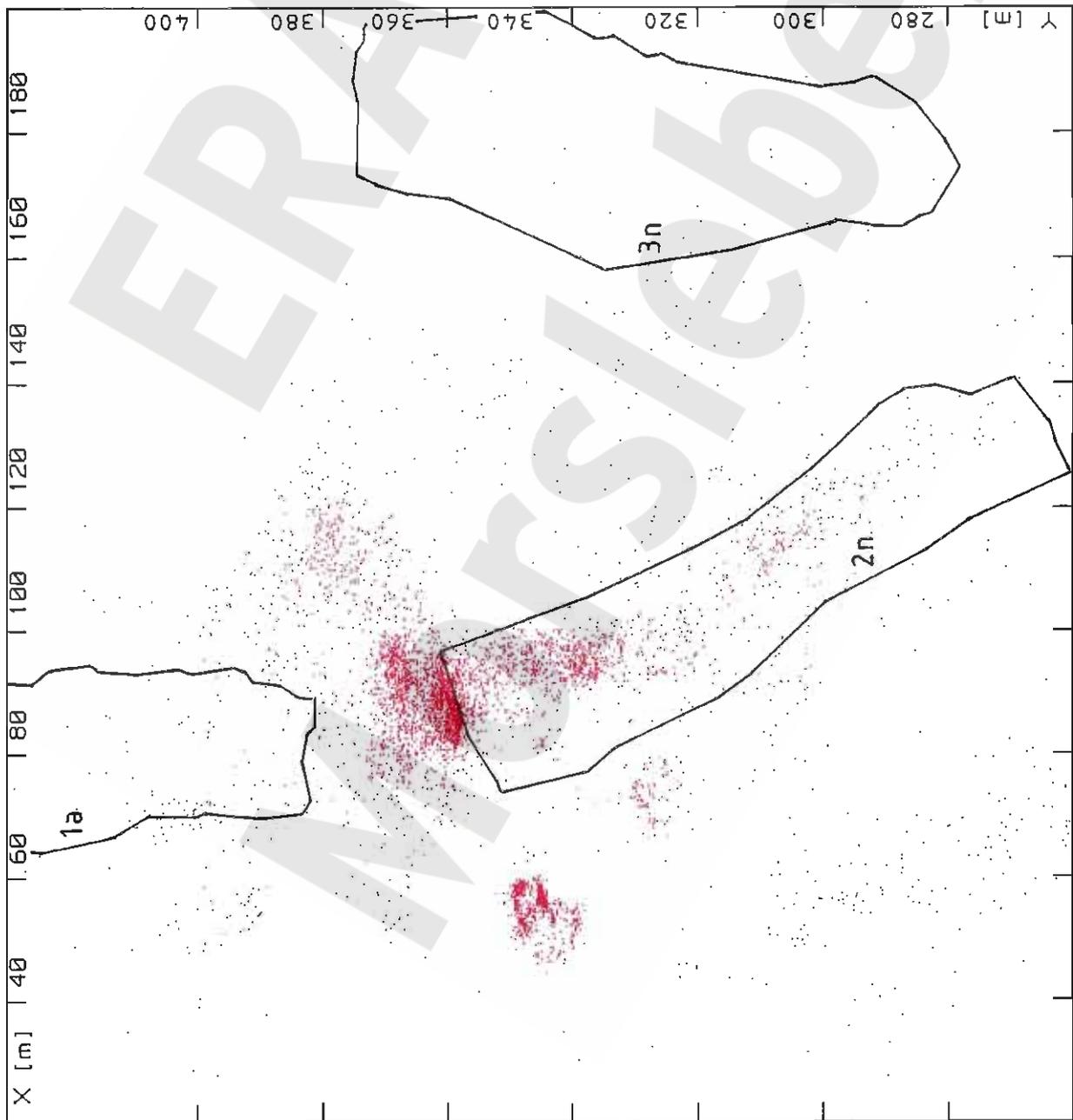
-291 m < Z < -269 m

Magnitudo ab 0 dB

28352 Ereignisse

Mikroakustik ERAM Zentralteil:

Horizontalschnitt mit Ortungen
im Tiefenbereich -291 mNN bis -269 mNN
und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/99 - 12/00.

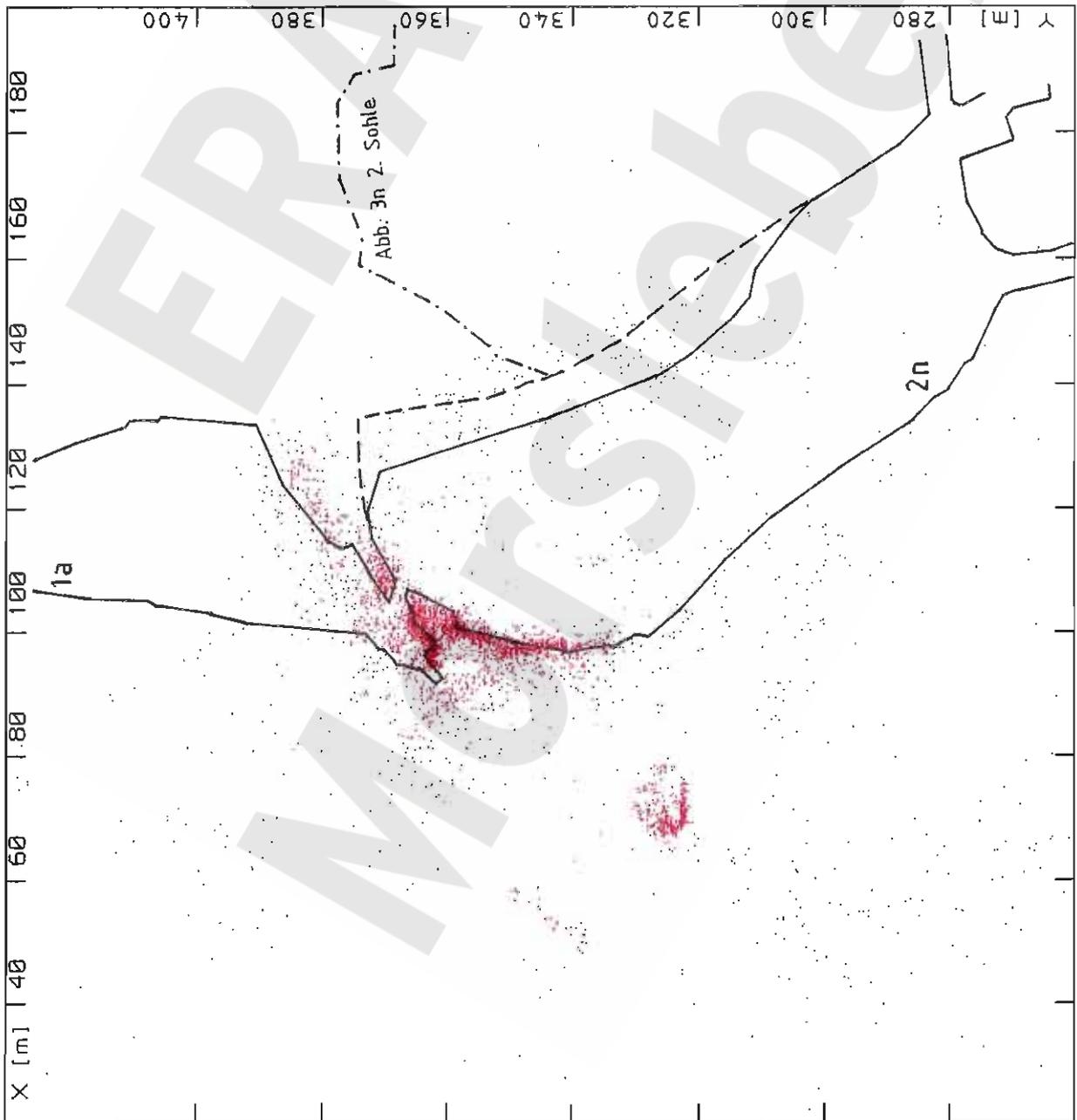


$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-278 \text{ m} < Z < -269 \text{ m}$
 5609 Ereignisse

Konturen:

— 2. Sohle
 (Firste -280 mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
 Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -278 mNN bis -269 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.

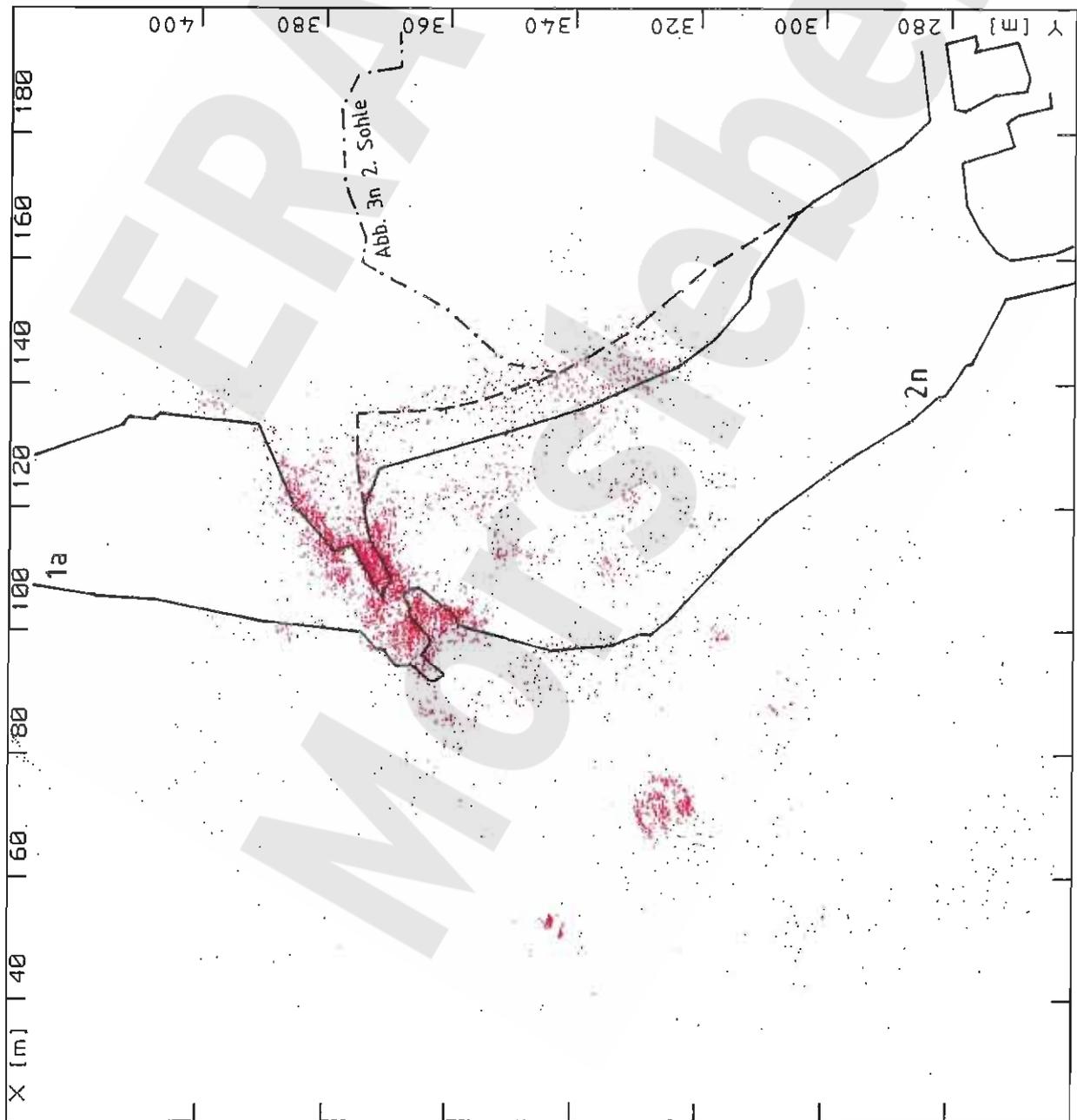


$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-269 \text{ m} < Z < -264 \text{ m}$
 4485 Ereignisse

Konturen:

- 2a-Sohle
(Firste -258 mNN)
- 2a-Sohle (-267 mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
 Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -269 mNN bis -264 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.



$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-264 \text{ m} < Z < -259 \text{ m}$
 6105 Ereignisse

Konturen:

- 2a-Sohle
(Firste 258 m NN)
- 2a-Sohle (-267 m NN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
 Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -264 mNN bis -259 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.



$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-259 \text{ m} < Z < -253 \text{ m}$
 10899 Ereignisse

Konturen:

- 1. Sohle (-253 m NN)
- 2a-Sohle (-267 m NN)

Geologie:

Niveau 1. Sohle (-253 m NN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:

Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -259 m NN bis -253 m NN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.



20 m < X < 200 m
 260 m < Y < 430 m
 -253 m < Z < -249 m
 7020 Ereignisse

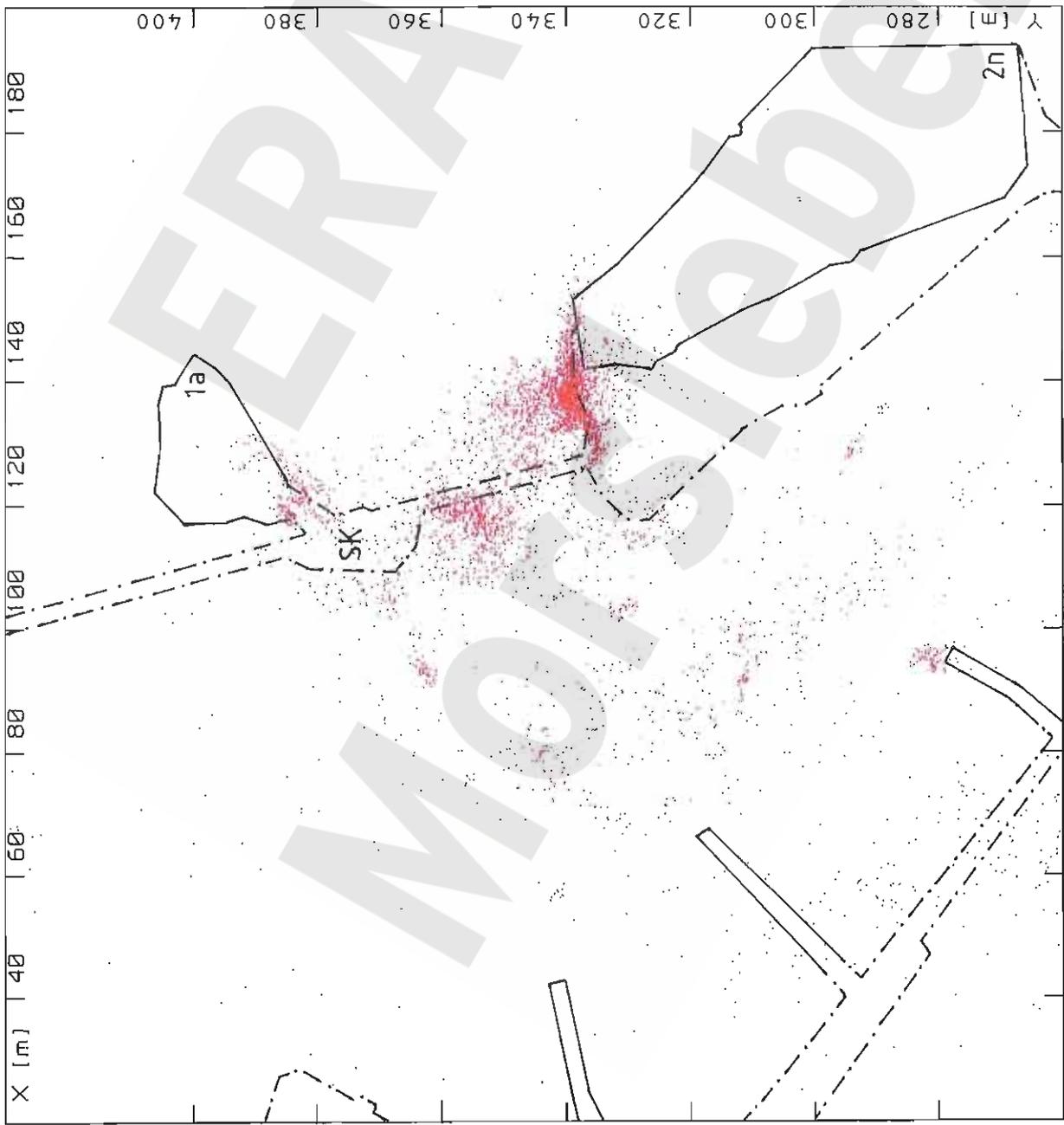
Konturen:

- 1a-Sohle (-245 mNN)
- 1. Sohle (-253 mNN)
- 2a-Sohle (-267 mNN)

Geologie:

Niveau 1. Sohle (-253 mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
 Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -253 mNN bis -249 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.



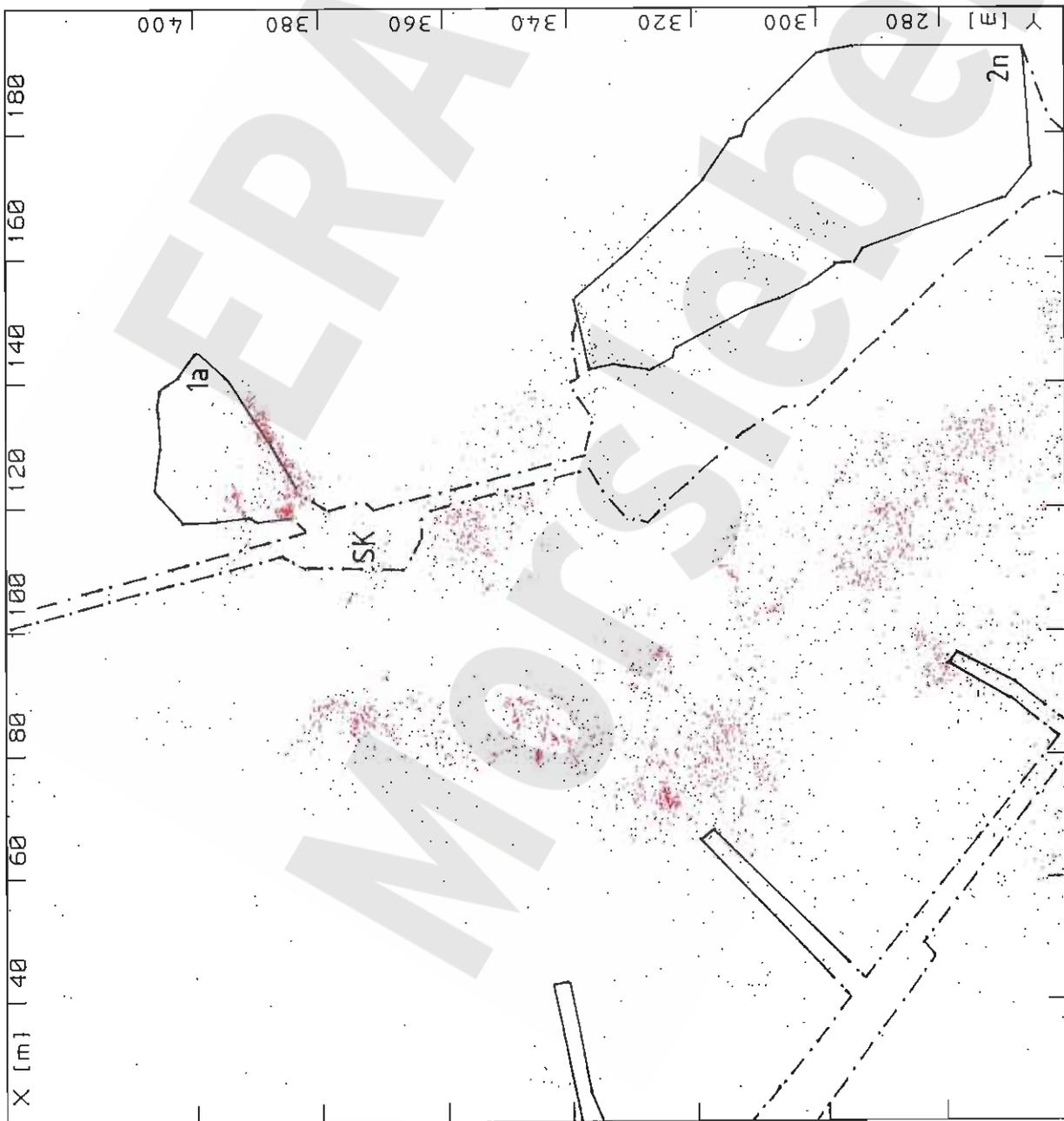
$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-249 \text{ m} < Z < -243 \text{ m}$
 5222 Ereignisse

Konturen:

- 1a-Sohle (-245 mNN)
- - - 1. Sohle (-253 mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
 Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -249 mNN bis -243 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.





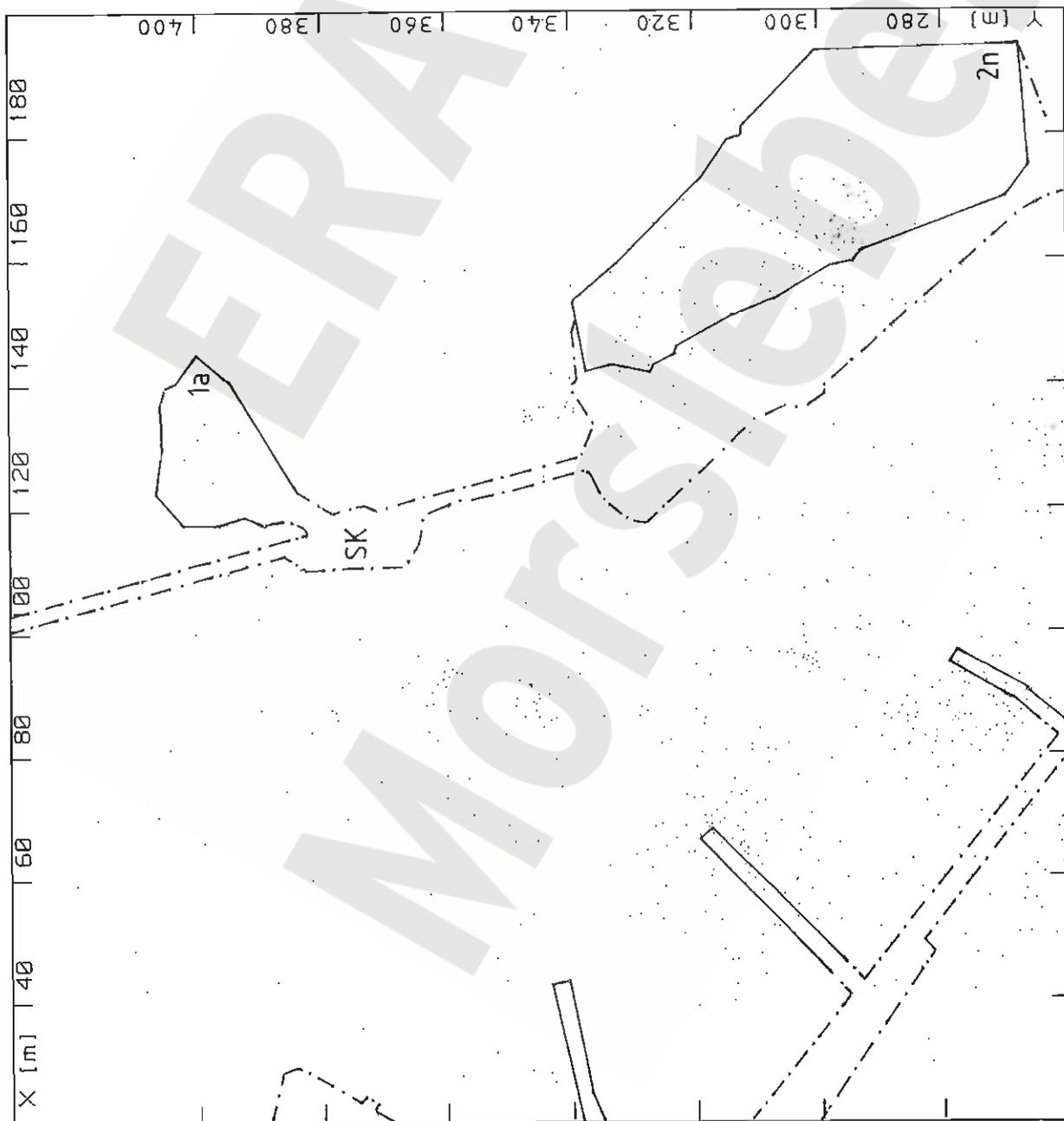
$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-243 \text{ m} < Z < -225 \text{ m}$
 4164 Ereignisse

Konturen:

— 1a-Sohle (-245 mNN)
 -.-.- 1. Sohle (-253 mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
 Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -243 mNN bis -225 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.

BGR
 B 2.4



$20 \text{ m} < X < 200 \text{ m}$
 $260 \text{ m} < Y < 430 \text{ m}$
 $-225 \text{ m} < Z < -200 \text{ m}$
 678 Ereignisse

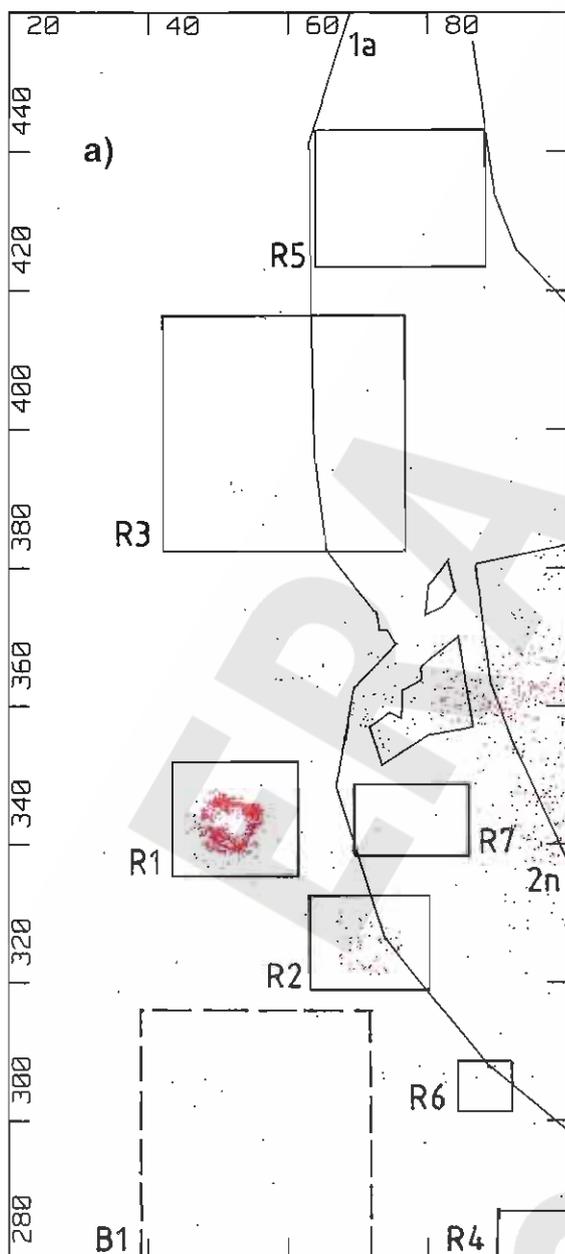
Konturen:

- 1a-Sohle (-245 mNN)
- - - 1. Sohle (-253 mNN)

Mikroakustik ERAM Zentralteil:

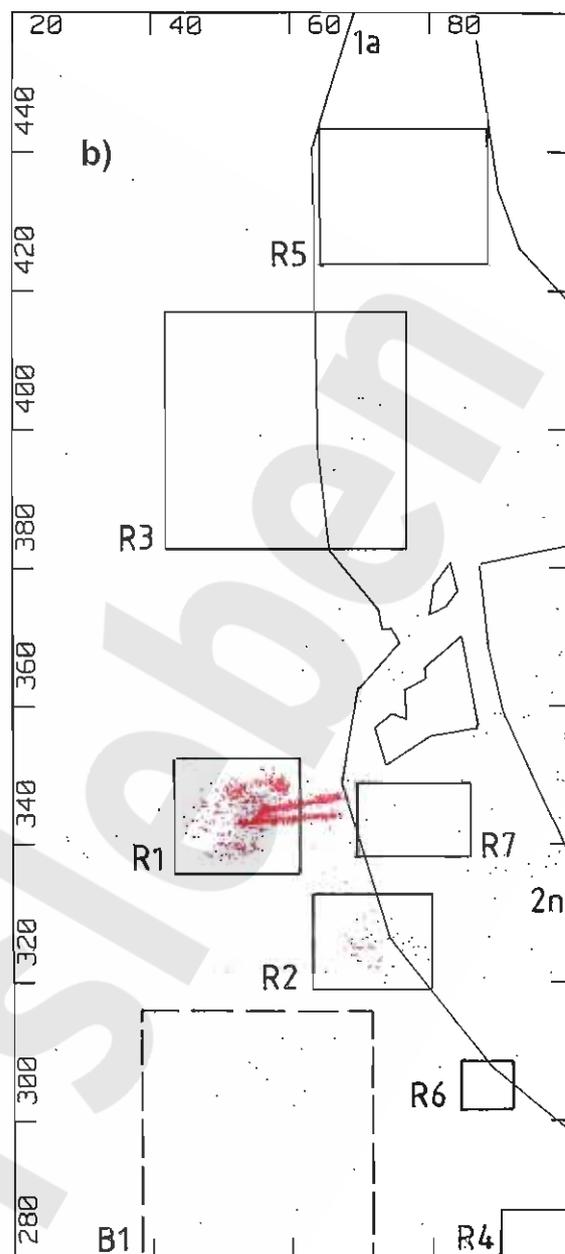
Horizontalschnitt mit Ortungen
 im Tiefenbereich -225 mNN bis -200 mNN
 und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.

