

Bestimmung der Verformungseigenschaften salinärer Schichten durch Konvergenzmessungen in Schächten

Determination of the deformation behaviour of salinar layers using convergence measurements in shafts

Jürgen Hesser¹, Qianyun Wang²

¹ Dr.-Ing. Jürgen Hesser, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), juergen.hesser@bgr.de

² Qianyun Wang, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), qianyun.wang@bgr.de

Zusammenfassung

Konvergenzmessungen, als wichtiger Bestandteil der Überwachungsmessungen in untertägigen Grubenräumen, liefern auch wichtige Informationen zum mechanischen Materialverhalten des Gebirges im Rahmen einer Standorterkundung. Im Vergleich zu anderen Grubenräumen ist in Schächten eine genauere Einschätzung der Verformungseigenschaften für die aufgeschlossenen Gesteinsschichten aufgrund der symmetrischen Geometrie und der Lage im Schachtsicherheitspfeiler möglich. Beispielhaft werden Konvergenzmessungen in zwei Schächten im Salinar mit einer Bewertung bzw. Interpretation der Messergebnisse auf Grundlage der geologischen Situationen vorgestellt. Anhand der Ergebnisse ist erwartungsgemäß eine Zunahme der Verformung mit der Teufe festzustellen. Aber auch eine Abhängigkeit der Verformungseigenschaften vom stratigraphischen Alter der anstehenden salinären Schichten ist deutlich zu erkennen. Darüber hinaus erlaubt die Bestimmung der Absolutverschiebungen der Konvergenzmesspunkte eine weitergehende Analyse der Konvergenzmessungen, die eine Identifikation von Einflüssen besonderer Lagerungsformen auf die Größe und die Richtung der Verformungen ermöglicht.

Schlüsselworte: Konvergenzmessung, Schacht, Salinar, Absolutverschiebung, Leine-Folge

Abstract

Convergence measurements are an important part of the monitoring methods in workings underground. They also provide important information to the mechanical behaviour of the rock mass in the framework of exploration. Especially in shafts the deformation behaviour of the rock mass layers can be determined more precisely because of the symmetric geometry and their location within the shaft safety pillar. In this paper examples of convergence measurements in two shafts in salt rock with their evaluation and interpretation considering the geological situation are presented. The results show an increase of deformation with depth as expected. But also the dependence on the stratigraphic age concerning the rock salt layers is obvious. Deformations of stratigraphic younger rock salt units are much lower than the deformations of stratigraphic older rock salt units. The determination of the absolute displacements of the convergence measuring points allows an analysis in detail concerning the identification of special geological situations with their influences on deformation size and deformation direction.

Keywords: Convergence measurement, shaft, salinar, absolute displacement, Leine-Folge

1 Einleitung

Schächte stellen als seigere Ausrichtungsgrubenbaue die kürzeste Verbindung der Tagesoberfläche mit tiefliegenden Lagerstätten bzw. den untertägigen Grubenräumen her. Sie haben eine große infrastrukturelle Bedeutung, da die gesamte Ver- und Entsorgung des Grubengebäudes über die Schächte erfolgt. Daher werden erhöhte Anforderungen an die Standsicherheit sowie an einen geringen Unterhaltungs- und Wartungsaufwand der Schächte gestellt. Insbesondere die Forderung nach kleinen und gleichmäßigen Verformungen stellt sich insbesondere bei Förderschächten mit fest installierten Führungseinrichtungen.

Vor diesem Hintergrund ist der Überwachung der Schächte durch Spannungs- und Verformungsmessungen eine große

Bedeutung zuzumessen. Die hierfür eingesetzten Messmethoden liefern auch wichtige Hinweise und Daten für die Charakterisierung der durch die Schächte aufgeschlossenen Gesteinsschichten. Basierend auf den Ergebnissen der Überwachungsmessungen können unter Berücksichtigung der tatsächlichen Gebirgseigenschaften eine reale Einschätzung des Tragverhaltens und damit eine gesicherte Prognose für die Betriebsdauer der Schächte erfolgen.