Anlage 2.20



5/97

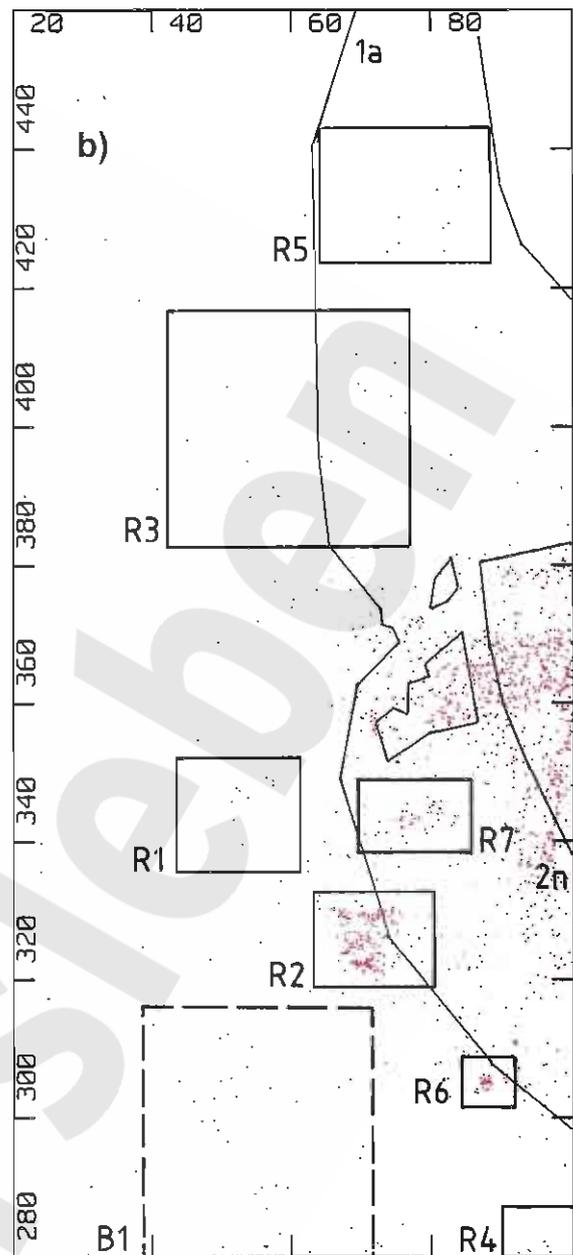
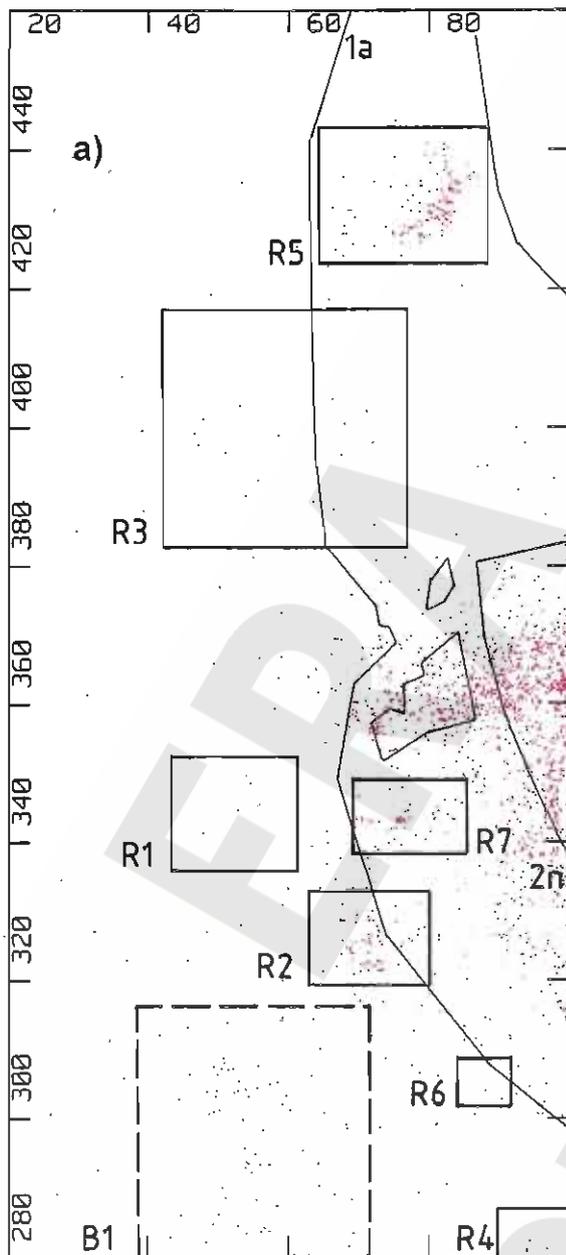
$20 \text{ m} < X < 100 \text{ m}$
 $280 \text{ m} < Y < 460 \text{ m}$
 $-290 \text{ m} < Z < -260 \text{ m}$
 1542 Ereignisse



4/98

$20 \text{ m} < X < 100 \text{ m}$
 $280 \text{ m} < Y < 460 \text{ m}$
 $-290 \text{ m} < Z < -260 \text{ m}$
 2274 Ereignisse

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt (Sohlrif) mit Ortungen westlich der Abbaureihen 2n und 1a, Teufenbereich -290 bis -260 m NN, Konturen 2. Sohle -291 m NN: a) Zeitraum Monat 5/97, b) Zeitraum Monat 4/98.



10/98

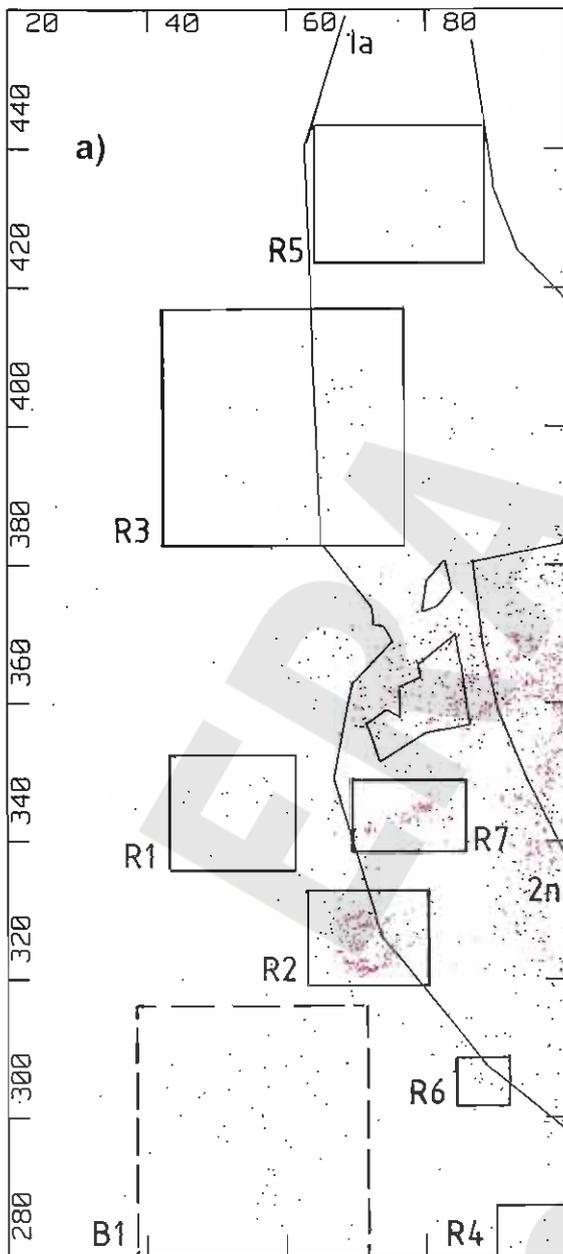
$20 \text{ m} < X < 100 \text{ m}$
 $280 \text{ m} < Y < 460 \text{ m}$
 $-290 \text{ m} < Z < -240 \text{ m}$
 1716 Ereignisse

2/99

$20 \text{ m} < X < 100 \text{ m}$
 $280 \text{ m} < Y < 460 \text{ m}$
 $-290 \text{ m} < Z < -240 \text{ m}$
 1305 Ereignisse

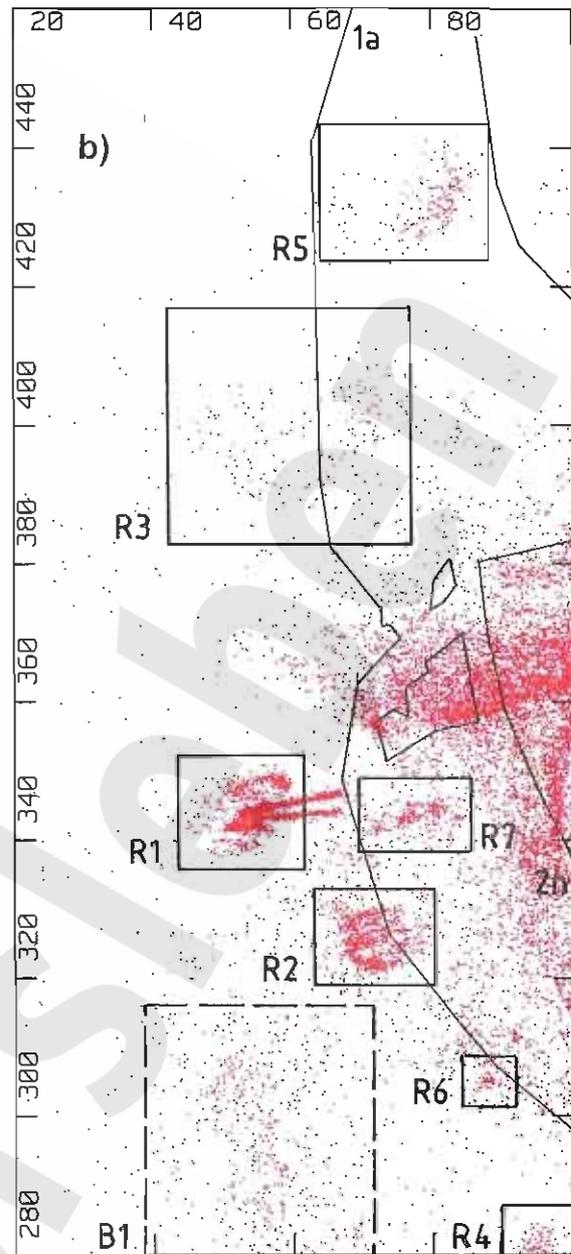
Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt (Sohlriß) mit Ortungen westlich der Abbaureihen 2n und 1a, Teufenbereich -290 bis -240 m NN, Konturen 2. Sohle -291 m NN: a) Zeitraum Monat 10/98, b) Zeitraum Monat 2/99.

Anlage 2.22



3/99

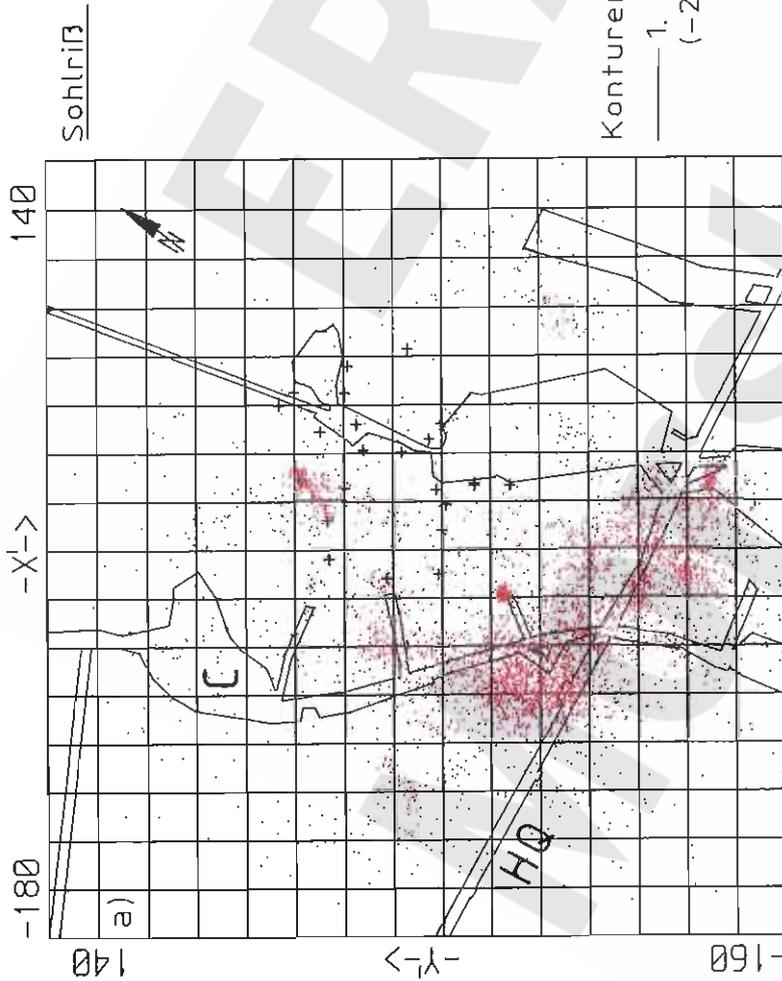
$20 \text{ m} < X < 100 \text{ m}$
 $280 \text{ m} < Y < 460 \text{ m}$
 $-290 \text{ m} < Z < -240 \text{ m}$
 1379 Ereignisse



4/98 - 3/99

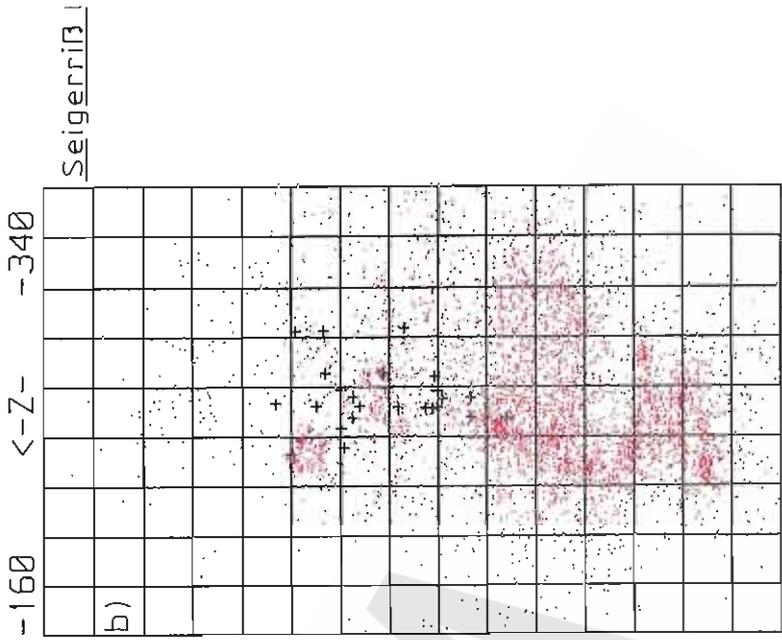
$20 \text{ m} < X < 100 \text{ m}$
 $280 \text{ m} < Y < 460 \text{ m}$
 $-290 \text{ m} < Z < -240 \text{ m}$
 16602 Ereignisse

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Horizontalschnitt (Sohlriß) mit Ortungen westlich der Abbaureihen 2n und 1a, Teufenbereich -290 bis -240 m NN, Konturen 2. Sohle -291 m NN: a) Zeitraum Monat 3/99, b) Gesamtzeitraum Monate 4/98 - 3/99.



Konturen:

— 1. Sohle
(-253 mNN)



Seigerriß I

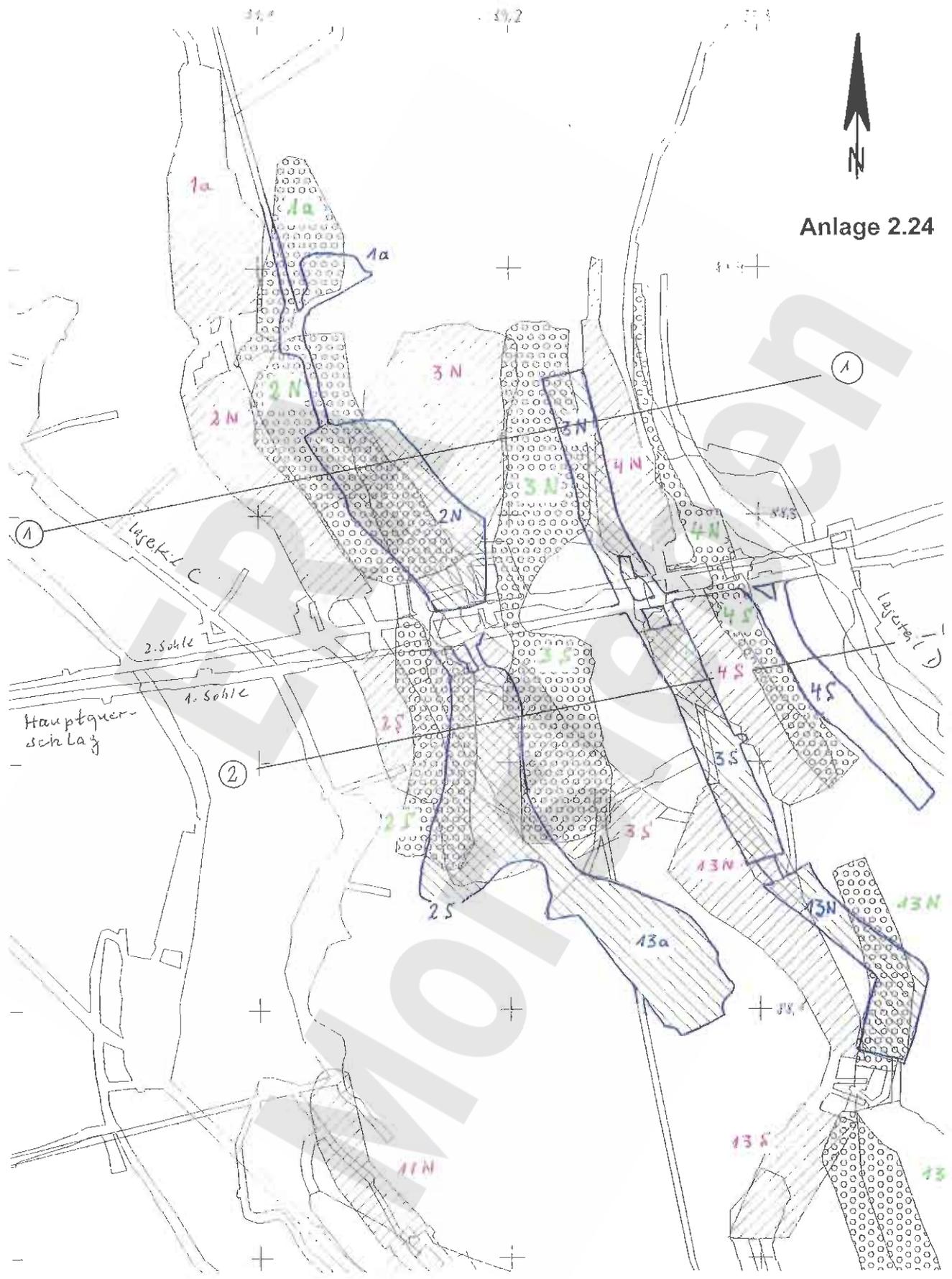
- F. Abbau 1a
(-230 mNN)
- 1. S. (-253 mNN)
- 2a-S. (-267 mNN)
- 2. S. (-291 mNN)
- 3a-S. (-305 mNN)

F. Abbau 1a
(-230 mNN)
1. S. (-253 mNN)
2a-S. (-267 mNN)
2. S. (-291 mNN)
3a-S. (-305 mNN)

BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil:
Ortungen im weiteren Bereich, M > 60 dB,
Zeitraum 4/98 - 3/99

Anlage 2.24



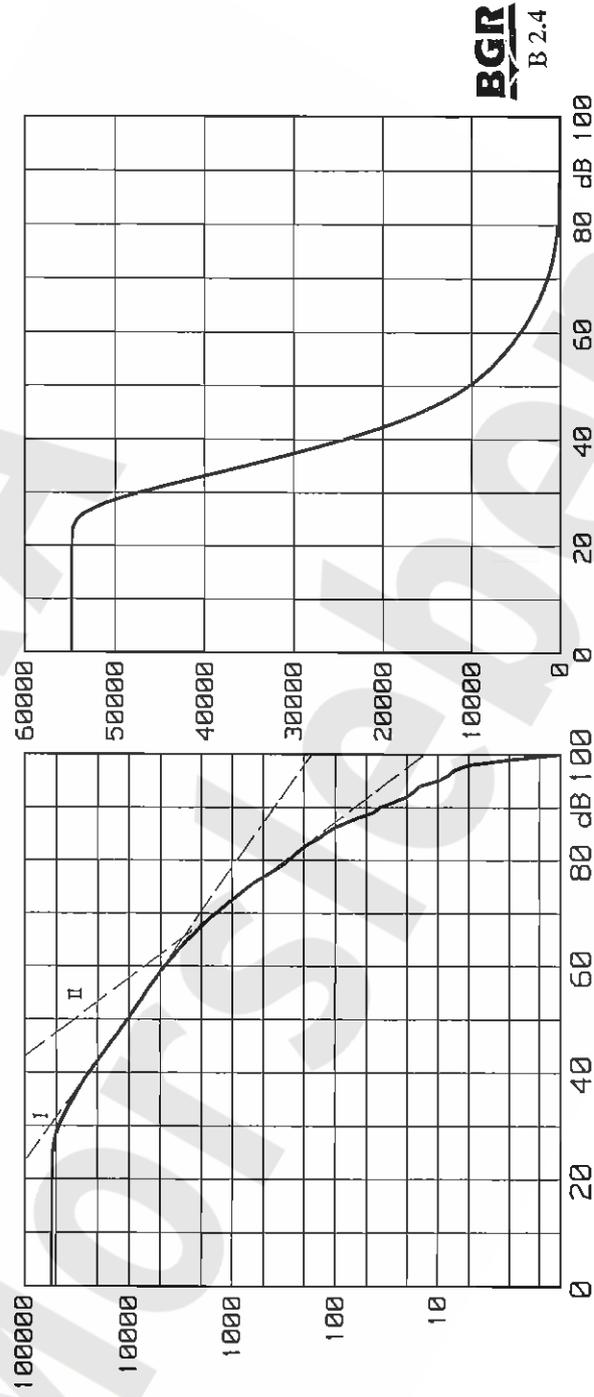
 = 2. Sohle  = 2a. Sohle  = 1. Sohle

Skizze der Hohlräume im oberen Zentralteil mit Hauptquerschlägen und angrenzenden Lagerteilen C und D (übereinanderprojizierte Sohlrisse 1., 2a- und 2. Sohle).

Bartensleben
Hauptmulde
1:2000
BGR, 2.4/2.5

April 98 bis Maerz 99, $0 < X < 220$, $220 < Y < 460$, $-350 < Z < -150$
 54966 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 41.1 dB

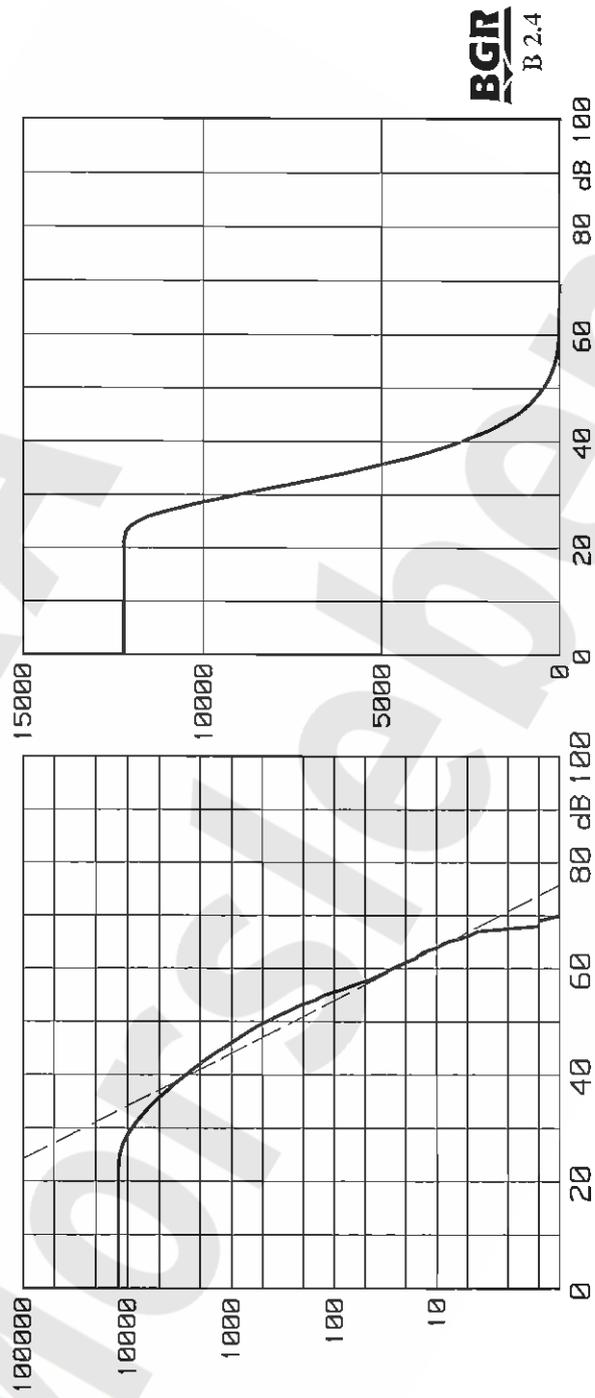
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Gesamtbereich.

April 98 bis März 99, $110 < X < 170$, $330 < Y < 365$, $-259 < Z < -243$
 12211 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 35.15 dB

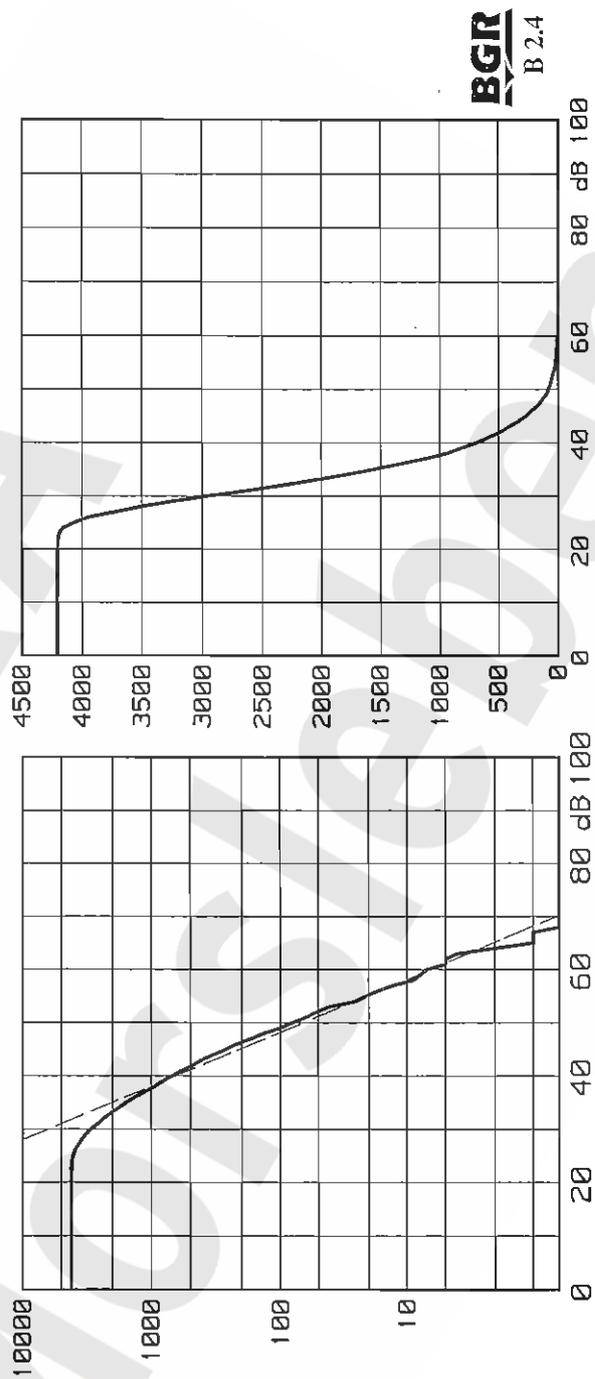
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 1.

April 98 bis März 99, $110 < X < 170$, $350 < Y < 376$, $-264 < Z < -253$
 4206 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 33.95 dB

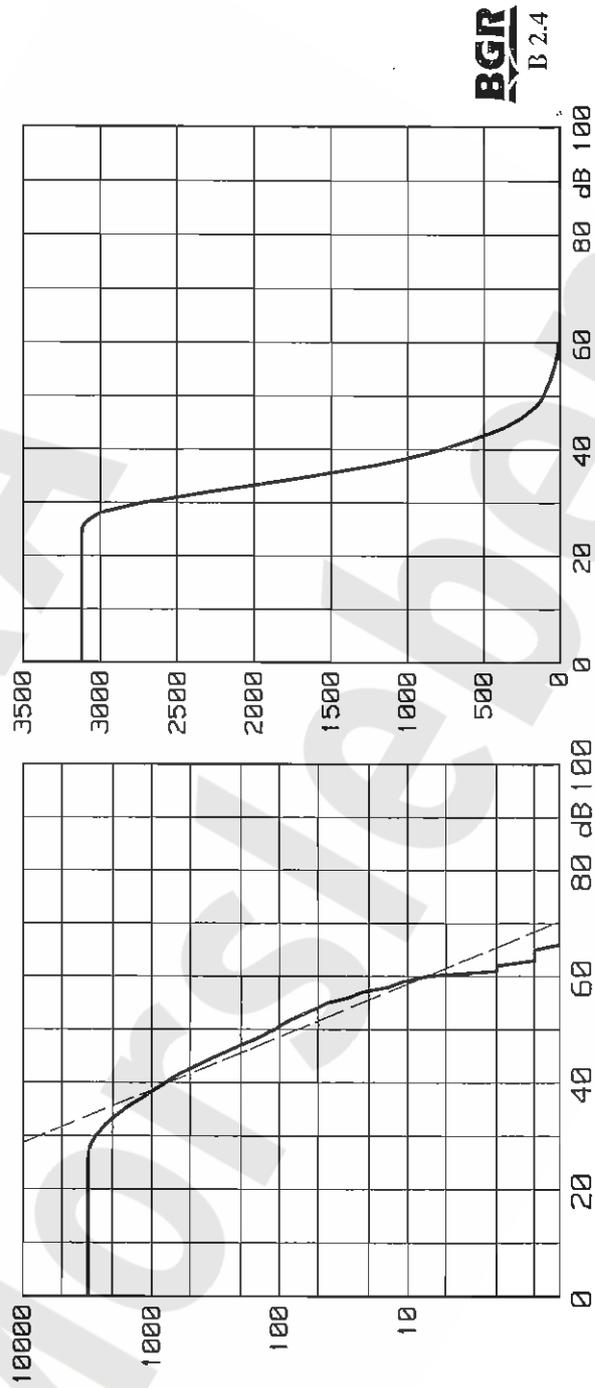
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 2.

April 98 bis März 99, 110<X<170, 376<Y<430, -264<Z<-253
 3124 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 36.41 dB

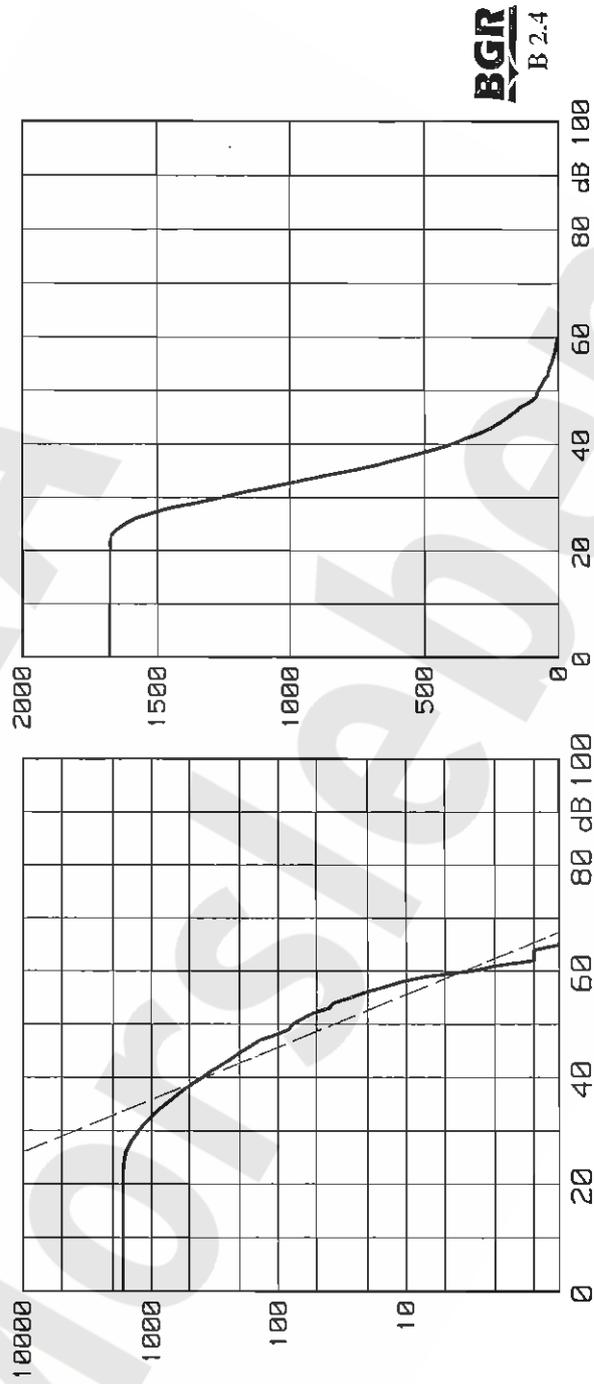
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 3.

April 98 bis Maerz 99, $420 < X + Y < 460$, $140 < Y - X < 240$, $-260 < Z < -240$
 1678 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 35.51 dB

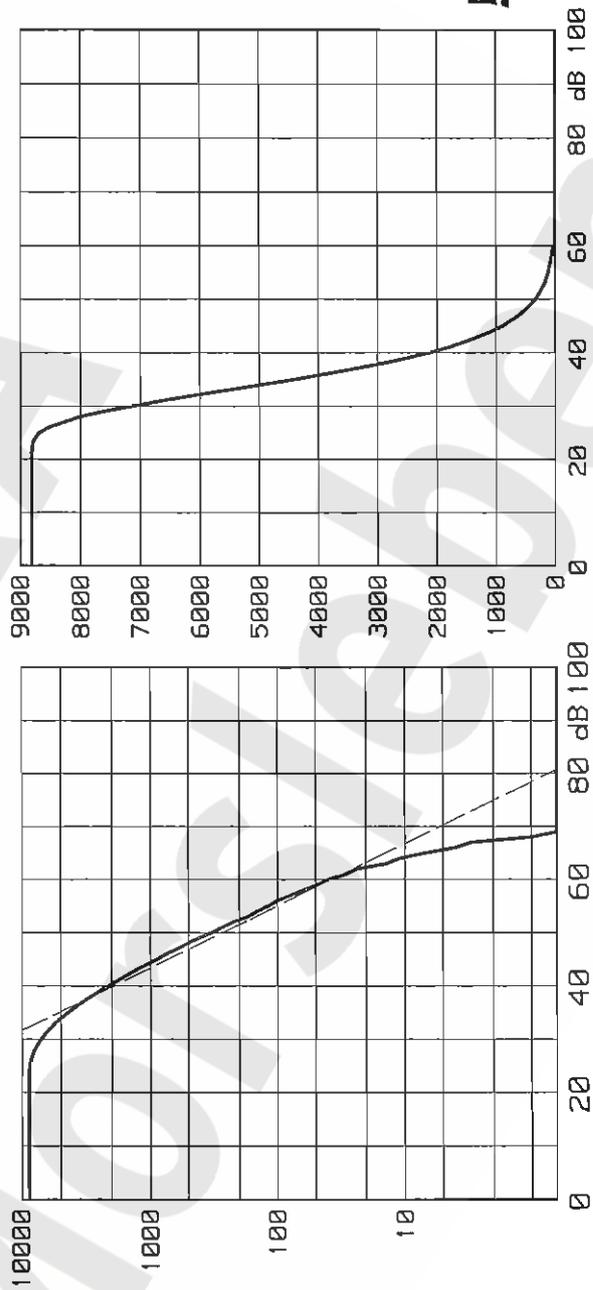
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 4.

April 98 bis März 99, $90 < X < 112,330 < Y < 400, -278 < Z < -253$
 8821 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 35.97 dB

Magnitudenverteilung (kumulativ)

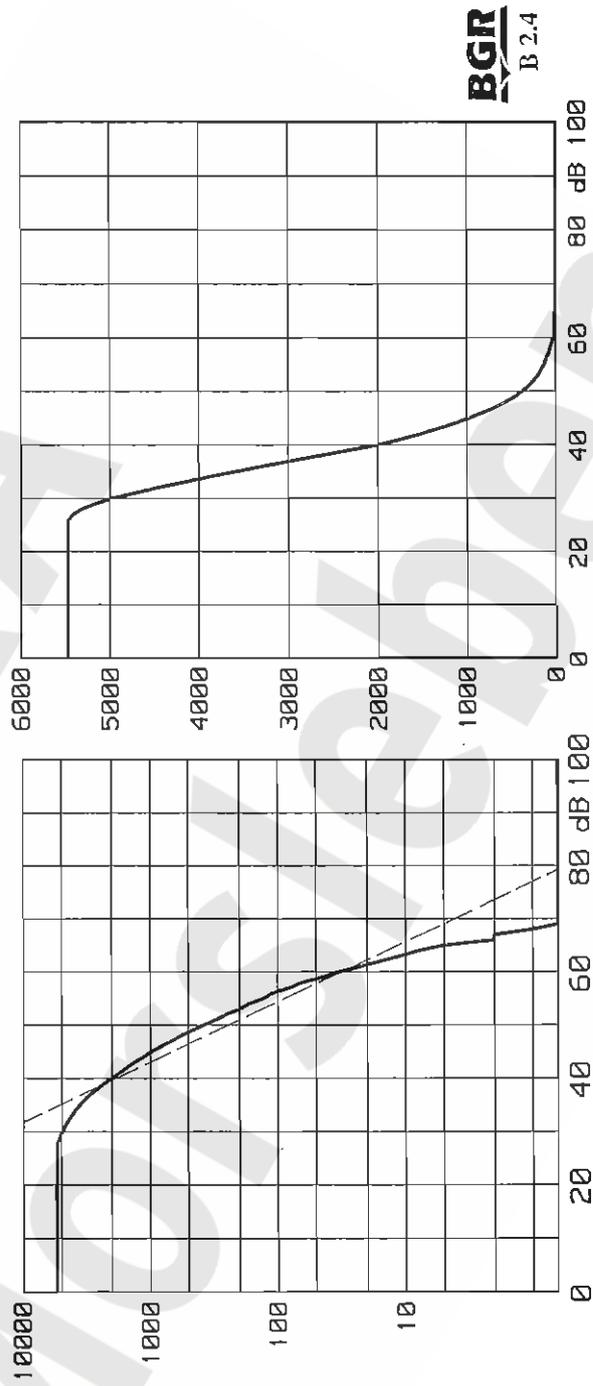


BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 5.

April 98 bis Maerz 99, $60 < X < 110, 350 < Y < 390, -300 < Z < -269$
 5479 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 38.53 dB

Magnitudenverteilung (kumulativ)

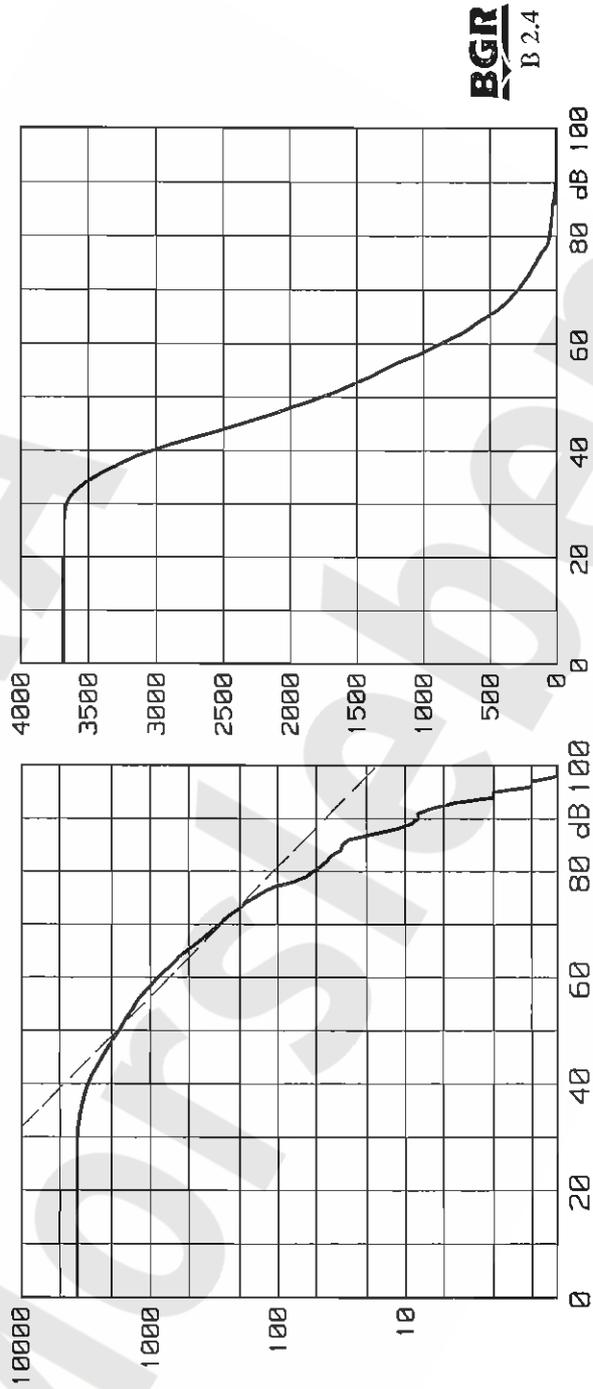


BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 6.

April 98 bis Maerz 99, $20 < X < 90$, $240 < Y < 440$, $-253 < Z < -180$
 3685 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 51.27 dB

Magnitudenverteilung (kumulativ)

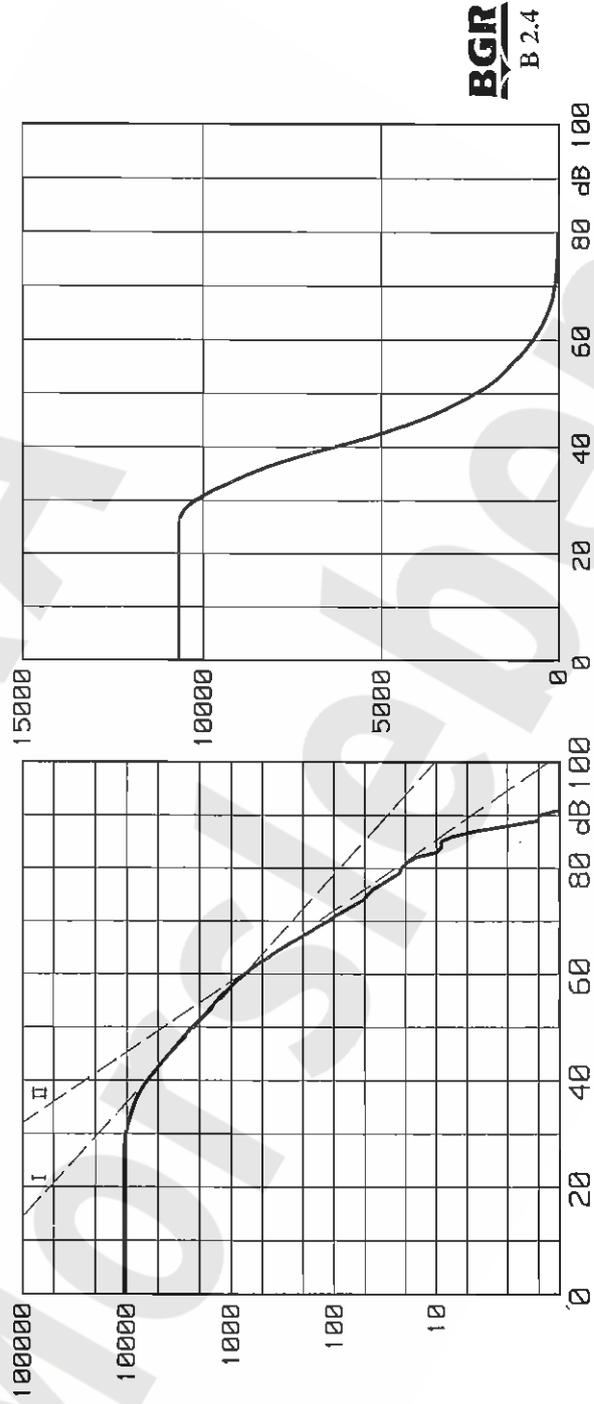


BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 7.

April 98 bis März 99, $20 < X < 90, 240 < Y < 440, -300 < Z < -253$
 10672 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 43.51 dB

Magnitudenverteilung (kumulativ)

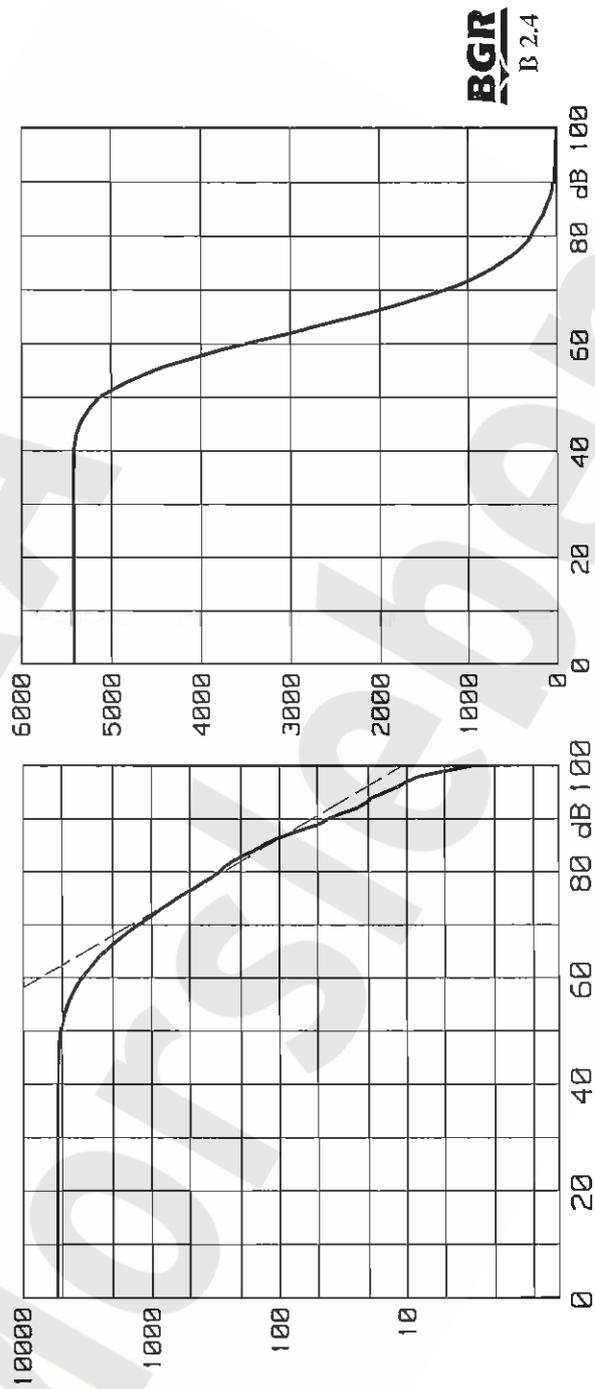


BGR
B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 8.

April 98 bis Maerz 99, $0 < X < 250$, $200 < Y < 280$, $-340 < Z < -160$
 5428 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 63.87 dB

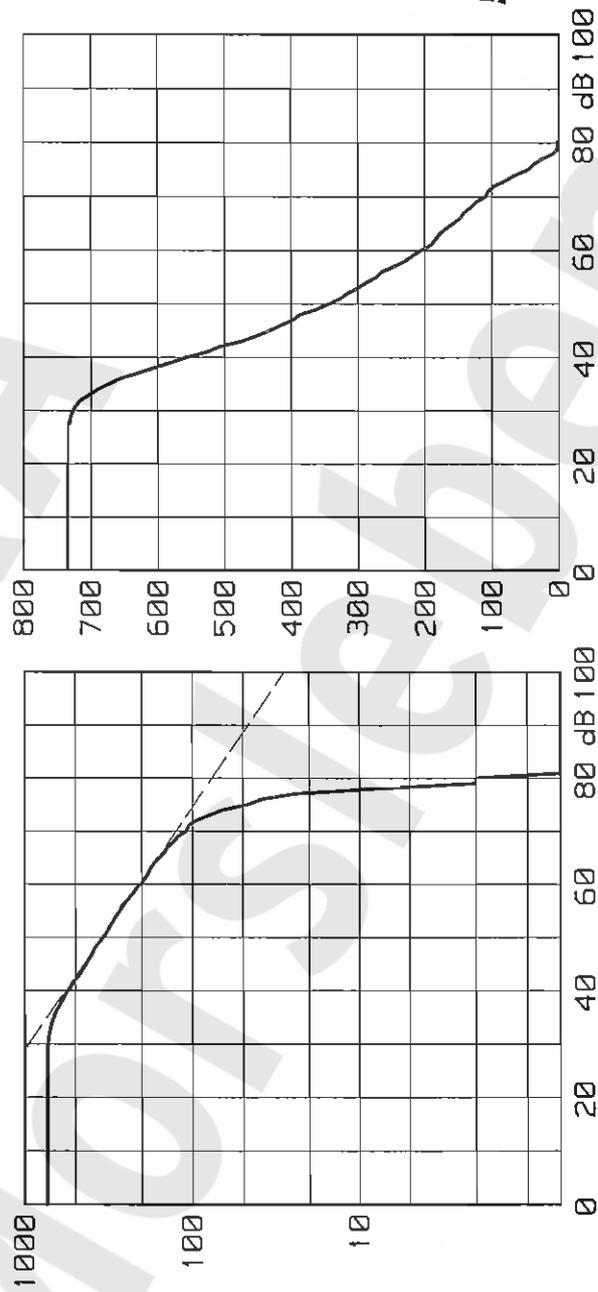
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 9.

April 98 bis März 99, $20 < X < 100,340 < Y < 420, -245 < Z < -200$
 735 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 51.58 dB

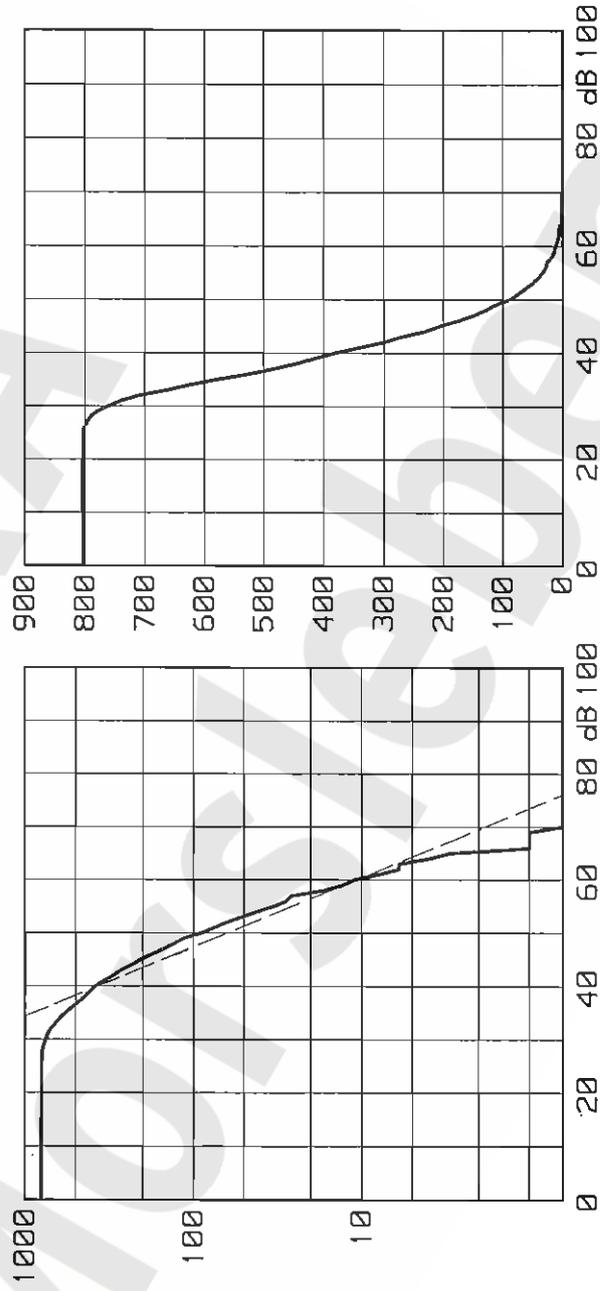
Magnitudenverteilung (kumulativ)



Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 10.