Konvergenzmessungen sind ein wichtiger Bestandteil der Überwachungsmessungen, da mit einem vergleichsweise geringen Aufwand die Deformation der Schachtkontur als eine wesentliche Größe für die Funktionstüchtigkeit bzw. den Wartungsaufwand der Schächte bestimmt wird. Nachfolgend wird beispielhaft für zwei Schächte im Salzgebirge gezeigt, dass die Konvergenzmessungen auch einen wichti-



gen Beitrag zur Erkundung der Gebirgseigenschaften liefern können. Dabei werden kurz die zu berücksichtigenden äußeren Faktoren dargestellt, die zu Veränderungen der Messergebnisse führen können und in geeigneter Weise zu berücksichtigen sind. Danach erfolgt eine Bestimmung der Verformungseigenschaften salinärer Schichten anhand der Konvergenzmessdaten sowie die Erweiterung der Auswertung, die eine detaillierter Analyse der Konvergenzmessdaten ermöglicht.

2 Messbedingungen und Auswertung

Bei Konvergenzmessungen werden durch mechanische oder optische Verfahren die Abstände zweier Messpunkte und somit die Länge einer Konvergenzmessstrecke bestimmt. Die Genauigkeit der Messergebnisse kann dabei je nach Messverfahren und eingesetzten Messgeräten erheblich variieren. Treten in den Grubenräumen Temperaturschwankungen auf, dann ist bei den Messungen auf eine Temperaturkompensation der Messwerte unter Berücksichtigung der gerätespezifischen Kennwerte zu achten. Durch Folgemessungen werden Längenänderungen der Konvergenzmessstrecken zur ersten (Null-) Messung ermittelt. Positive Längenänderungen werden als Divergenzen bezeichnet, negative Längenänderungen als Konvergenzen.

Die Installation der Messpunkte in den Schächten wird durch das jeweilige Messziel und die lokale Situation bestimmt. In den ausgebauten Schachtbereichen sind die Messpunkte in der Innenschale integriert, so dass die Verformung der ausgebauten Schachtkontur erfasst wird. Im nicht ausgebauten Schachtbereich werden die Messpunkte mindestens 50 cm tief im Gebirge mit einem ausreichenden Abstand zu einer potentiellen Auflockerungszone verankert. Dadurch wird sichergestellt, dass die tatsächlichen Verformungen des Gebirges erfasst werden und nicht konturnahe Auflockerungsprozesse. Die Anordnung der Konvergenzmesspunkte in einer horizontalen Ebene wird so gewählt, dass eine möglichst vollständige Abdeckung des Schachtquerschnittes erreicht wird. Für die hier dargestellten Konvergenzmessungen sind in Abbildung 1 die Anordnung der Konvergenzmesspunkte mit den zugehörigen Konvergenzmessstrecken dargestellt.

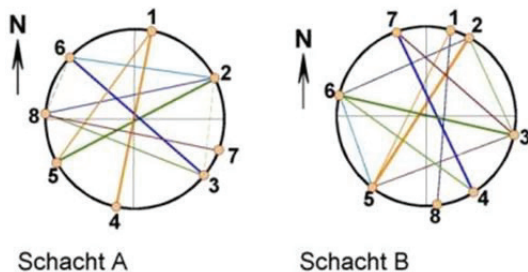


Abb. 1: Exemplarische Anordnung von Konvergenzmesspunkten und der zugehörigen Konvergenzmessstrecken.

Fig. 1: Array of convergence measurement points and the related measuring lines as an example.

Abbildung 1 zeigt, dass mehrere Messpunkte über verschiedene Messstrecken verbunden sind. Durch diese Anordnung der Messstrecken ist eine begrenzte Aussage zu den Verformungen in unterschiedlichen Richtungen möglich.

Eine gesamtheitliche Erfassung der Querschnittsdeformation eines Schachtes erfordert die Einrichtung mehrerer Messhorizonte, wie sie in Abbildung 1 exemplarisch dargestellt sind, in verschiedenen Teufenniveaus. Dabei ist auf eine für jeden Schacht jeweils einheitliche Orientierung der Konvergenzmessstrecken zu achten, damit eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse gewährleistet ist. In den Abbildungen 2 und 3 sind die Konvergenzmessquerschnitte in den jeweiligen Teufenniveaus der hier betrachteten Schächte dargestellt.