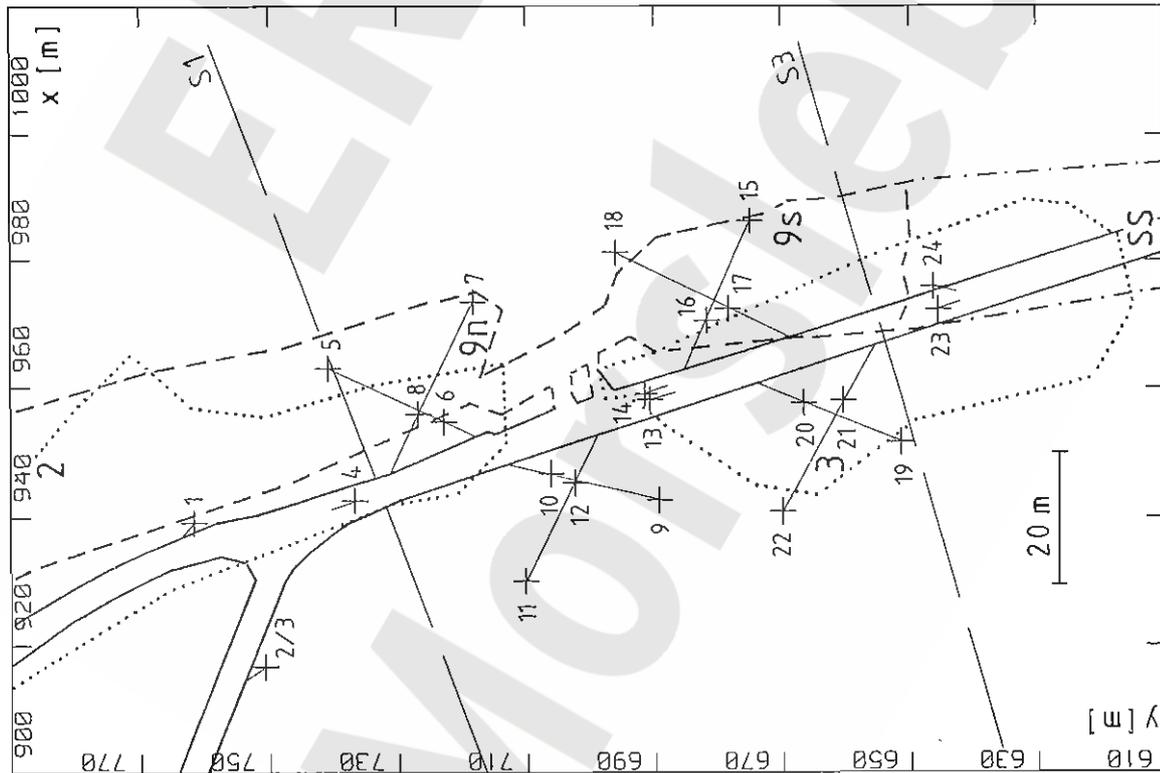
April 98 bis März 99, $70 < X < 90$, $330 < Y < 370$, $-270 < Z < -245$
 804 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 40.3 dB

Magnitudenverteilung (kumulativ)



BGR
 B 2.4

Mikroakustik ERAM Zentralteil: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), hier Bereich 11.

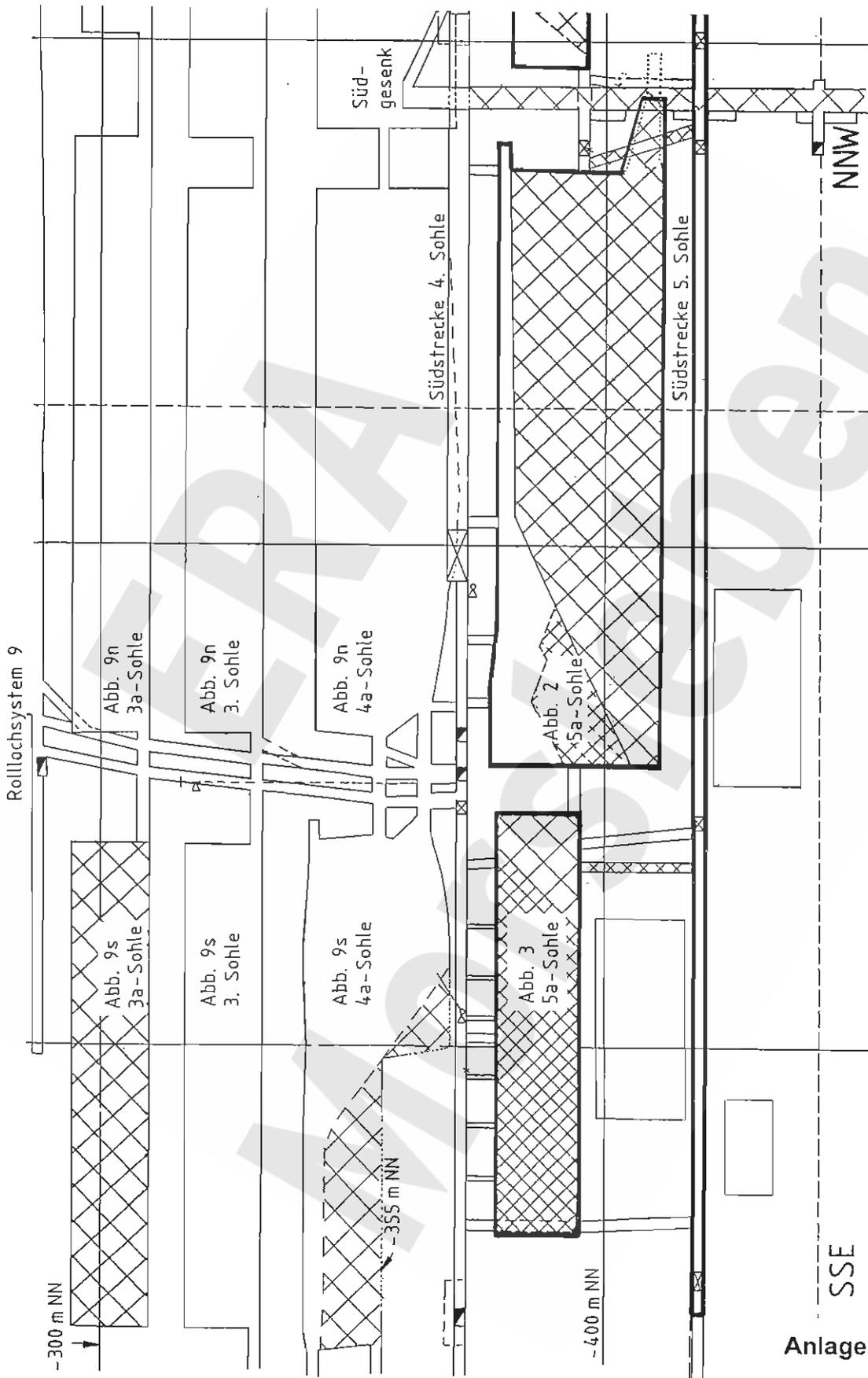


900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m

Konturen:

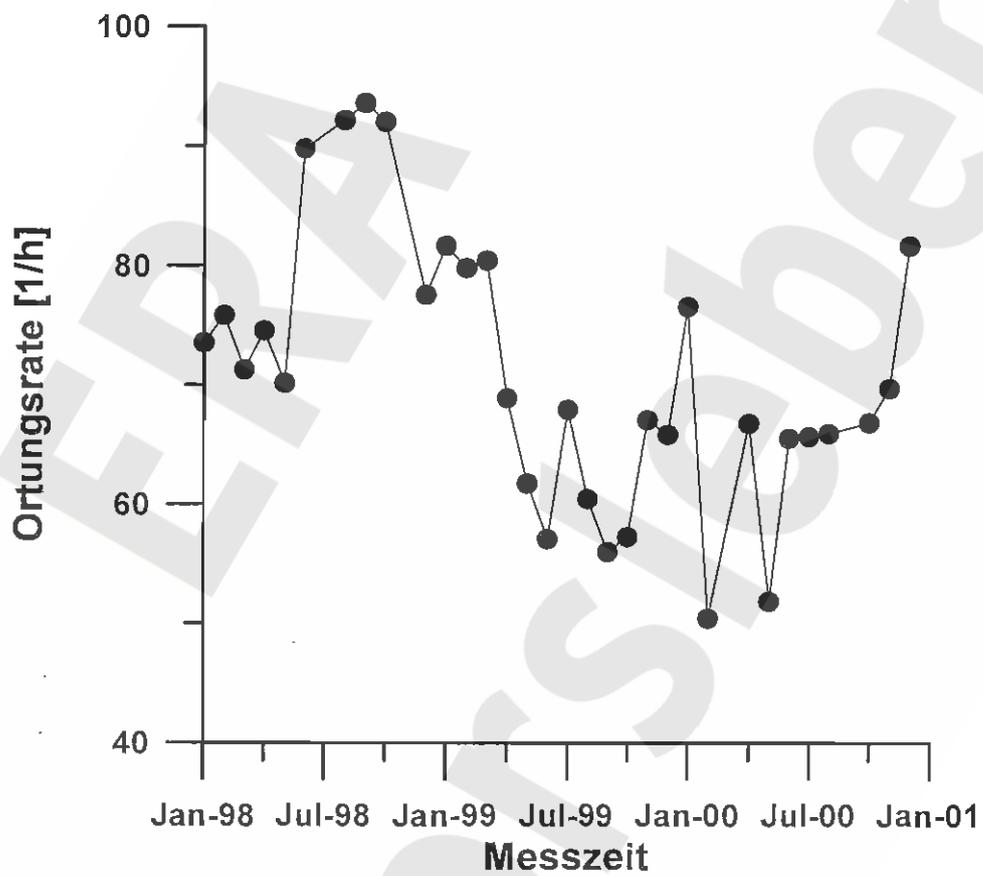
- - - - 4a-Sohle (-355 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-372 m NN)
- — — 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld: Anordnung der Aufnehmer im Bereich 4a-Sohle bis 5a-Sohle mit Lage der Vertikalschnitte S1 und S3 und Abbaubezeichnungen.

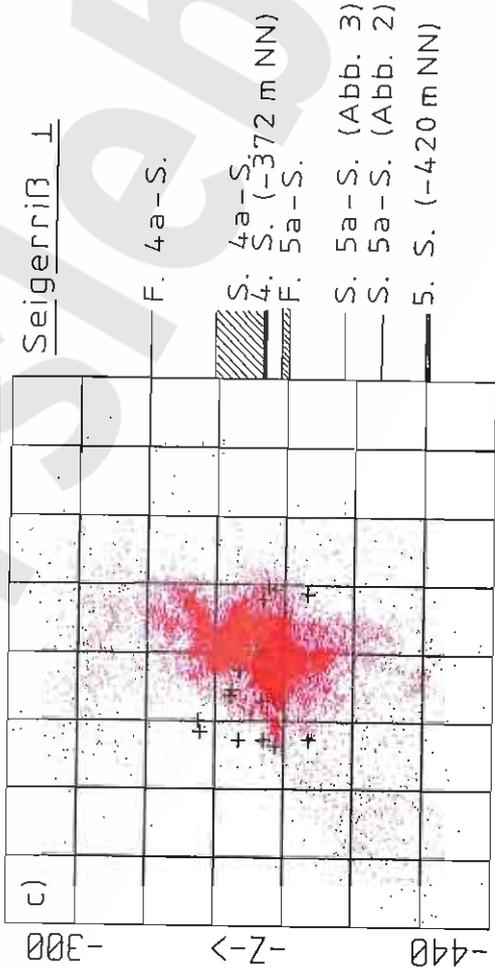
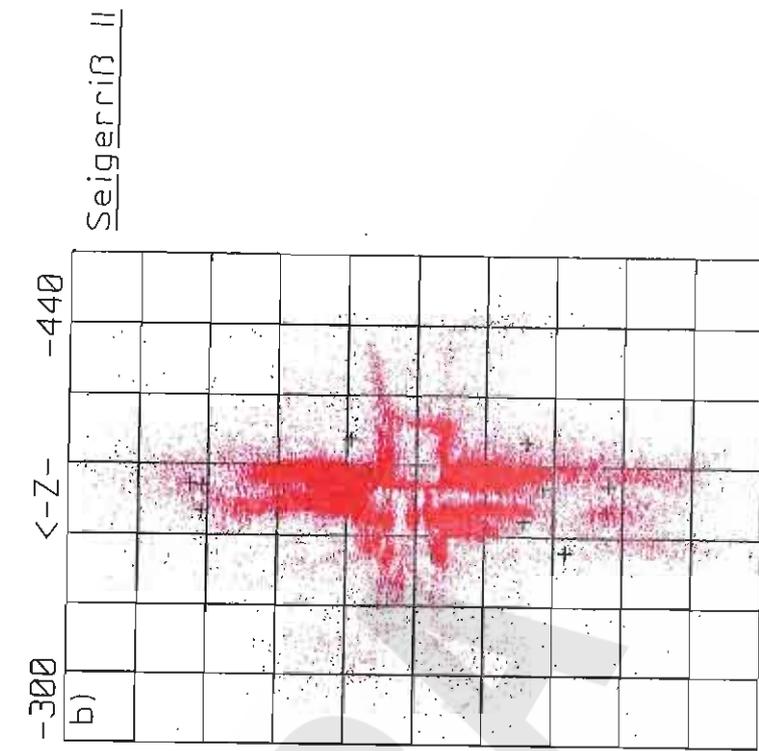
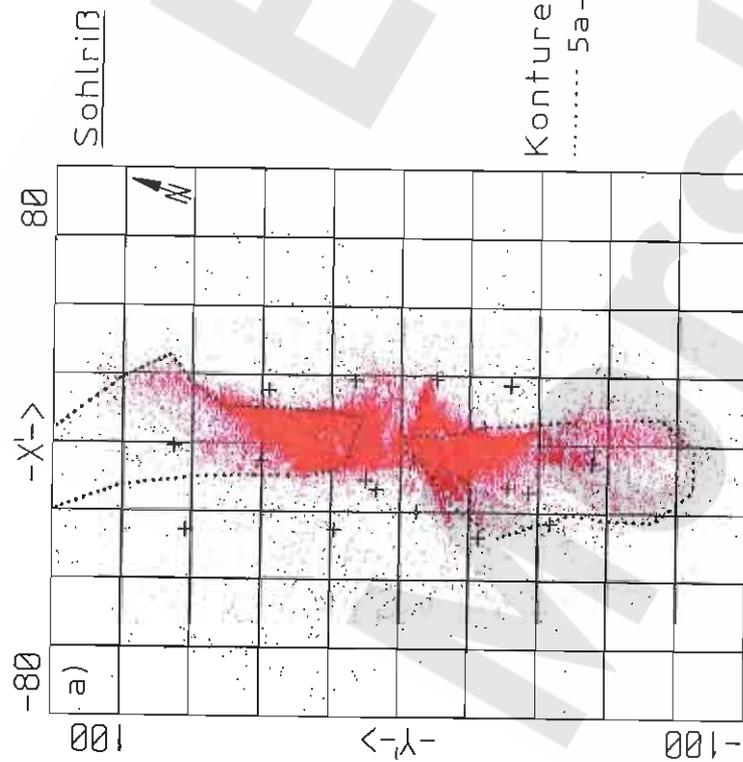


Seigerriß II (seitenverkehrt zu Seigerriß a2 - d2 des Rißwerks)

Anlage 2.38

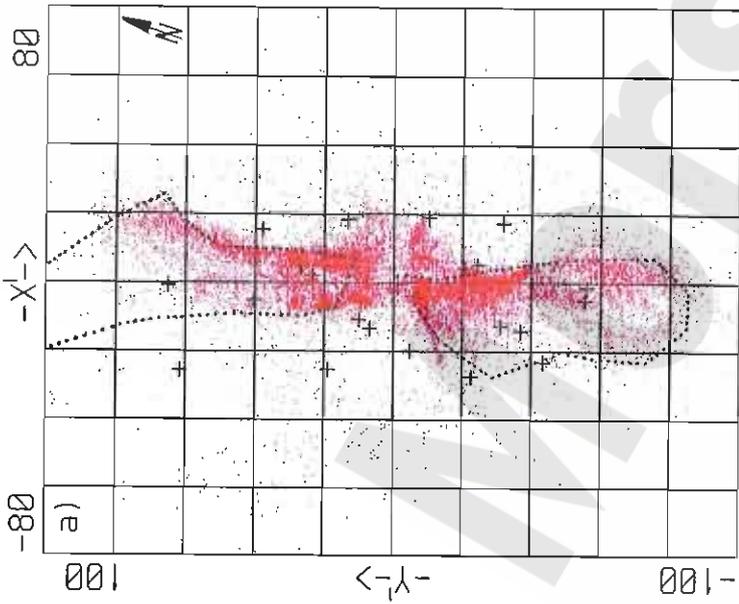


Mikroakustik ERAM Südfeld: Entwicklung der Ortungsrate (Ortungen pro Stunde, hier Monatsmittelwerte) von 1998 bis 2000



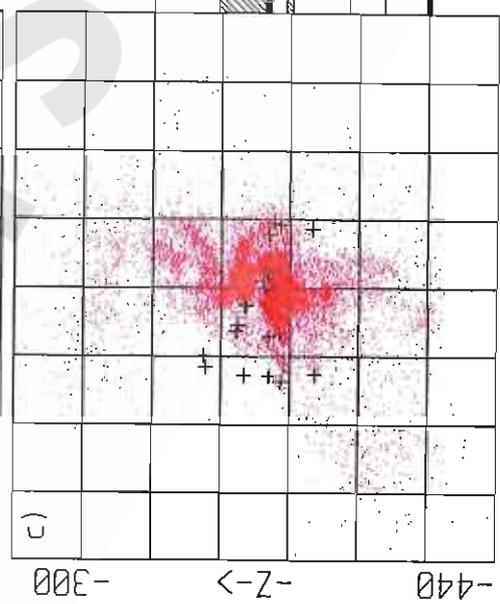
Anlage 2.40

Sohlriß



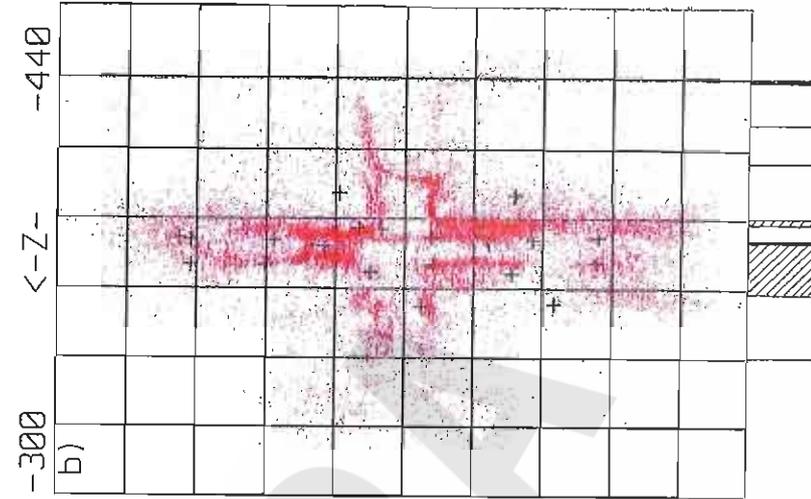
Konturen
..... 5a-Sohle

Seigerriff I



- F. 4a-S.
- S. 4a-S. (-372 m NN)
- F. 5a-S.
- S. 5a-S. (Abb. 3)
- S. 5a-S. (Abb. 2)
- S. 5. (-420 m NN)

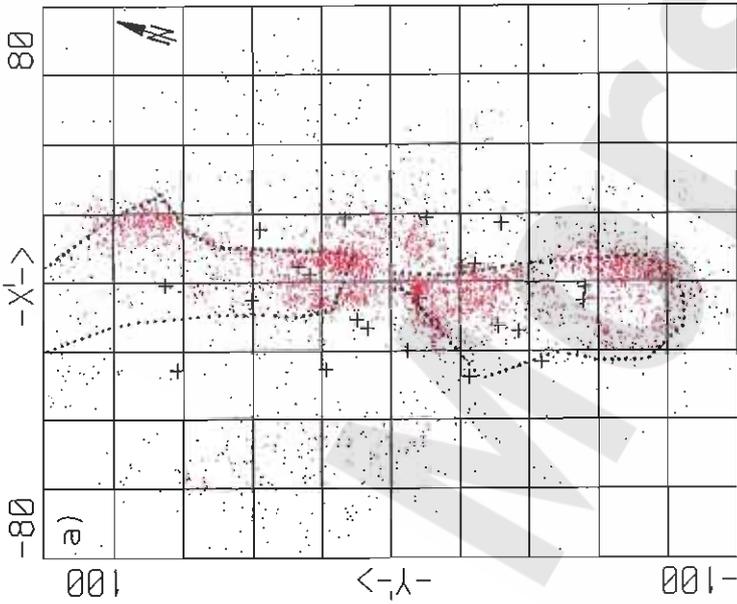
Seigerriff II



- F. 4a-S.
- S. 4a-S. (-372 m NN)
- S. 5a-S. (Abb. 3)
- S. 5a-S. (Abb. 2)
- S. 5. (-420 m NN)

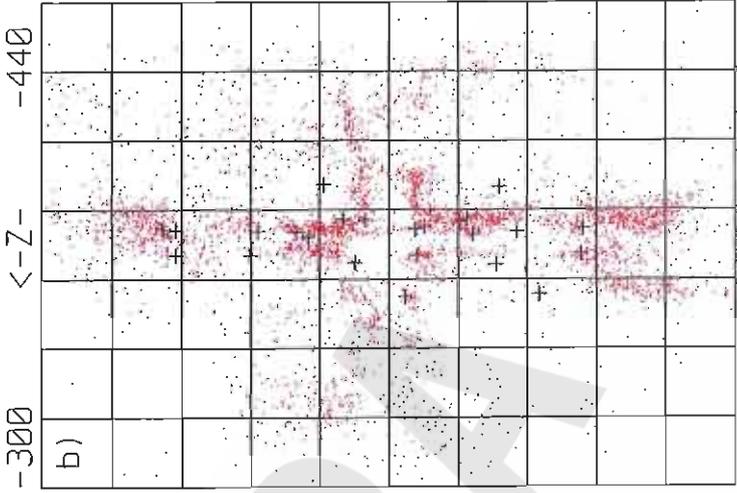


Mikroakustik ERAM Südfeld:
Ortungen 7/98, M > 40 dB

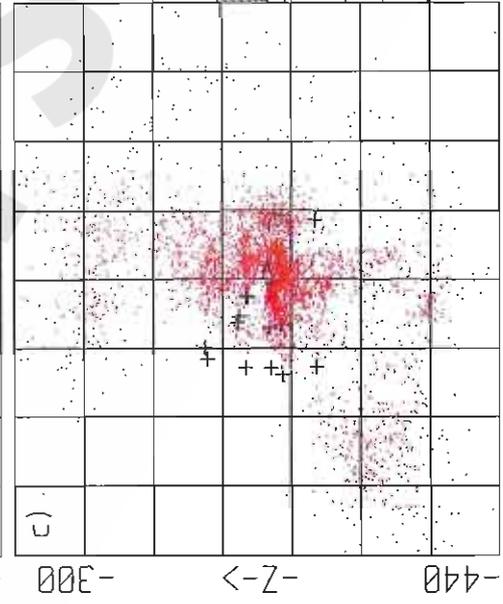


Sohrriß

Konturen
..... 5a-Sohle



Seigerriß II

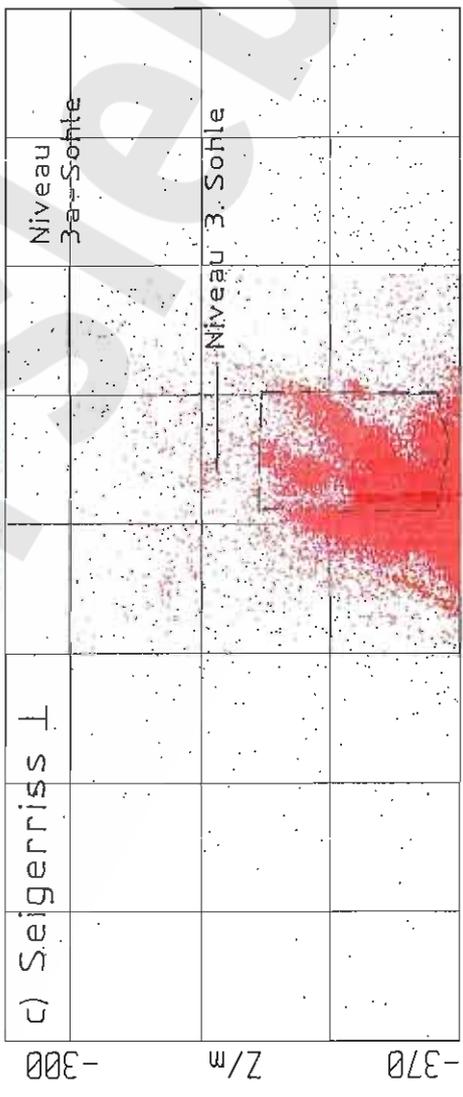
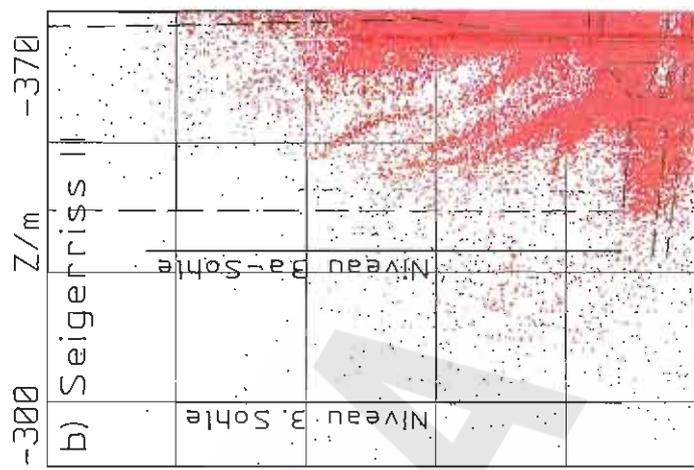
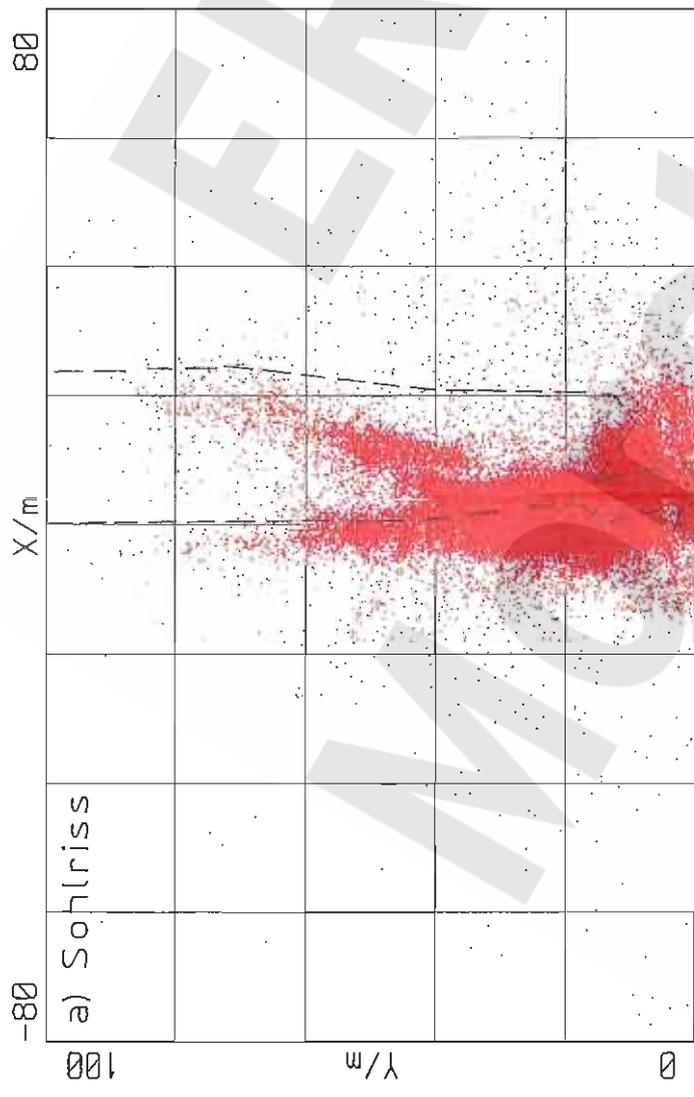


Seigerriß I

- F. 4a-S.
- S. 4a-S. (-372 m NN)
- F. 5a-S.
- S. 5a-S. (Abb. 3)
- S. 5a-S. (Abb. 2)
- 5. S. (-420 m NN)

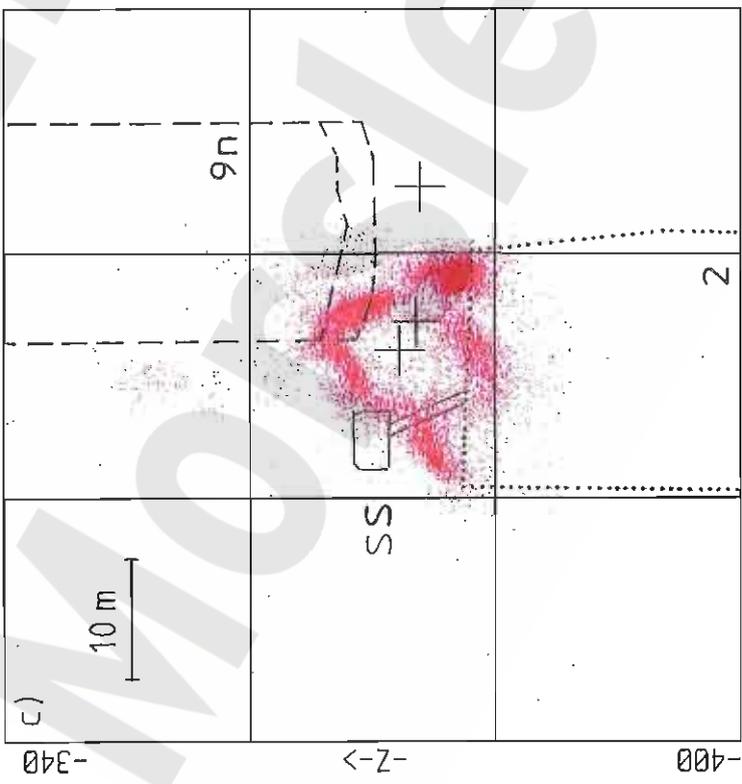
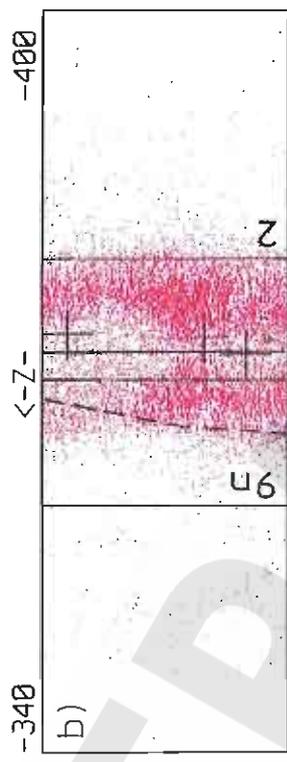
- F. 4a-S.
- S. 4a-S. (-372 m NN)
- F. 5a-S.
- S. 5a-S. (Abb. 3)
- S. 5a-S. (Abb. 2)
- 5. S. (-420 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:
Ortungen 7/98, M > 50 dB.



Konturen
 - - - - - Abbau 9n
 - - - - - 4a-Sohle

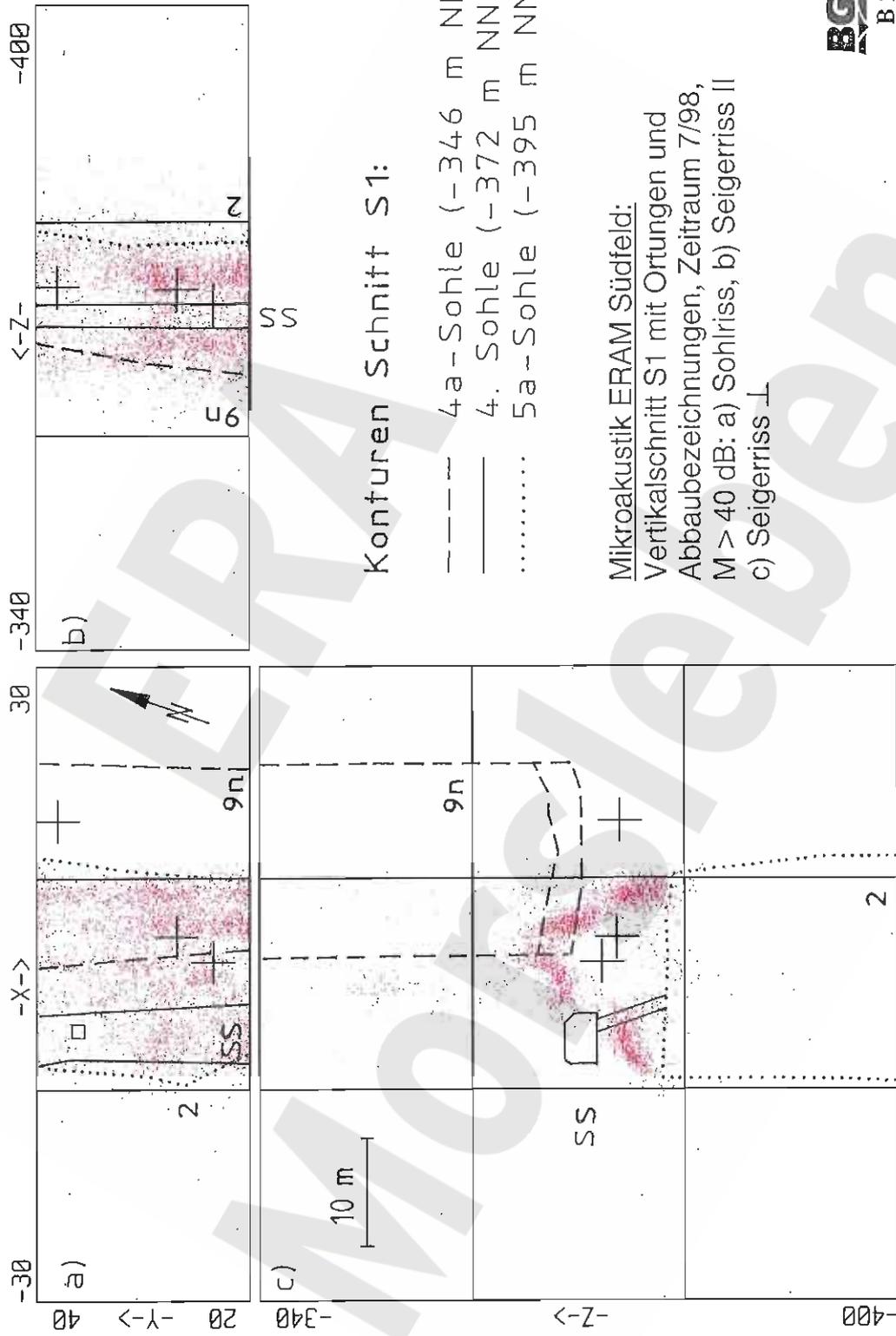
Mikroakustik ERAM Südfeld:
 Ortungen im Bereich von Abbau 9n,
 4a-Sohle, im Zeitraum 1/99 – 12/00,
 M > 10 dB.

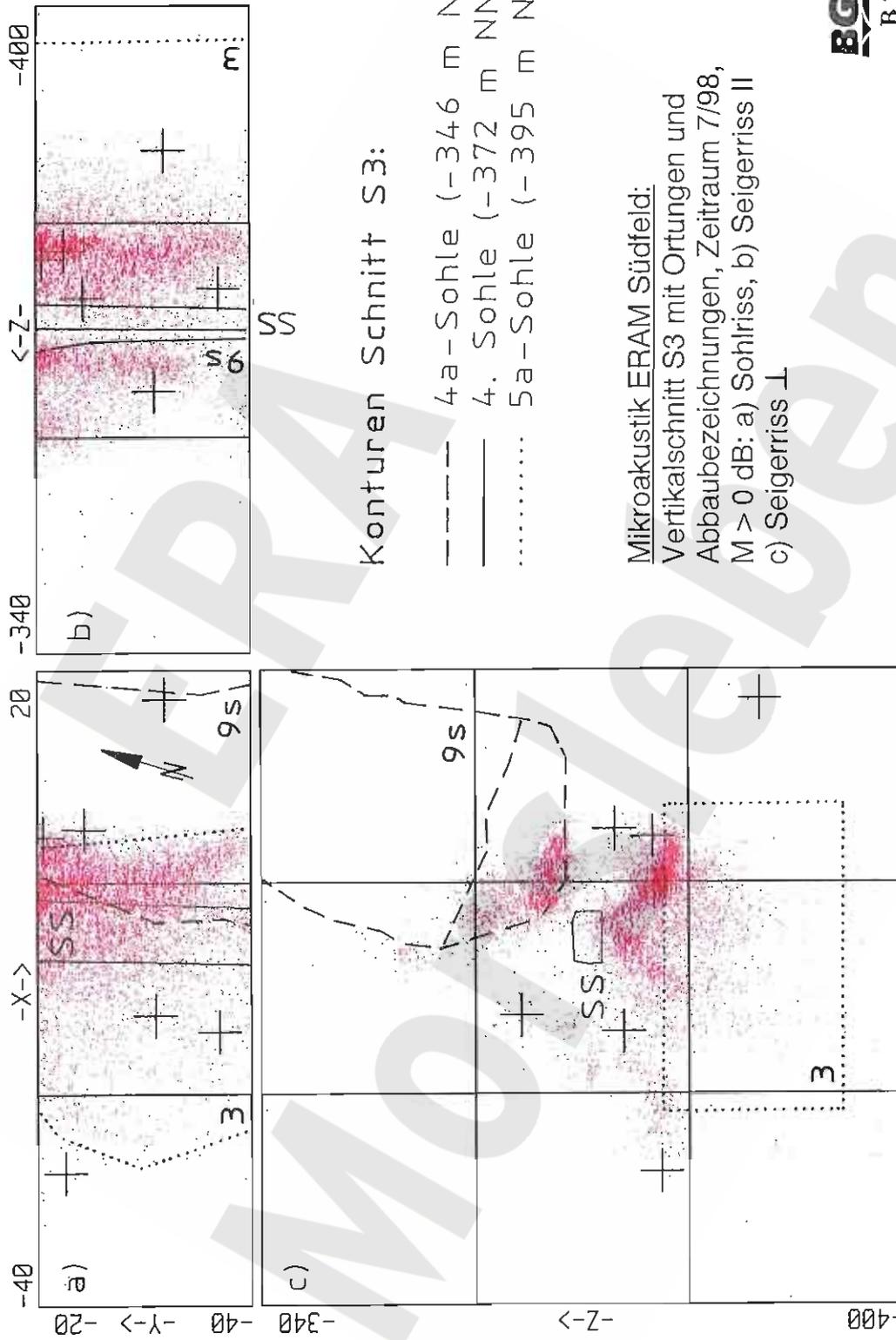


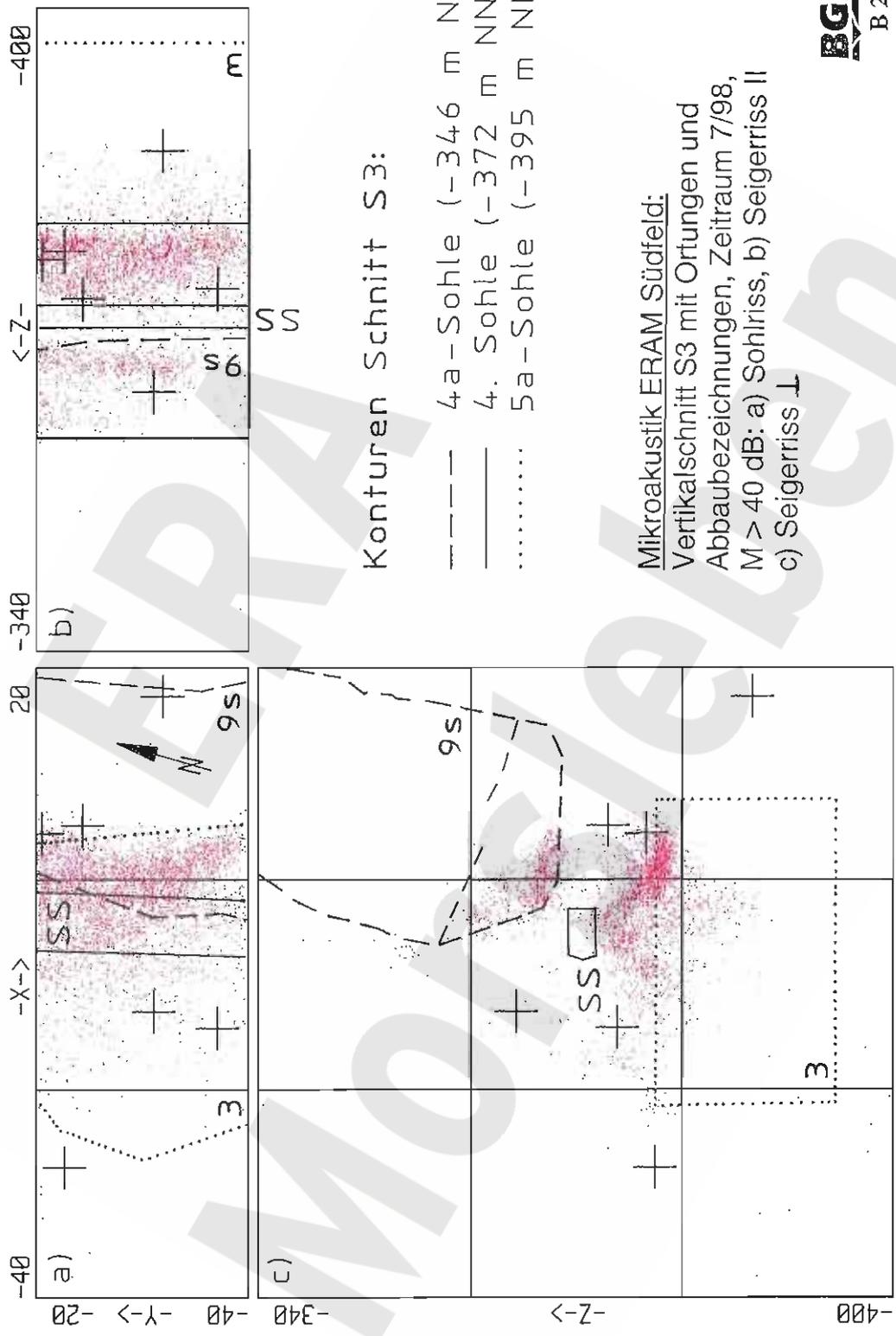
Konturen Schnitt S1:

- 4a-Sohle (-346 m NN)
- 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:
 Vertikalschnitt S1 mit Ortungen und
 Abbaubezeichnungen, Zeitraum 7/98,
 M > 0 dB: a) Sohlriss, b) Seigerriss II
 c) Seigerriss I







Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

900 m < X < 1020 m

610 m < Y < 790 m

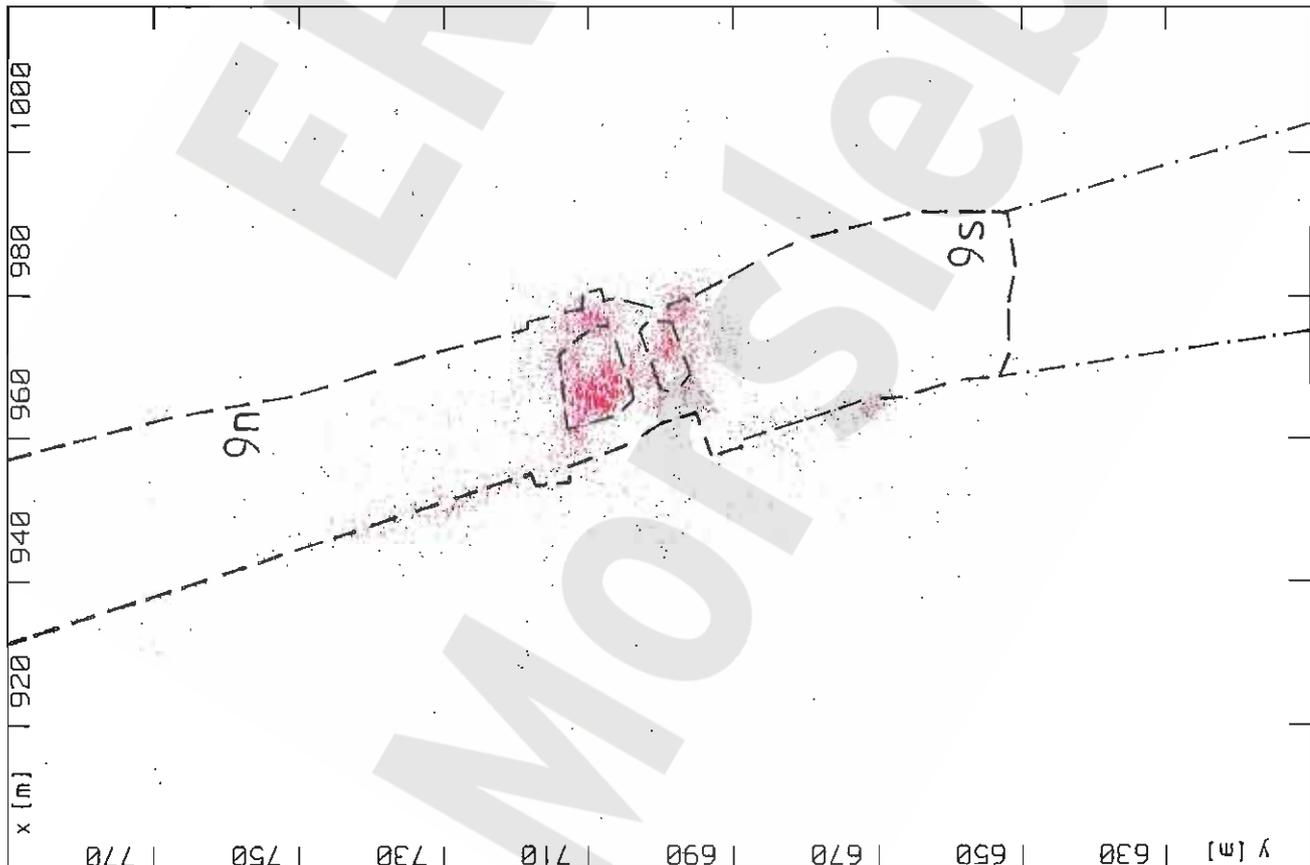
-350 m < Z < -334 m

7766 Ereignisse

Konturen:

--- 4a-Sohle (-346 m NN)

--- 4a-Sohle (-357 m NN)



Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich

-350 mNN bis -334 mNN und Abbaubezeichnungen,

Zeitraum 4/98 - 3/99

Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

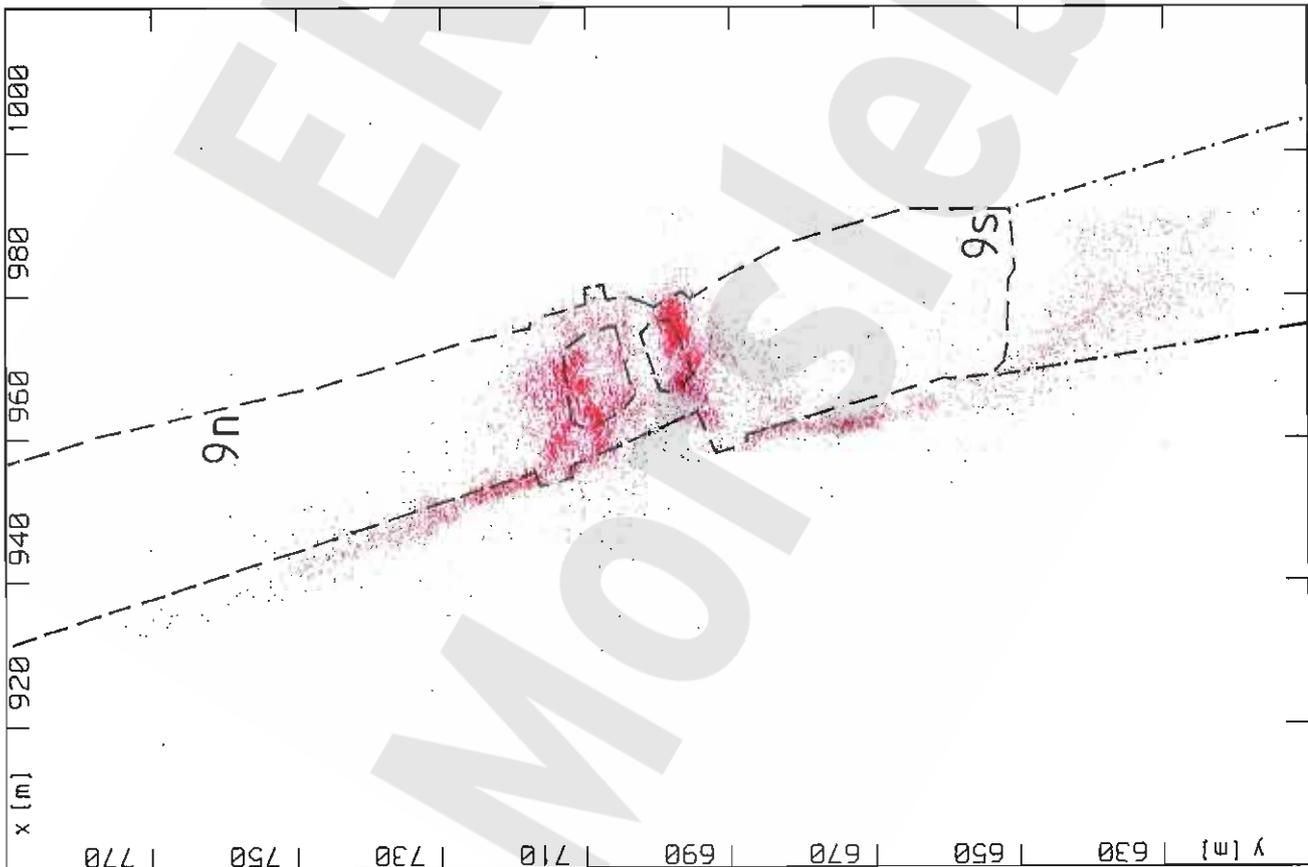
900 m < X < 1020 m
610 m < Y < 790 m
-358 m < Z < -350 m
19457 Ereignisse

Konturen:

- · - · - 4a-Sohle (-346 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-357 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
-358 mNN bis -350 mNN und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/98 - 3/99



Horizontalschnitt

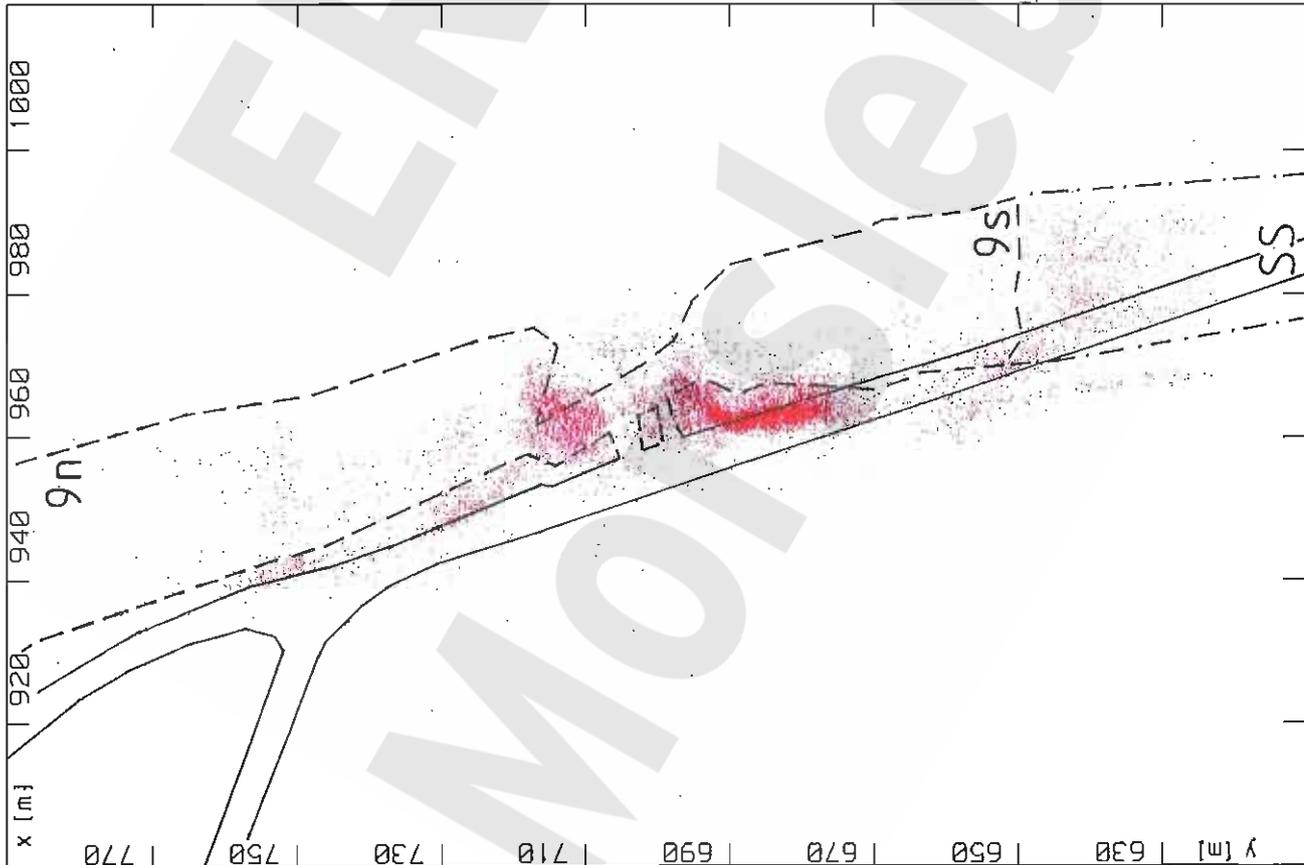
04/98 - 03/99

900 m < X < 1020 m
610 m < Y < 790 m
-362 m < Z < -358 m
17315 Ereignisse

Konturen:

- · - · - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- 4. Sohle (-372 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:
Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
-362 mNN bis -358 mNN und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/98 - 3/99



Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

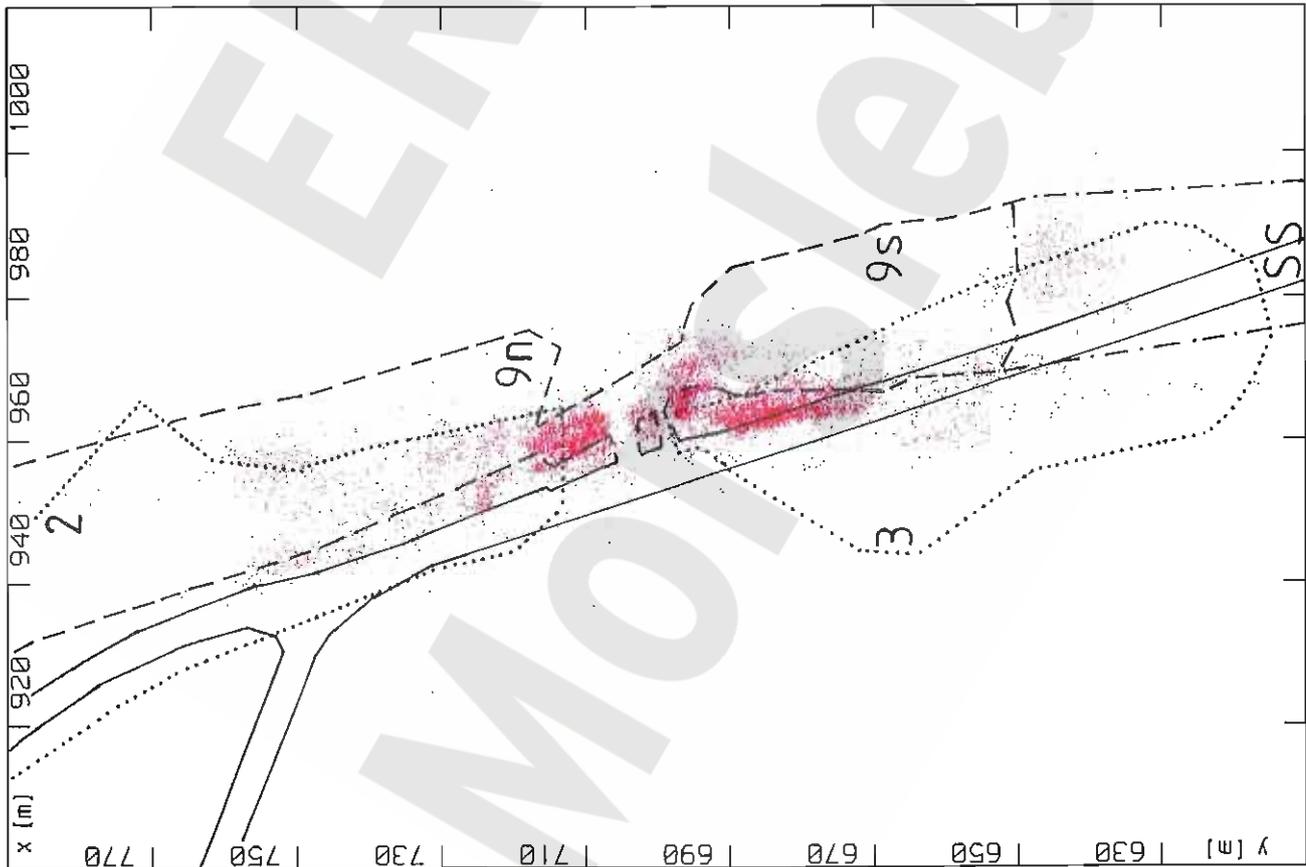
900 m < X < 1020 m
610 m < Y < 790 m
-364 m < Z < -362 m
16037 Ereignisse

Konturen:

- · - · - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- - - 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
-364 mNN bis -362 mNN und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/98 - 3/99



Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

900 m < X < 1020 m

610 m < Y < 790 m

-366 m < Z < -364 m

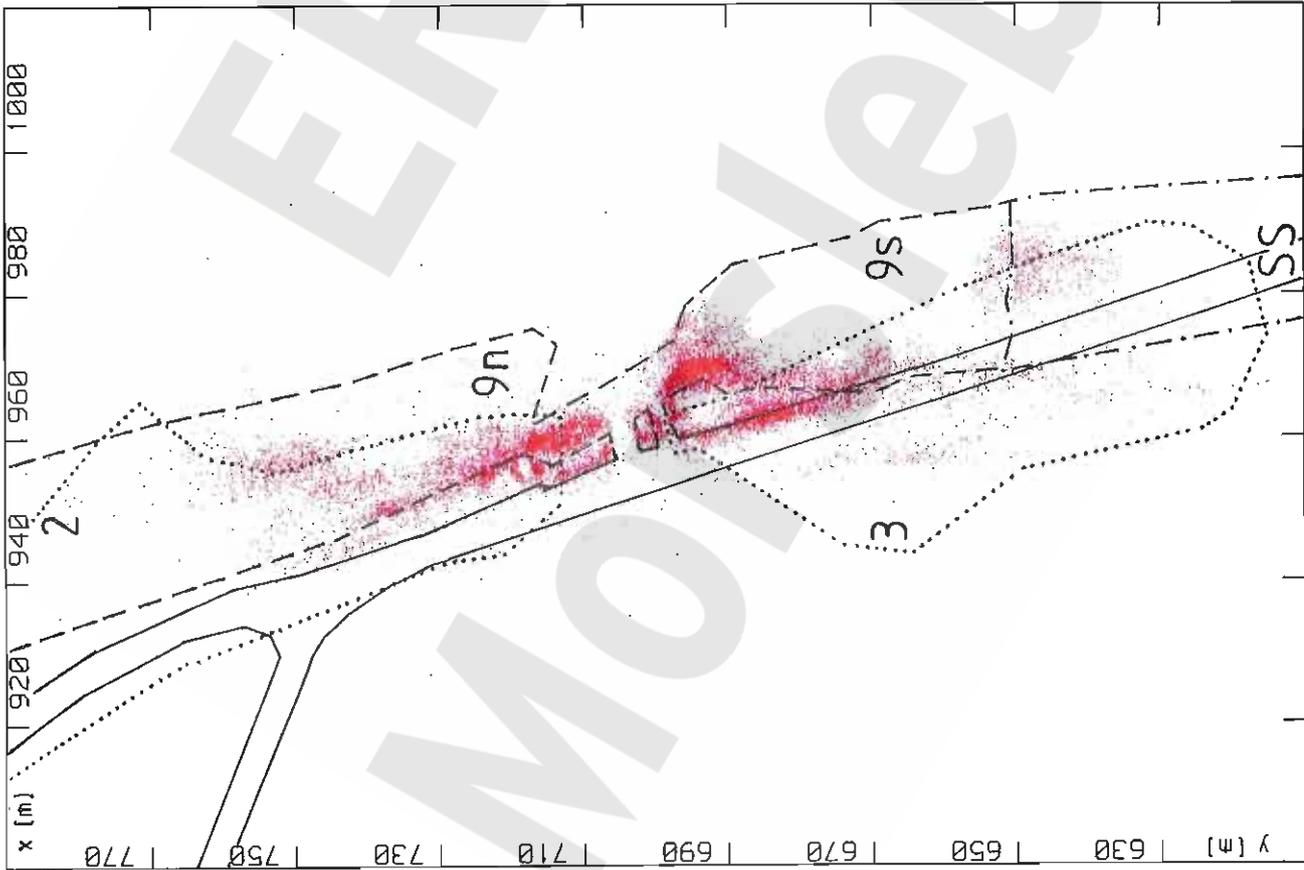
30053 Ereignisse

Konturen:

- ····· 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- - - - 4. Sohle (-372 m NN)
- ····· 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
-366 mNN bis -364 mNN und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/98 - 3/99



Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

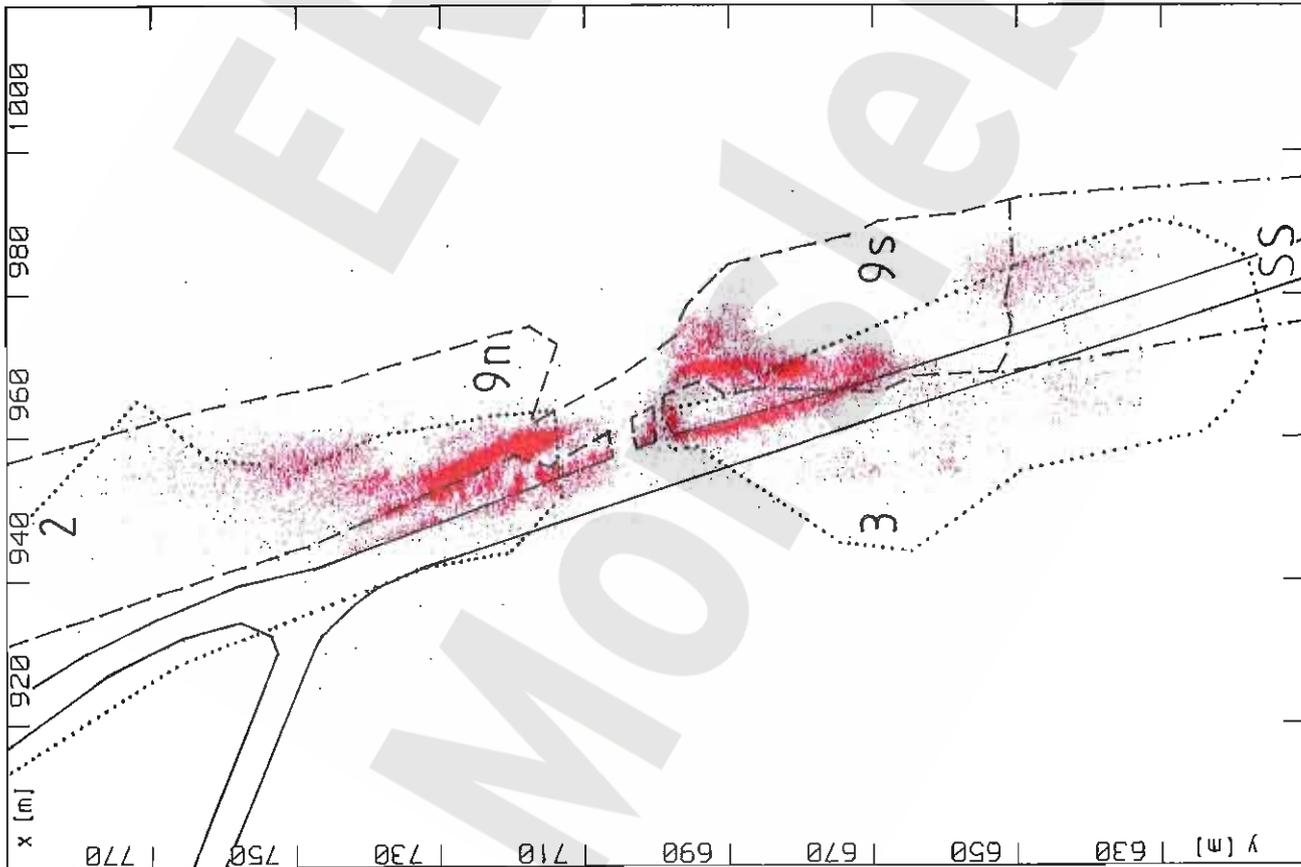
- 900 m < X < 1020 m
- 610 m < Y < 790 m
- 368 m < Z < -366 m
- 51630 Ereignisse

Konturen:

- - - - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 m NN)
- 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
-368 mNN bis -366 mNN und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/98 - 3/99



Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

900 m < X < 1020 m
610 m < Y < 790 m
-370 m < Z < -368 m
45841 Ereignisse

Konturen:

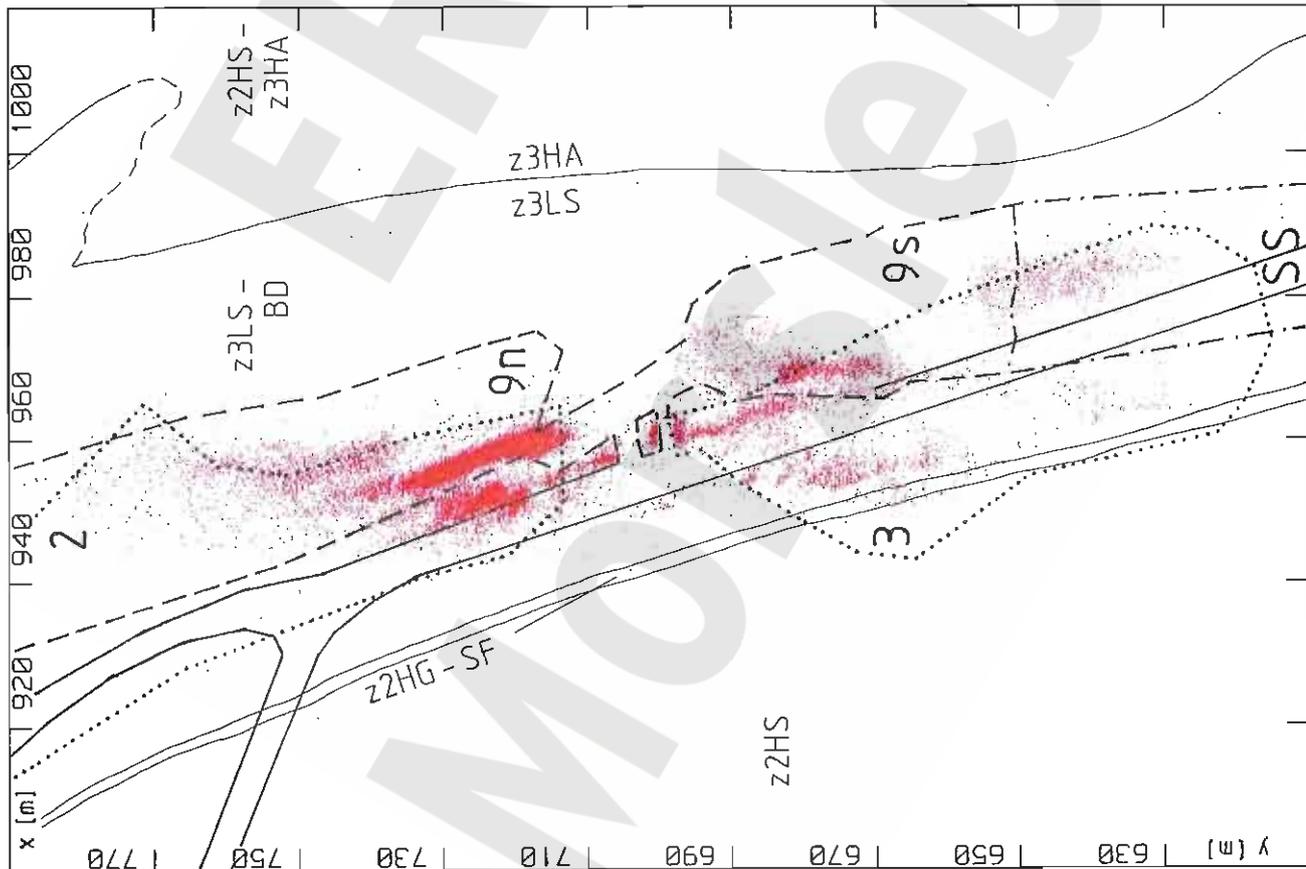
- - - - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 m NN) - -365 m NN)
- - - - 4. Sohle (-372 m NN)
..... 5a-Sohle (-395 m NN)

Geologie:

Niveau 4. Sohle (-372 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
-370 mNN bis -368 mNN und Abbaubezeichnungen,
Zeitraum 4/98 - 3/99.



Horizontalschnitt

04/98 - 03/99

900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -372 m < Z < -370 m
 29351 Ereignisse

Konturen:

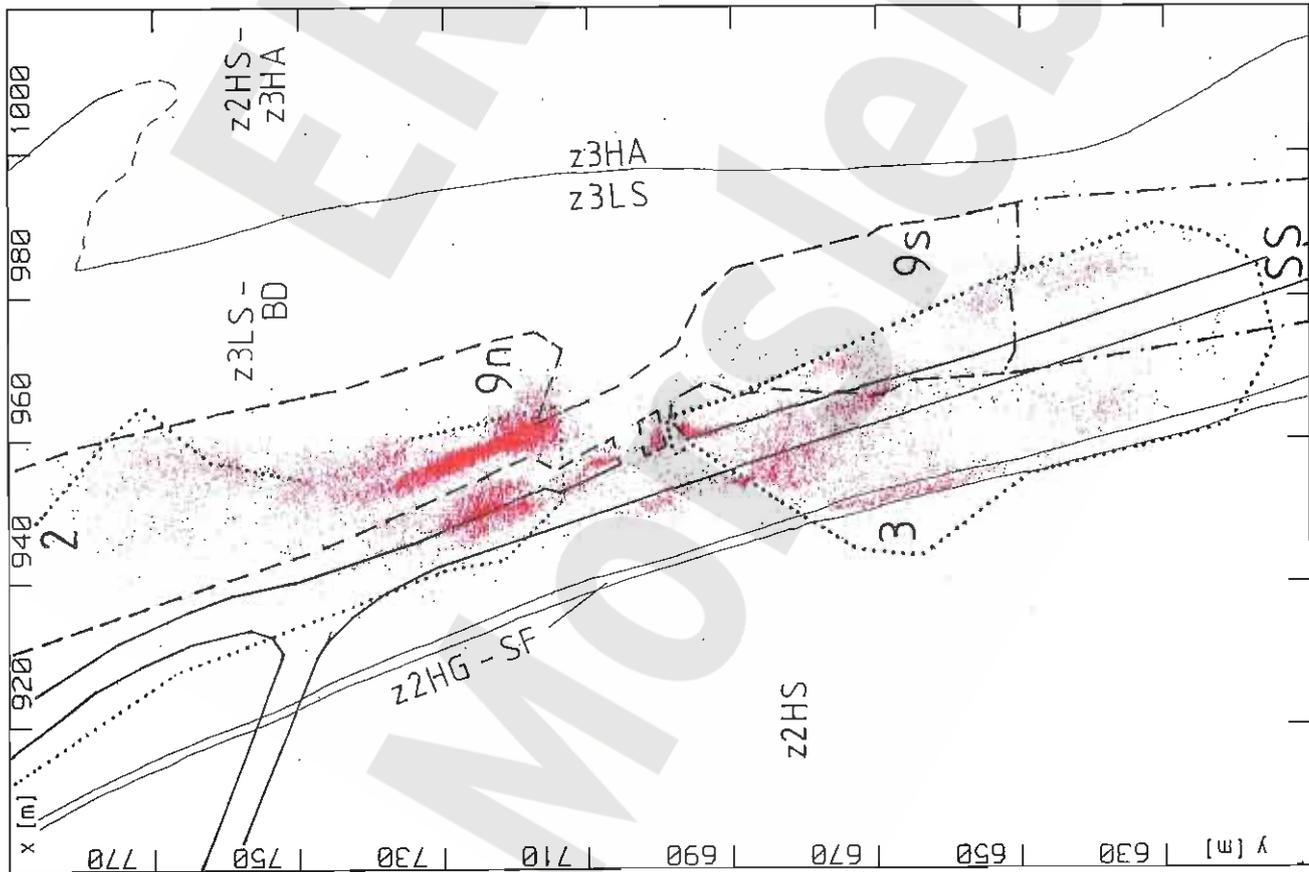
- - - - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 m NN) - -365 m NN)
- — — 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

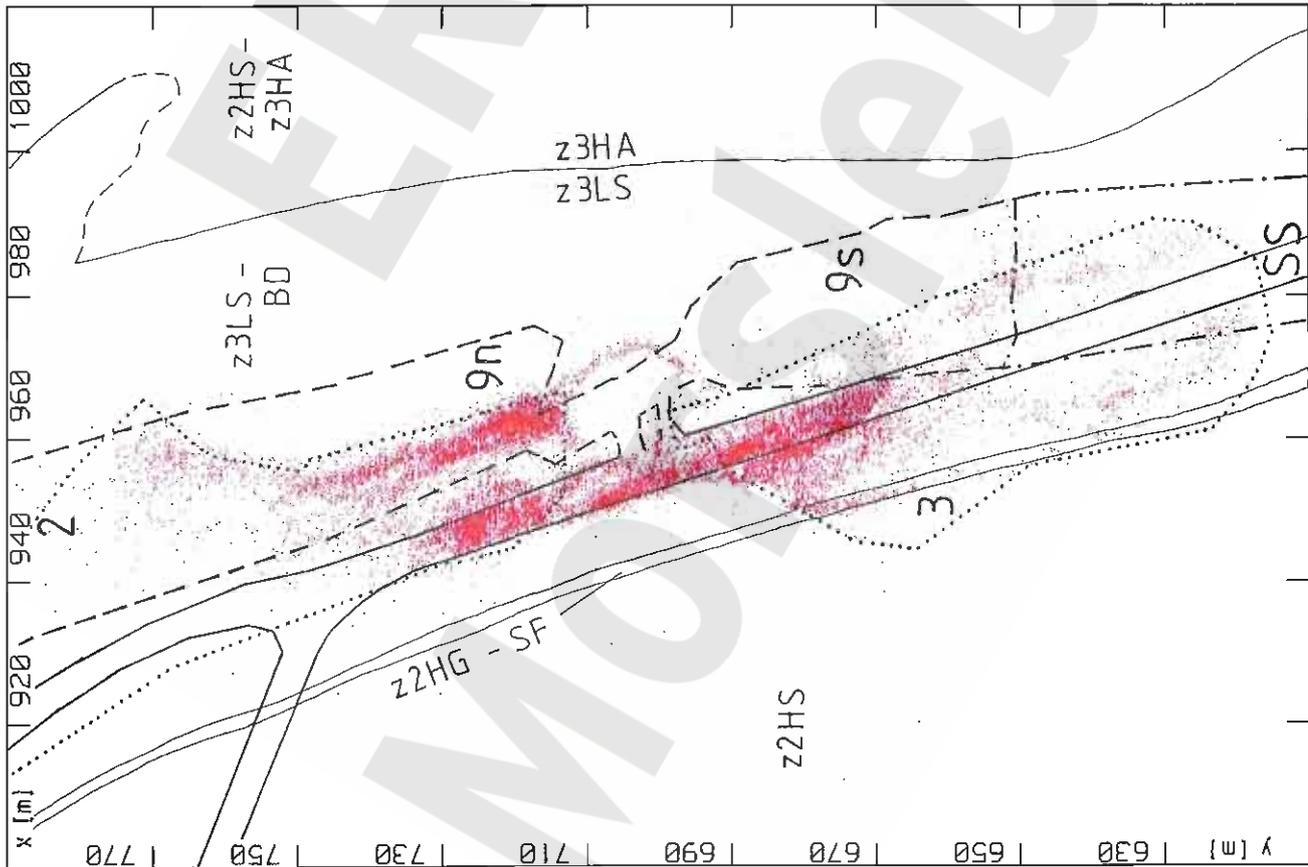
Geologie:

Niveau 4. Sohle (-372 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -372 mNN bis -370 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99





900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -374 m < Z < -372 m
 41160 Ereignisse

Konturen:

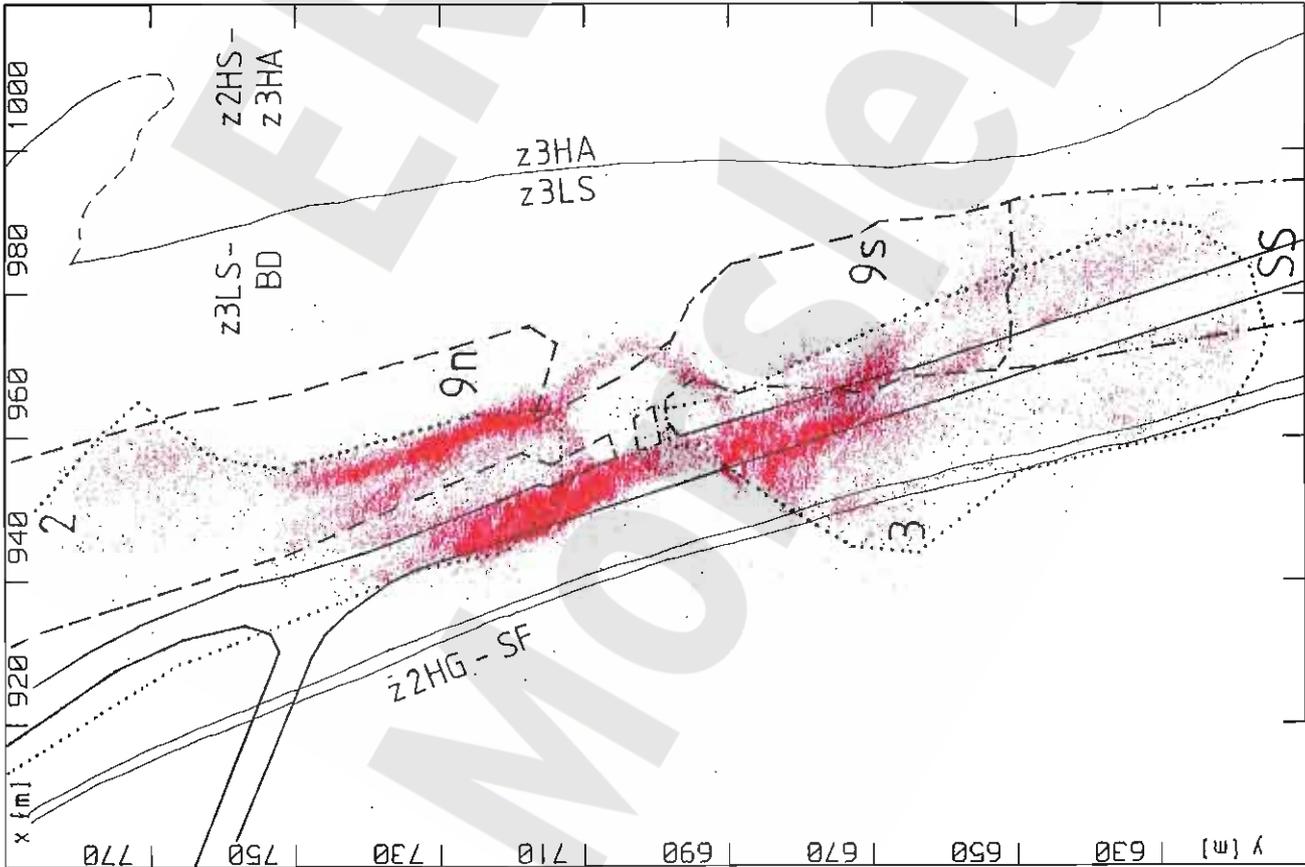
- ····· 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- - - - 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Geologie:

Niveau 4. Sohle (-372 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -374 mNN bis -372 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99



900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -376 m < Z < -374 m
 80410 Ereignisse

Konturen:

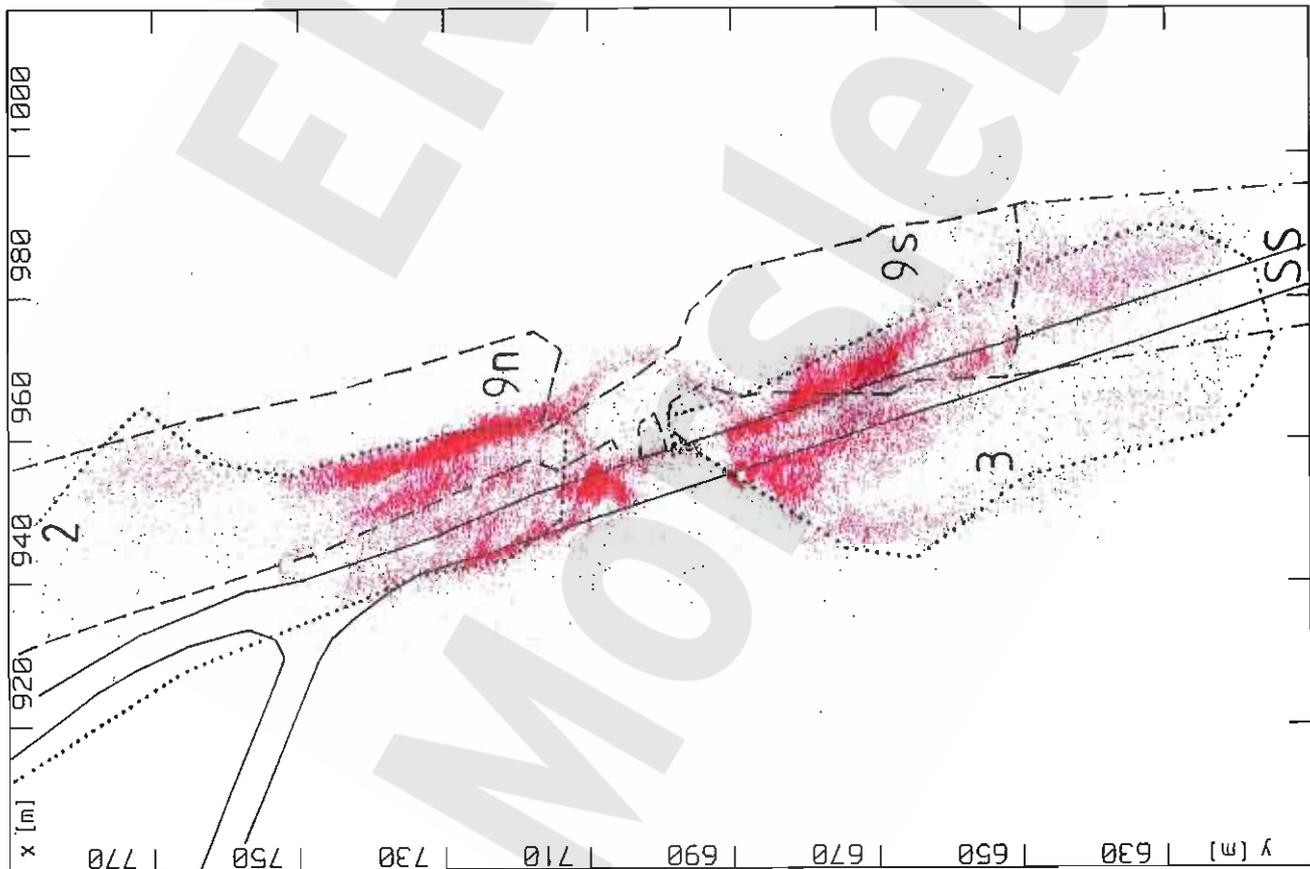
- · - · - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- - - 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Geologie:

Niveau 4. Sohle (-372 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -376 mNN bis -374 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99



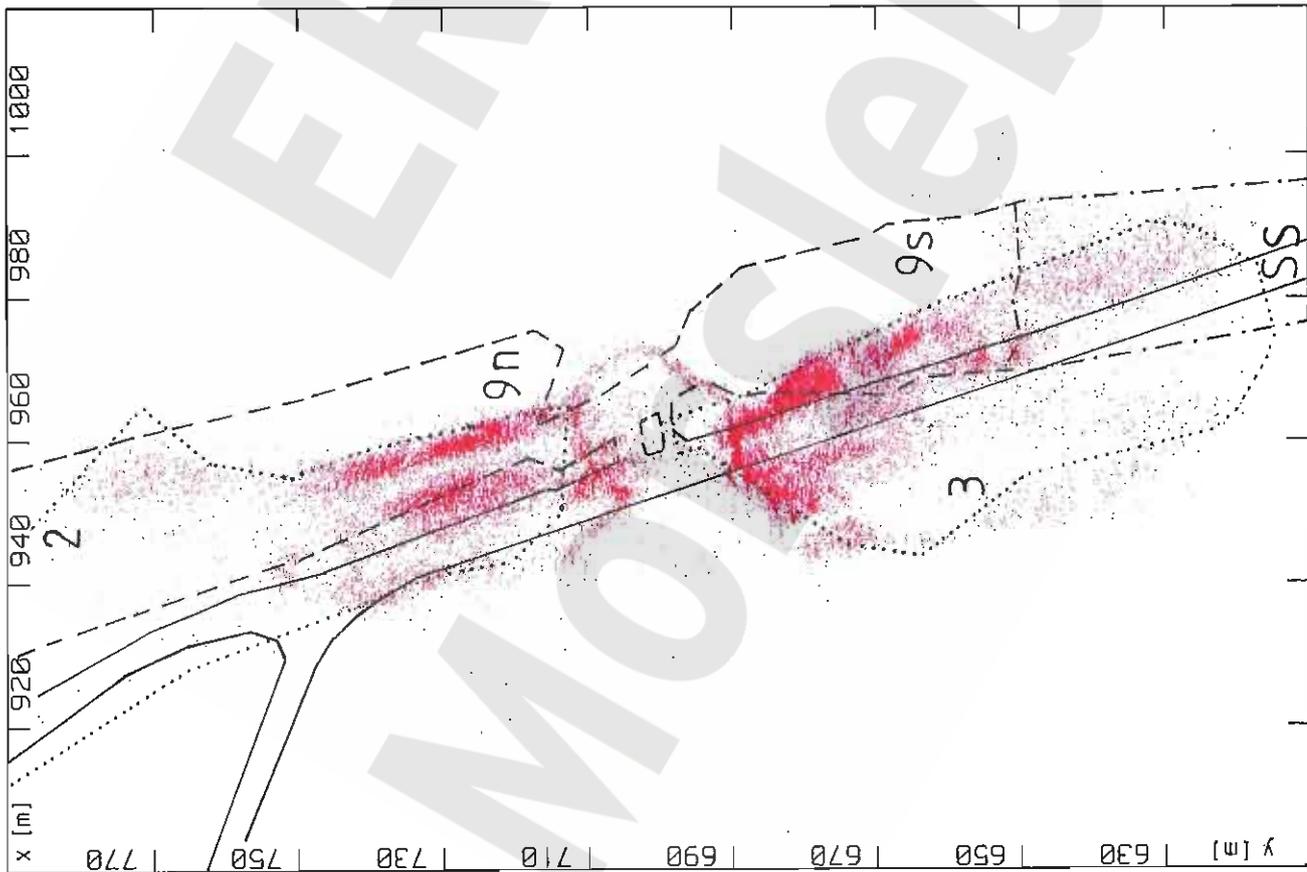
900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -378 m < Z < -376 m
 79254 Ereignisse

Konturen:

- · - · - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -378 mNN bis -376 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99



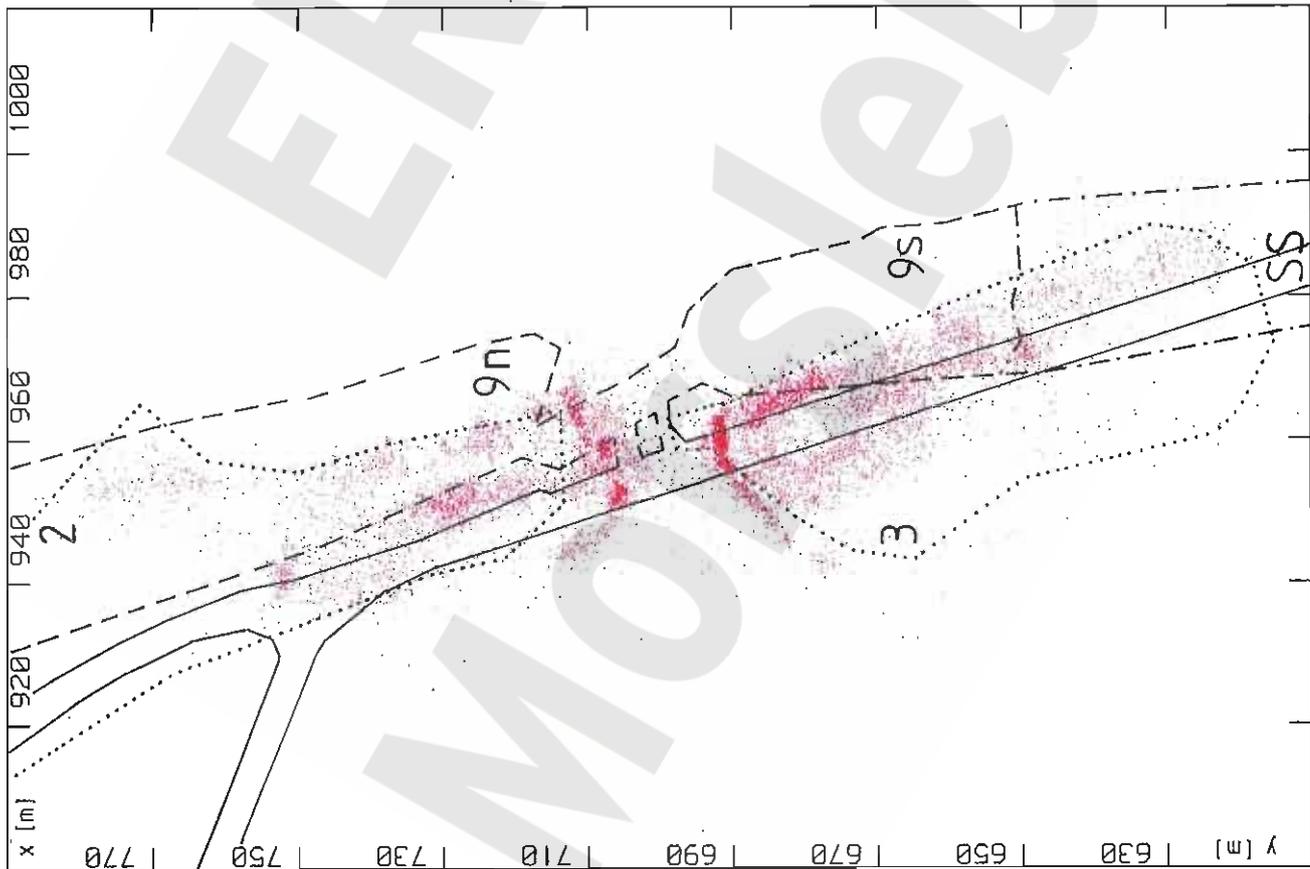
900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -380 m < Z < -378 m
 48175 Ereignisse

Konturen:

- 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -380 mNN bis -378 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.

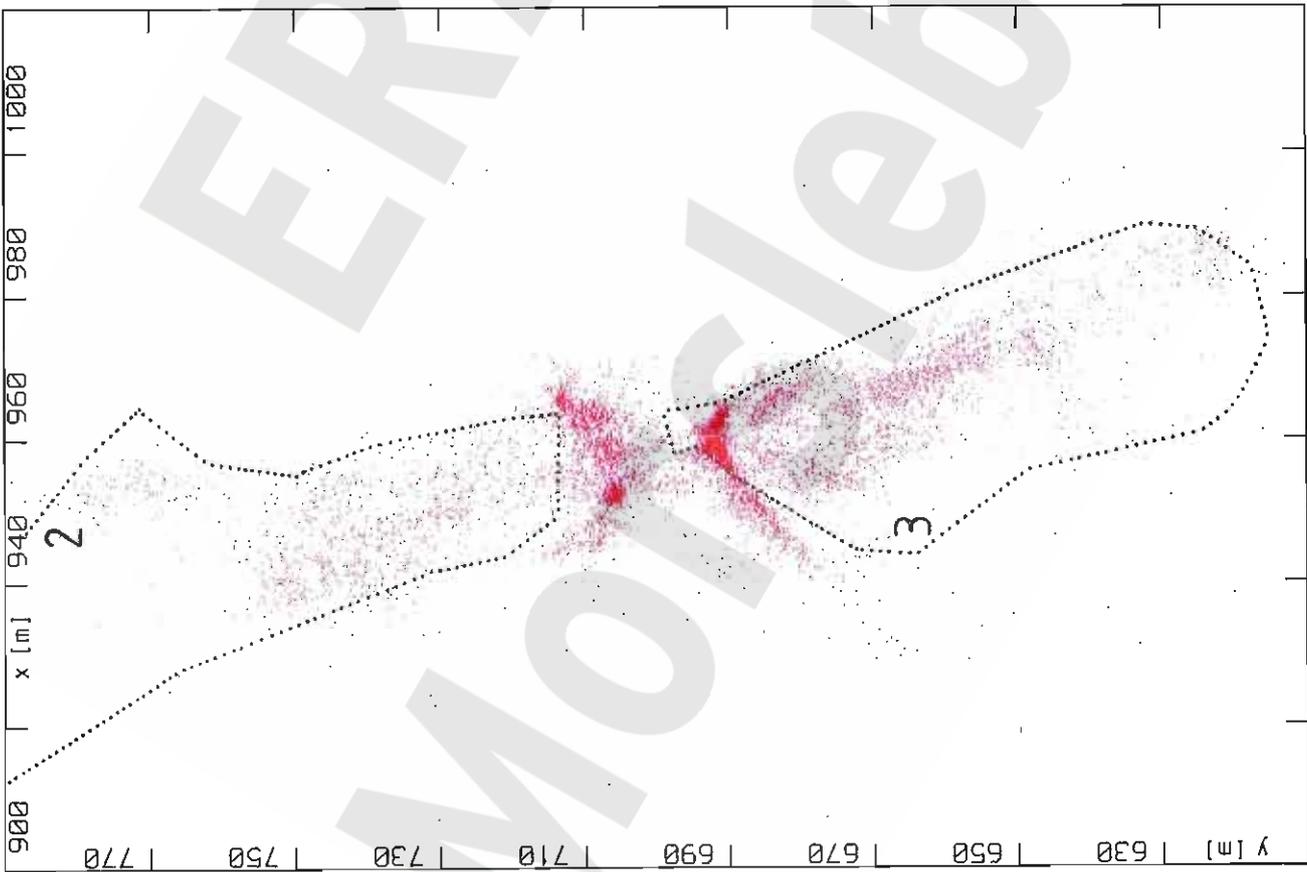


900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -382 m < Z < -380 m
 17704 Ereignisse

Konturen:

- - - - - 4a-Sohle (-357 m NN)
- - - - - 4a-Sohle (-370 - -365 m NN)
- — — — 4. Sohle (-372 m NN)
- 5a-Sohle (-395 m NN)

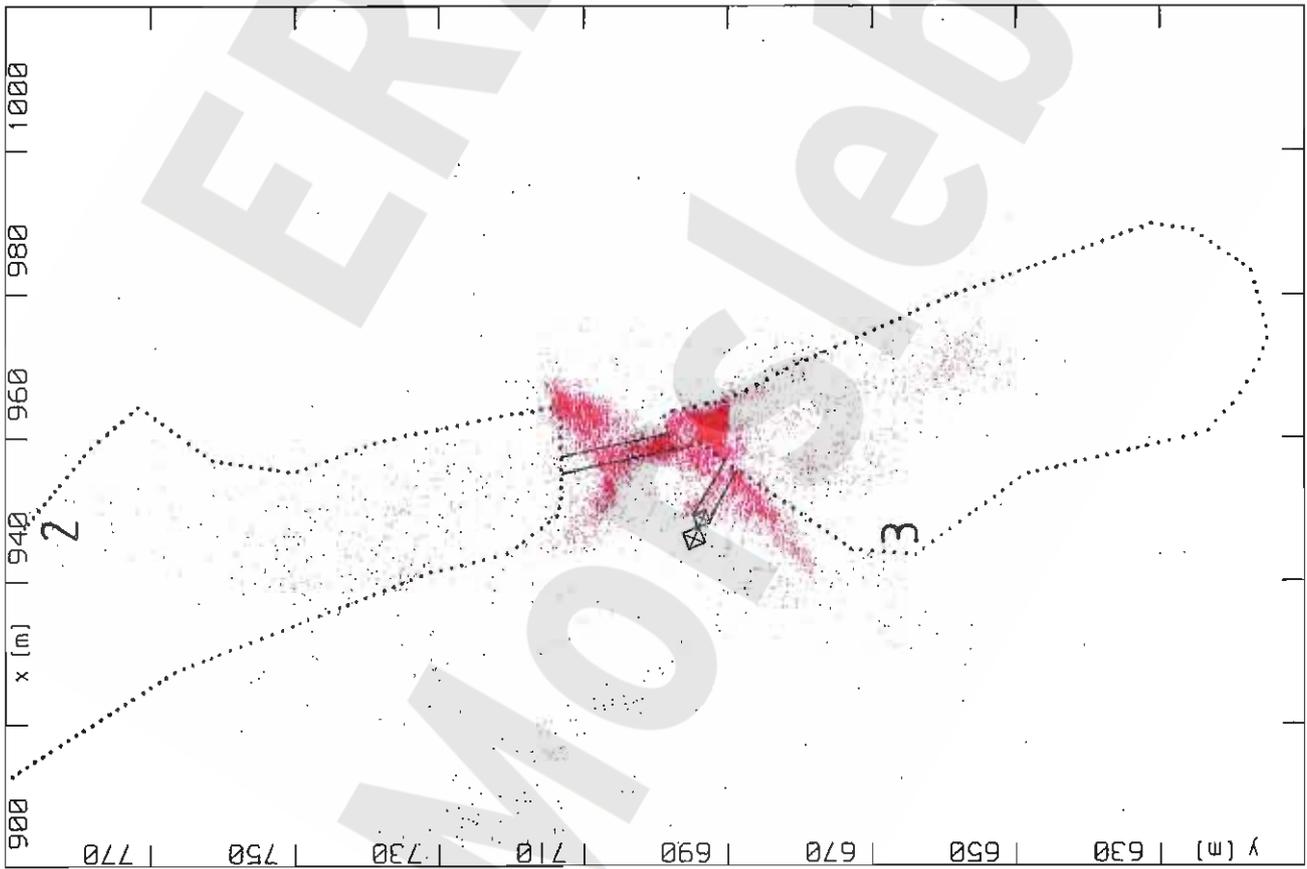
Mikroakustik ERAM Südfeld:
 Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -382 mNN bis -380 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99



$900 \text{ m} < X < 1020 \text{ m}$
 $610 \text{ m} < Y < 790 \text{ m}$
 $-386 \text{ m} < Z < -382 \text{ m}$
 16984 Ereignisse

Konturen:
 5a-Sohle (-395 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:
 Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -386 mNN bis -382 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99



900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -394 m < Z < -386 m
 25083 Ereignisse

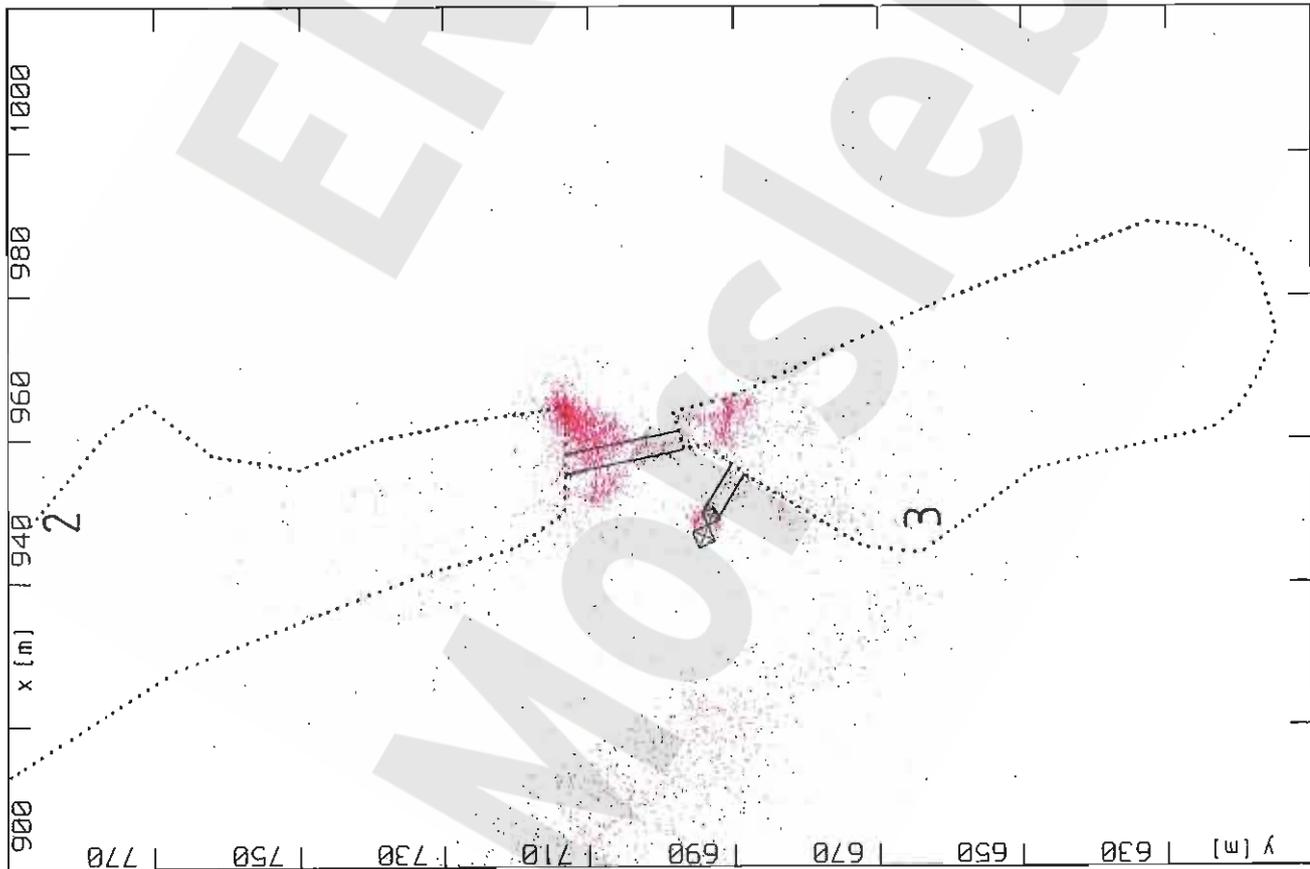
Konturen:

..... 5a-Sohle (-395 m NN)
 _____ dfo.

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -394 mNN bis -386 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99.

Anlage 2.62

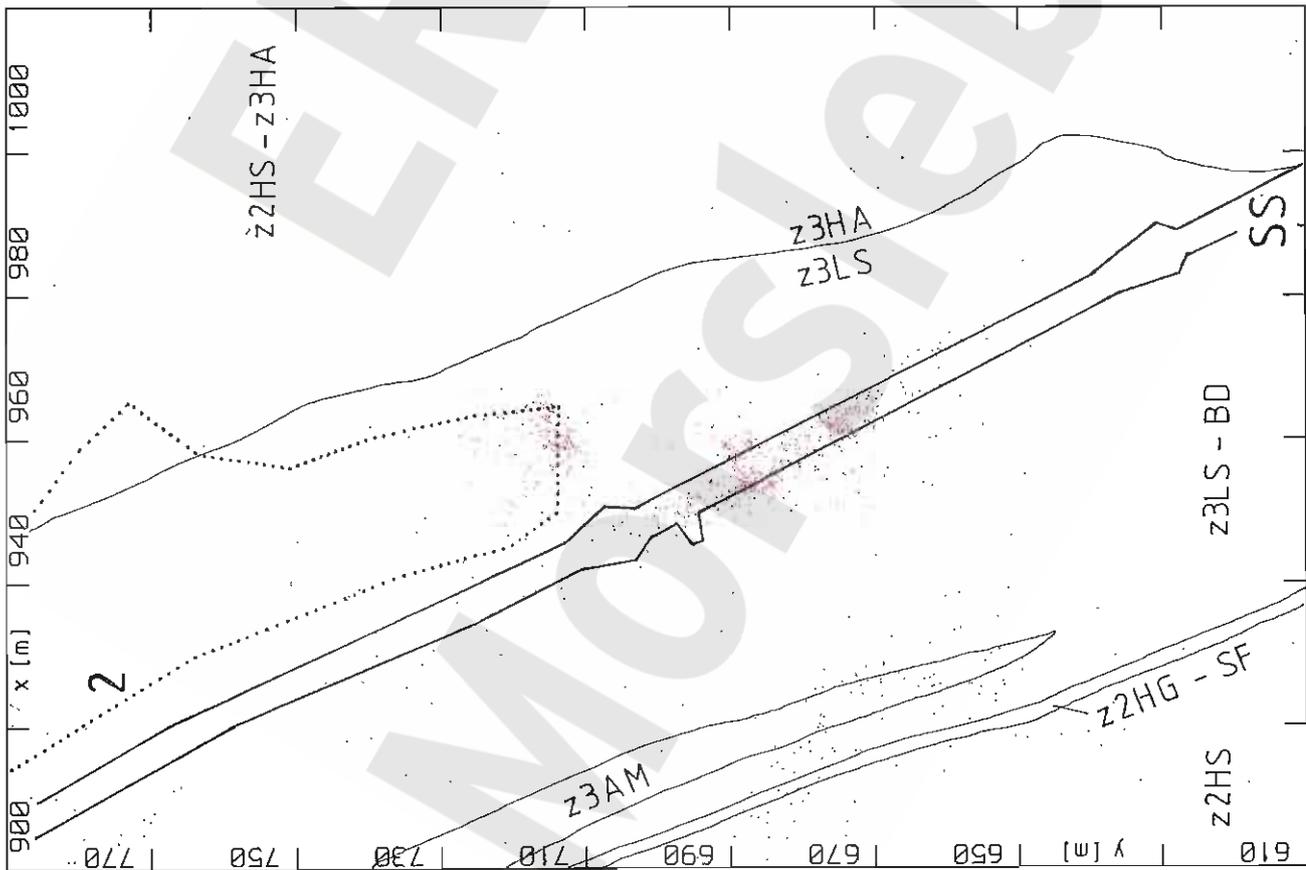


900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -410 m < Z < -394 m
 9619 Ereignisse

Konturen:

..... 5a-Sohle (-395 m NN)
 ————— dfo.

Mikroakustik ERAM Südfeld:
 Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -410 mNN bis -394 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99



900 m < X < 1020 m
 610 m < Y < 790 m
 -430 m < Z < -410 m
 2502 Ereignisse

Konturen:

..... 5a-Sohle (-406 m NN)
 — 5. Sohle (-420 m NN)

Geologie:

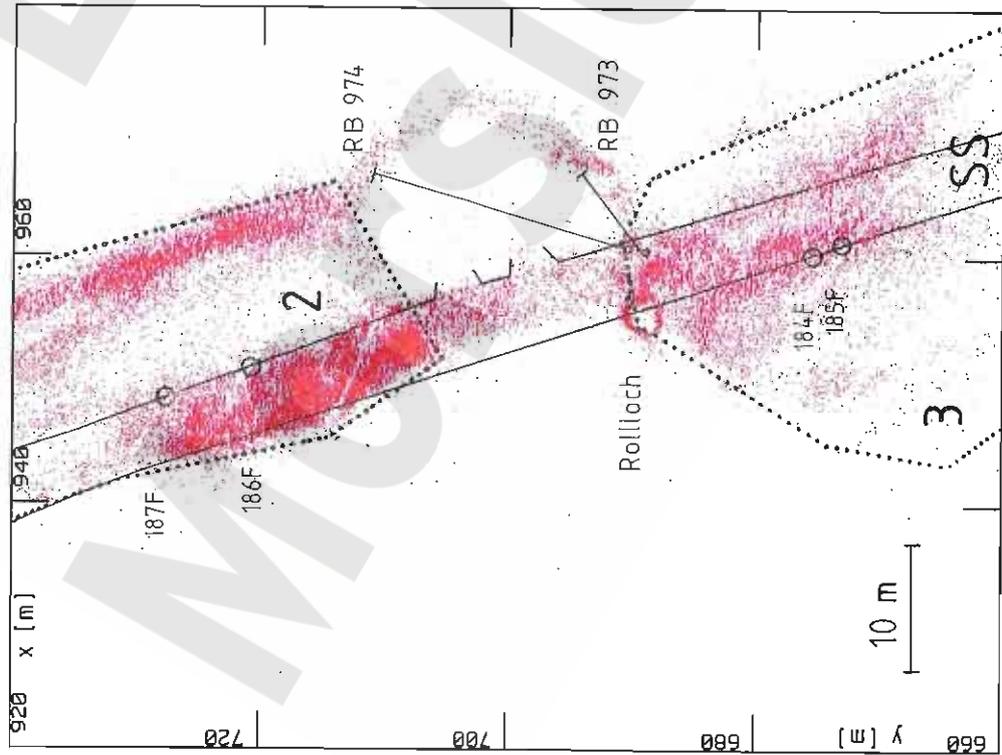
Niveau 5. Sohle (-420 m NN)

Mikroakustik ERAM Südfeld:

Horizontalschnitt mit Ortungen im Tiefenbereich
 -430 mNN bis -410 mNN und Abbaubezeichnungen,
 Zeitraum 4/98 - 3/99

Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle

Ortungen akustischer Emission (AE) in der Schwebelinie zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 5a-Sohle (ca. -380 m NN) im Sohlriss: Teufenintervall -376 bis -374 m NN, Zeitraum 04/98 bis 03/99, 72.902 Ereignisse



Konturen

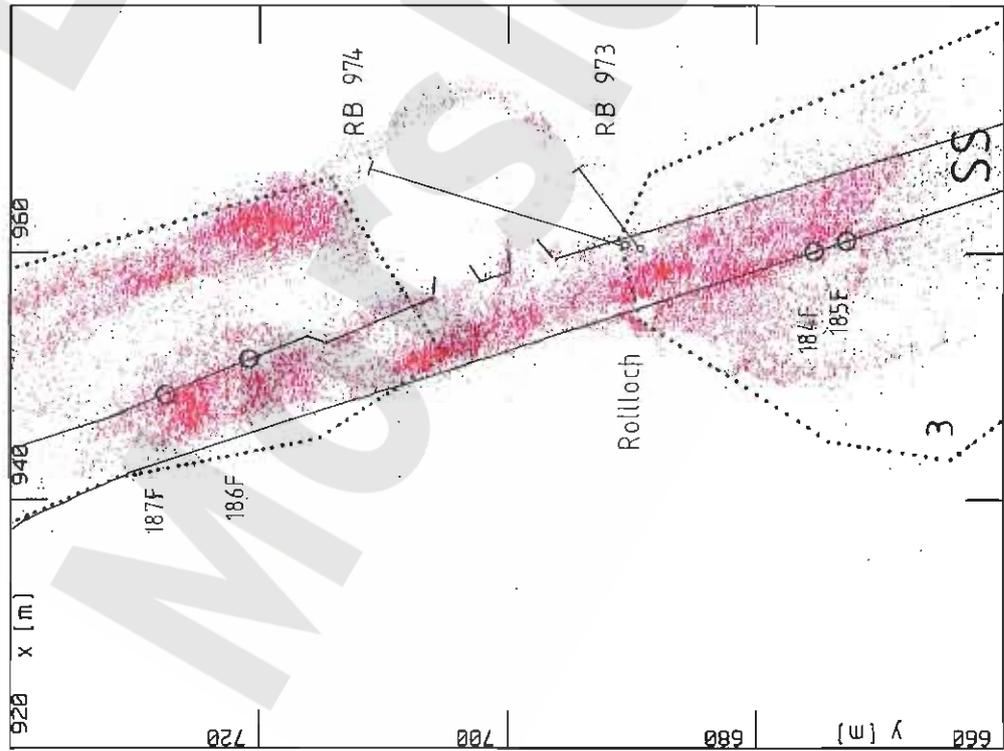
- 4. Sohle (Südstrecke, -372 m NN)
- ⋯ 5a-Sohle (Firste Abbaue 2 und 3, ca. -380 m NN)

Bohrungen RB973 und RB974

- Ansatz in Südstrecke, Einfallen 30° bzw. 15°
- Zielteufe: -376,7 m NN

Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle

Ortungen akustischer Emission (AE) in der Schwabe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 5a-Sohle (ca. -380 m NN) im Schriss: Teufenintervall -374 bis -372 m NN, Zeitraum 04/98 bis 03/99, 36.898 Ereignisse



Konturen

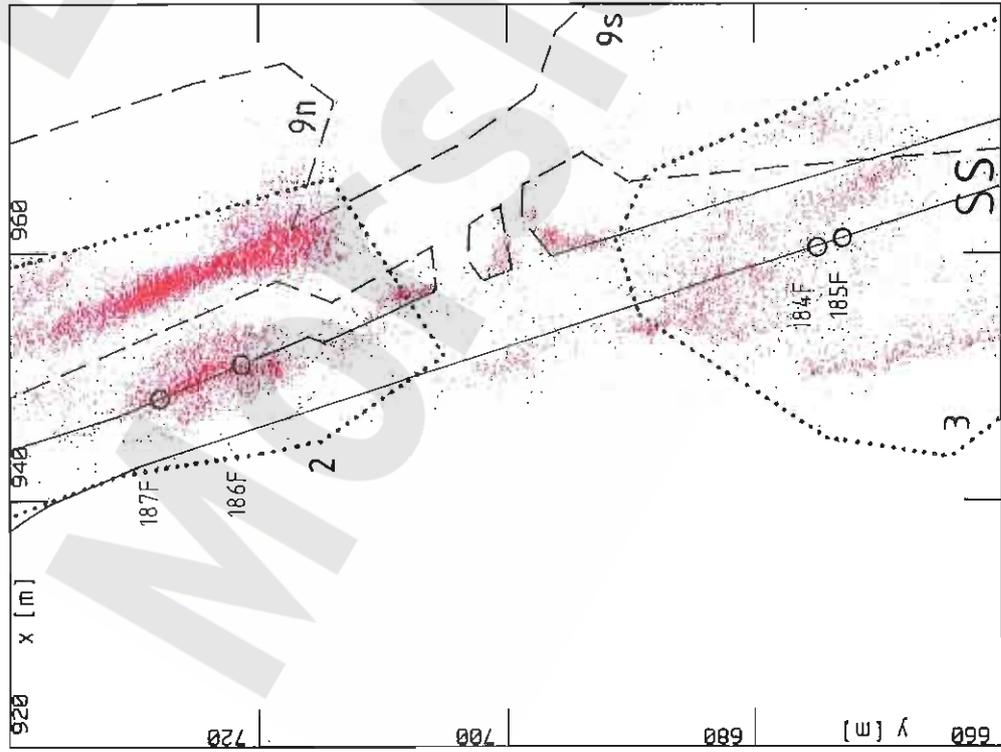
- 4. Sohle (Südstrecke, -372 m NN)
- 5a-Sohle (Firste Abbaue 2 und 3, ca. -380 m NN)

Bohrungen RB973 und RB974

- Ansatz in Südstrecke, Einfallen 30° bzw. 15°
- Zielteufe: -376,7 m NN

Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle

Ortungen akustischer Emission (AE) in der Schwebe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 4a-Sohle (ca. -380 m NN) im Sohlriss: Teufenintervall -372 bis -370 m NN, Zeitraum 04/98 bis 03/99, 25.747 Ereignisse



Konturen

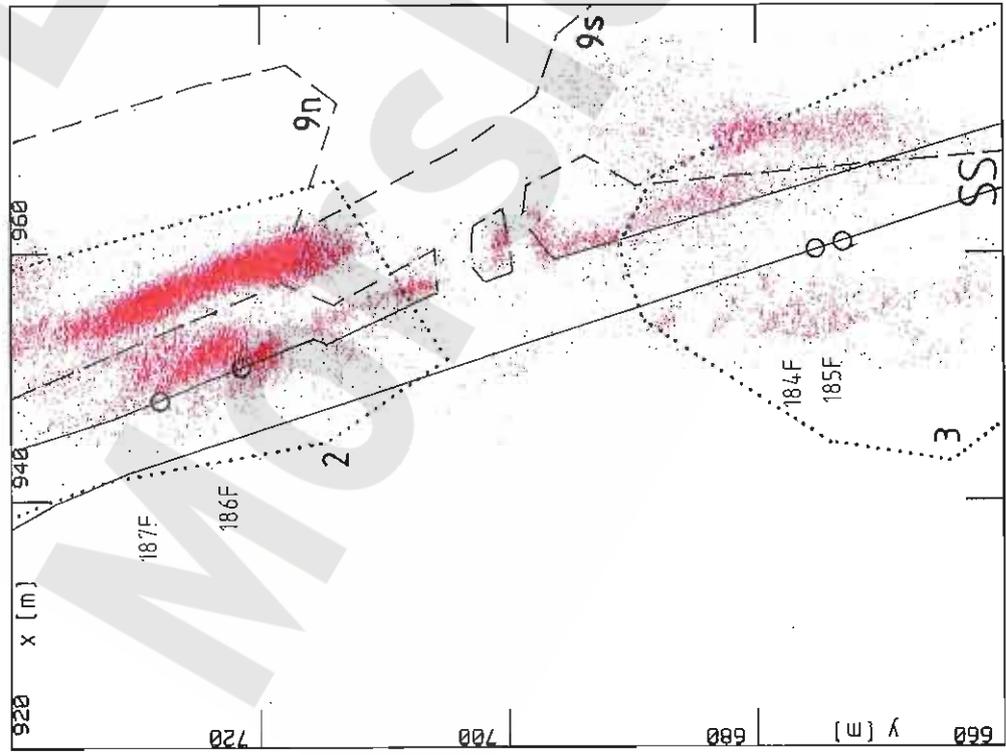
- 4a-Sohle (ca. -365 m NN)
- 4. Sohle (Südstrecke, -372 m NN)
- 5a-Sohle (Firste Abbaue 2 und 3, ca. -380 m NN)

Lage der Fissurometer

- 184F und 185F am Weststoß (Bereich Abbau 9s, 4a-Sohle, und Abbau 3, 5a-Sohle)
- 186F und 187F am Oststoß (Bereich Abbau 9n, 4a-Sohle, und Abbau 2, 5a-Sohle)

Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle

Ortungen akustischer Emission (AE) in der Schwebelinie zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 4a-Sohle (ca. -380 m NN) im Schräg: Teufenintervall -370 bis -368 m NN, Zeitraum 04/98 bis 03/99, 41.249 Ereignisse



Konturen

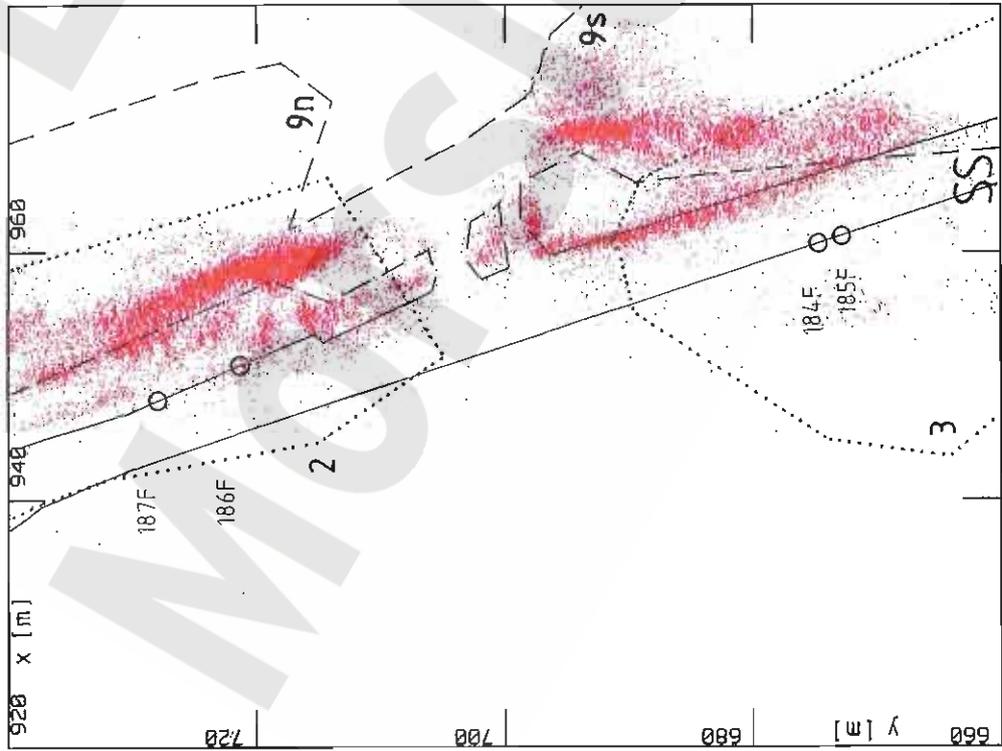
- - - 4a-Sohle (ca. -365 m NN)
- 4. Sohle (Südstrasse, -372 m NN)
- 5a-Sohle (Firste Abbaue 2 und 3, ca. -380 m NN)

Lage der Fissurometer

- 184F und 185F am Weststoß (Bereich Abbau 9s, 4a-Sohle, und Abbau 3, 5a-Sohle)
- 186F und 187F am Oststoß (Bereich Abbau 9n, 4a-Sohle, und Abbau 2, 5a-Sohle)

Mikroakustik ERAM Südfeld 4. Sohle

Ortungen akustischer Emission (AE) in der Schwabe zwischen 4. Sohle (-372 m NN) und Firste 4a-Sohle (ca. -380 m NN) im Schriß: Teufenintervall -368 bis -366 m NN, Zeitraum 04/98 bis 03/99, 46.147 Ereignisse



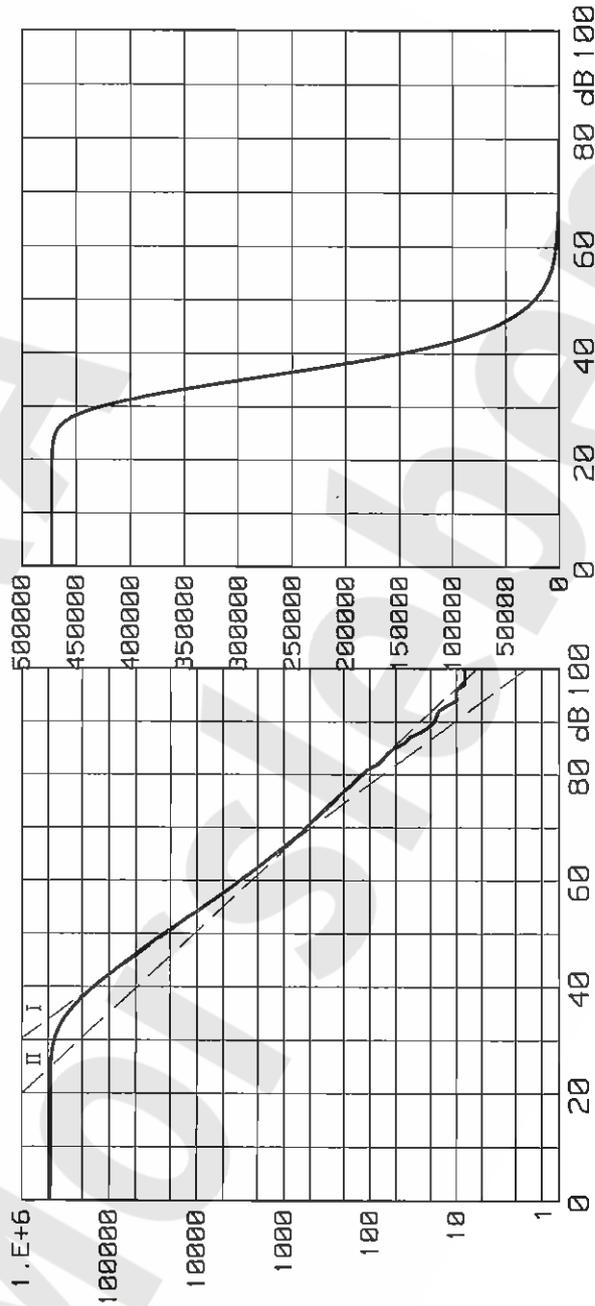
Konturen

- 4a-Sohle (ca. -365 m NN)
- 4. Sohle (Südstrecke, -372 m NN)
- 5a-Sohle (Firste Abbaue 2 und 3, ca. -380 m NN)

Lage der Fissurometer

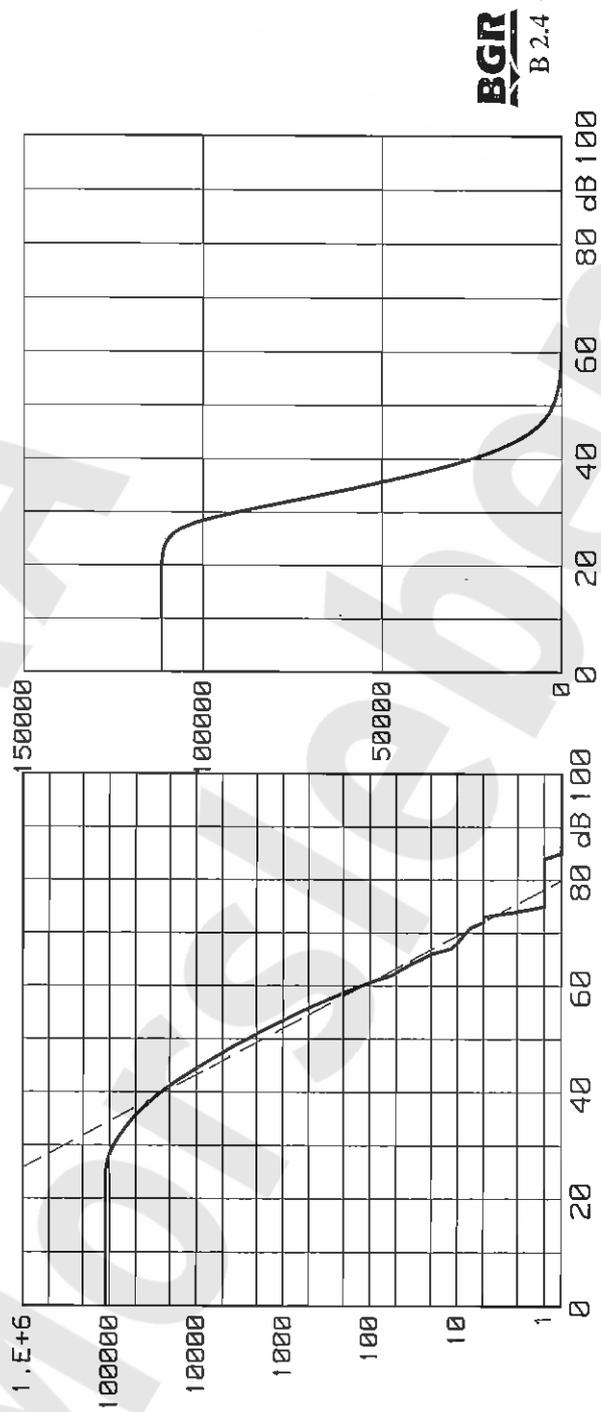
- 184F und 185F am Weststoß (Bereich Abbau 9s, 4a-Sohle, und Abbau 3, 5a-Sohle)
- 186F und 187F am Oststoß (Bereich Abbau 9n, 4a-Sohle, und Abbau 2, 5a-Sohle)

April 98bis Maerz 99, 860<X<1060, 560<Y<860, -460<Z<-280
 472864 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 37.74 dB



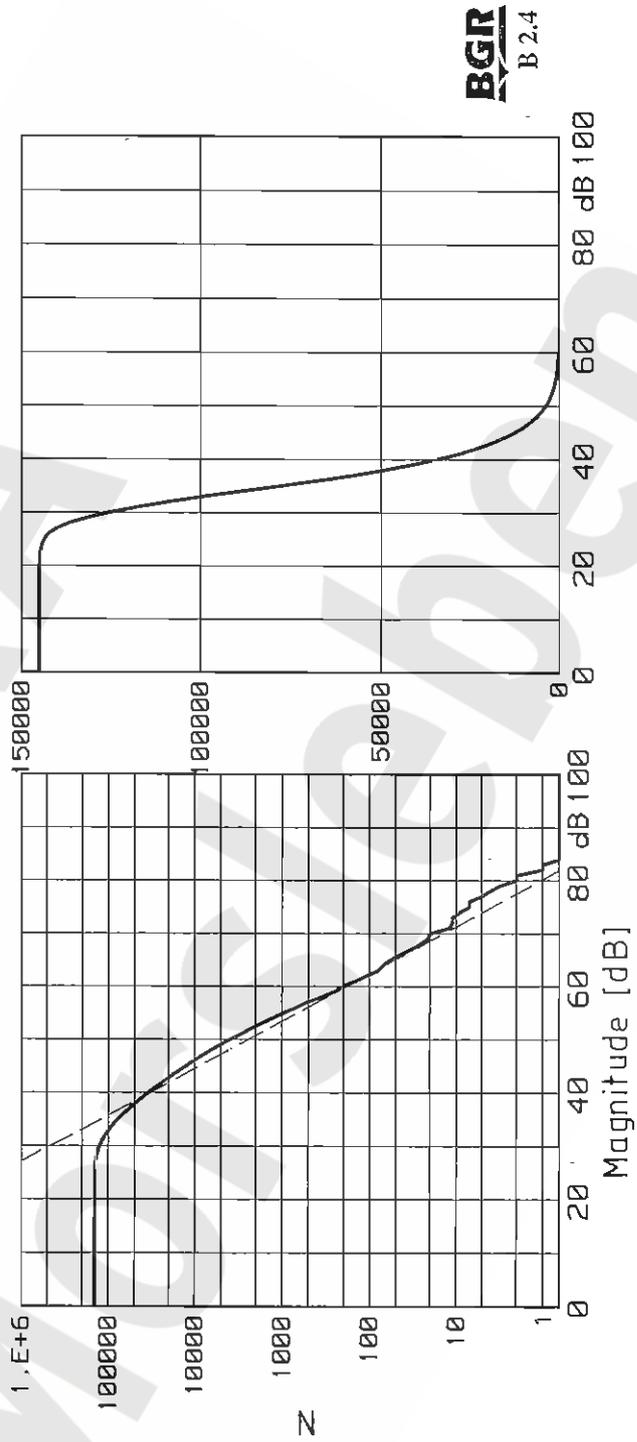
Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Gesamtbereich.

April 98bis Maerz 99, 930<X<1000, 700<Y<800, -372<Z<-342
 111532 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 35.59 dB



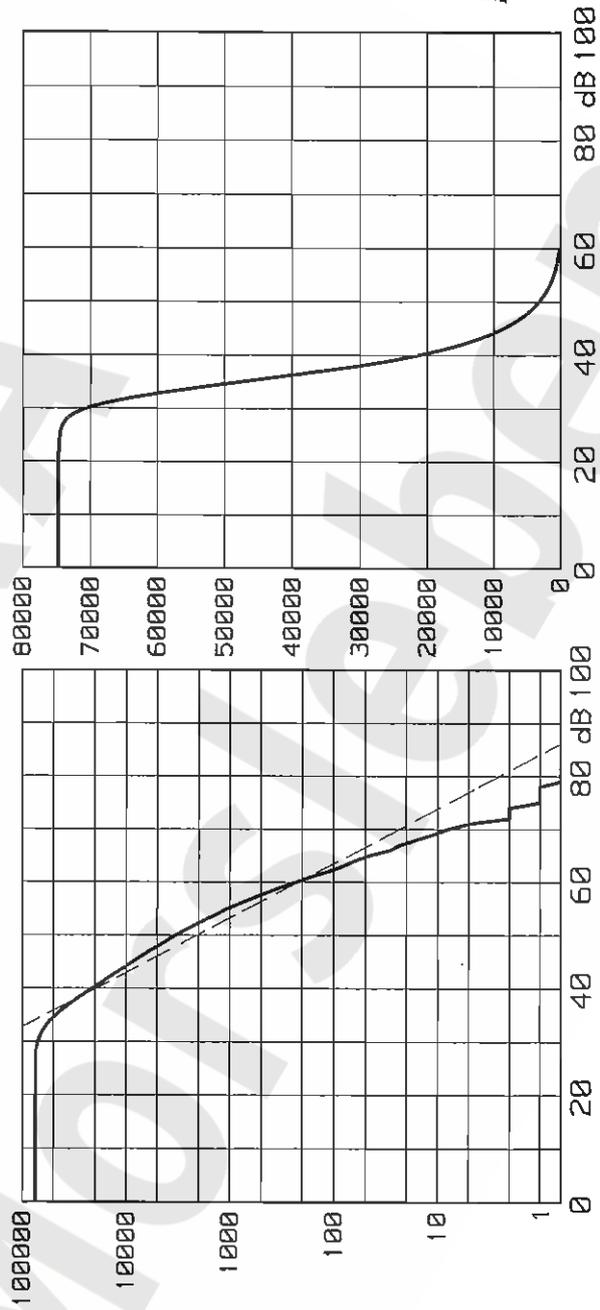
Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 1 (Bereich Abbau 9n, über 4. Sohle).

April 98bis Maerz 99, 930<X<1000,700<Y<800,-402<Z<-372
 145061 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 36.28 dB



Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 2 (Bereich Abbau 2, unter 4. Sohle).

April 98bis Maerz 99, 930<X<1000, 600<Y<700, -372<Z<-342
 74780 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude(50m) 37.68 dB



BGR
 B 2.4

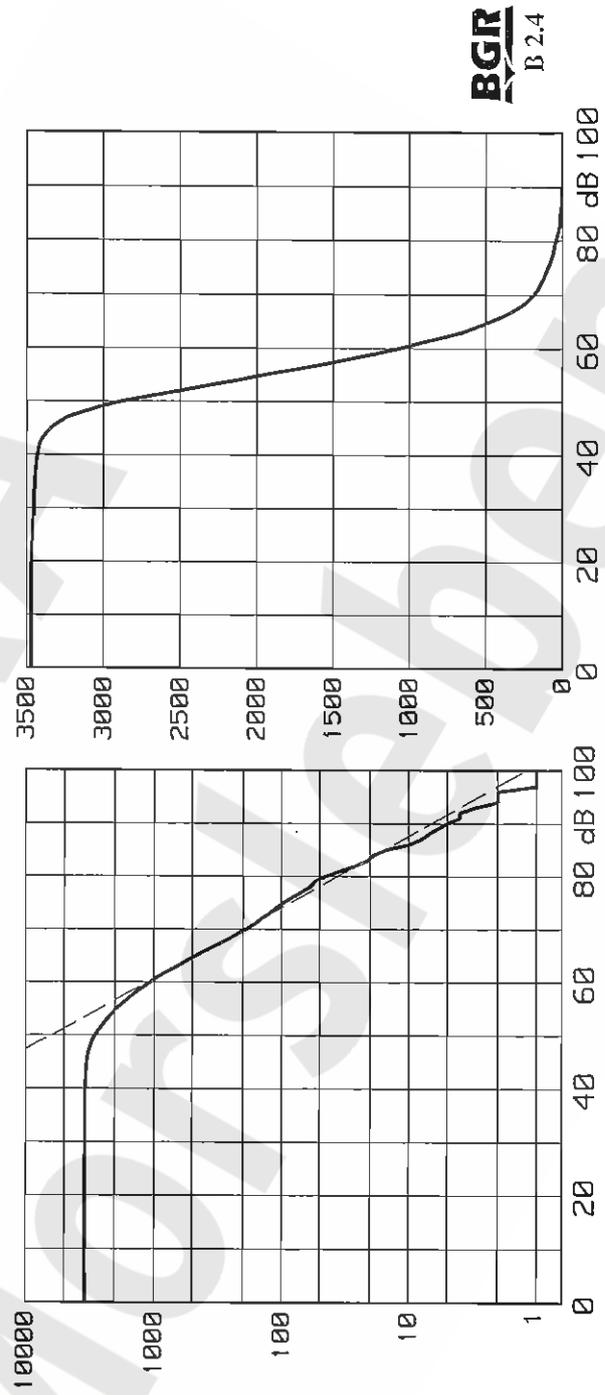
Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der
 Magnituden (halblogarithmisch und linear),
 Bereich 3 (Bereich Abbau 9s, über 4. Sohle).

April 98 bis März 99, $930 < X < 1000$, $600 < Y < 700$, $-402 < Z < -372$
 128374 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 39.81 dB



Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 4 (Bereich Abbau 3, unter 4. Sohle).

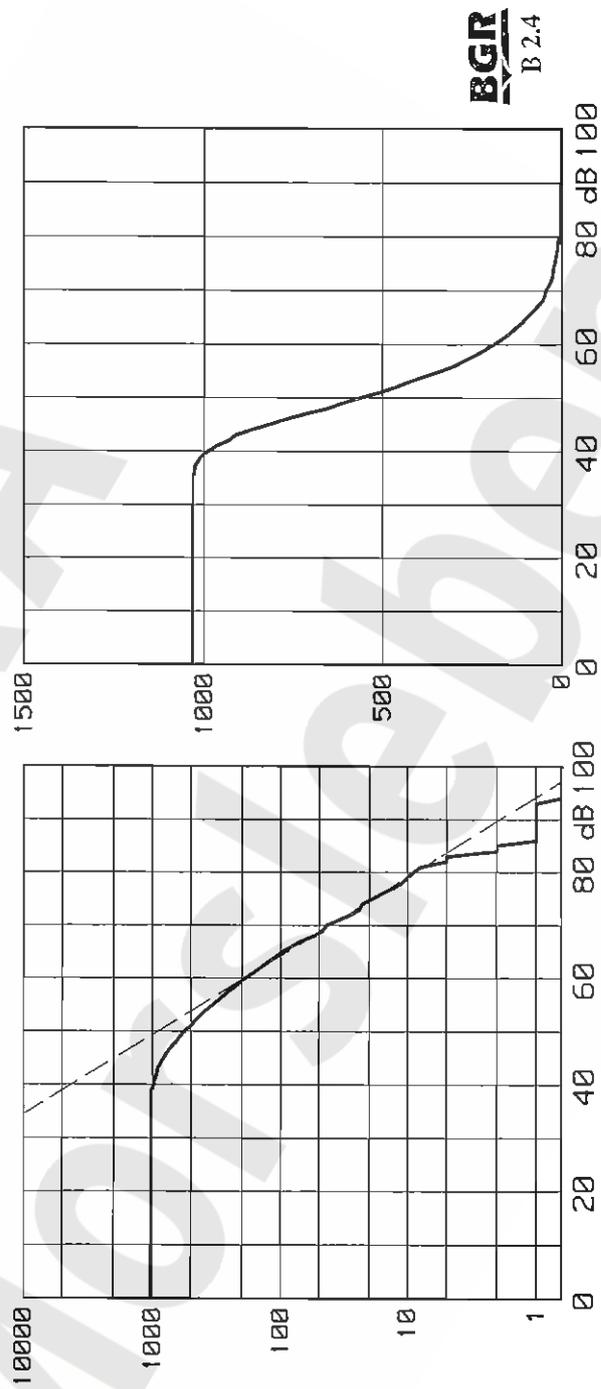
April 98 bis Maerz 99, $860 < X < 930$, $600 < Y < 800$, $-460 < Z < -386$
 3468 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 56.85 dB



BGR
 B 2.4

Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 5 (Bereich westl. und unterhalb der Abbaue mit eingefaltetem z3AM).

April 98bis Maerz 99, $980 < X < 1020$, $670 < Y < 800$, $-460 < Z < -372$
 1032 Ereignisse, mit Amplituden-Korrektur
 mittlere Magnitude (50m) 52.35 dB



Mikroakustik ERAM Südfeld: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Magnituden (halblogarithmisch und linear), Bereich 6 (Bereich östlich und unterhalb der Abbaue mit z3HA).