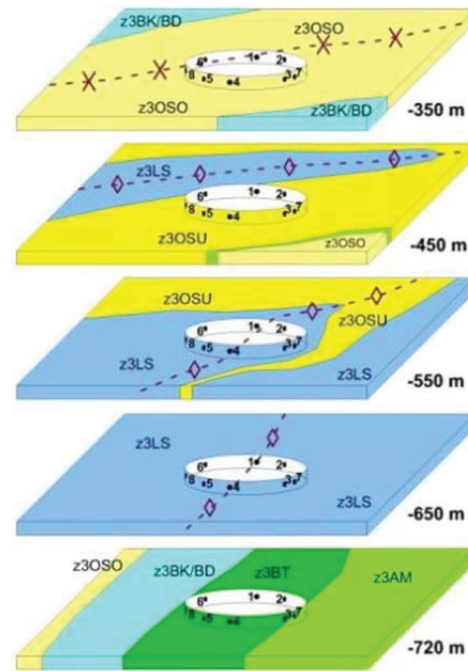


Abb. 2: Messquerschnitte in Schacht A mit der Geologie.
Fig. 2: Measuring profile in Shaft A with the geology.

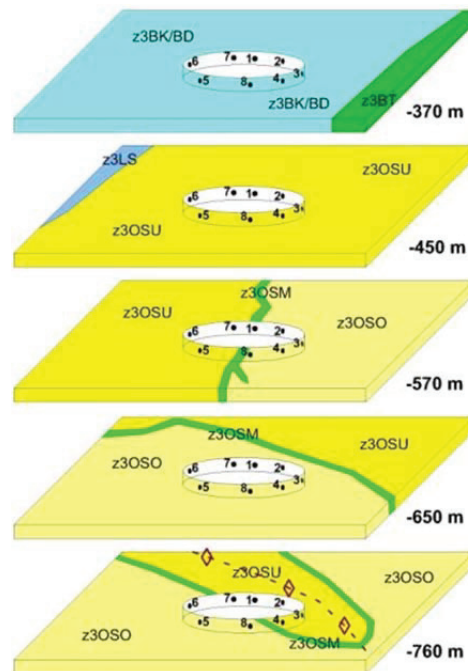


Abb. 3: Messhorizonte in Schacht B mit der Geologie.
Fig. 3: Measuring horizons in Shaft B with the geology.

Die Abbildungen 2 und 3 enthalten darüber hinaus schematisch die im Bereich der Messquerschnitte erkundete Geologie. Beide Schächte durchteufen in den betrachteten Teufbereichen Steinsalzschichten der Leine-Folge (z3). Dabei sind die variierenden geologischen Bedingungen in den Bereichen der Messquerschnitte hinsichtlich der stratigraphischen Einheiten und der Orientierung der salinaren Schichten zu erkennen.

Die Konvergenzmessdaten werden insbesondere in einziehenden Wetterschächten durch jahreszeitliche Temperaturschwankungen signifikant beeinflusst. Dieser Sachverhalt wird mit der exemplarischen Darstellung von Konvergenzmessdaten in Abbildung 4 belegt.

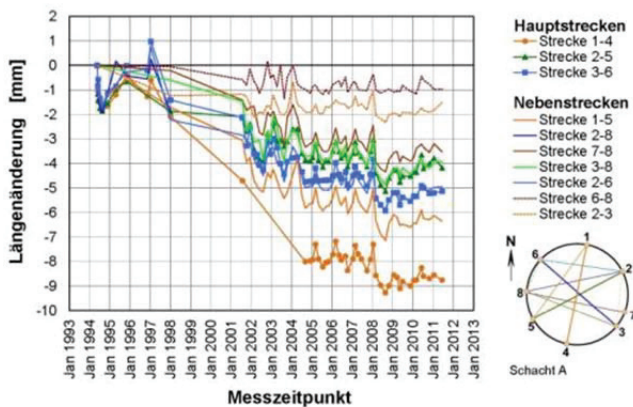


Abb. 4: Beispiel für gemessene Relativverschiebungen in einem Wetterschacht-Messquerschnitt.

Fig. 4: Example for measured relative displacements in a measuring profile of an ventilation shaft.

Danach ist ab 2002 für jedes Jahr eine Zunahme der Konvergenz jeweils in den Frühjahr- und Sommermonaten zu erkennen, während im Herbst und im Winter die Konvergenz wieder abnimmt. Diese Jahrgänge sind im Hinblick auf eine belastbare Bewertung und Interpretation der Konvergenzmessergebnisse in geeigneter Weise berücksichtigt.

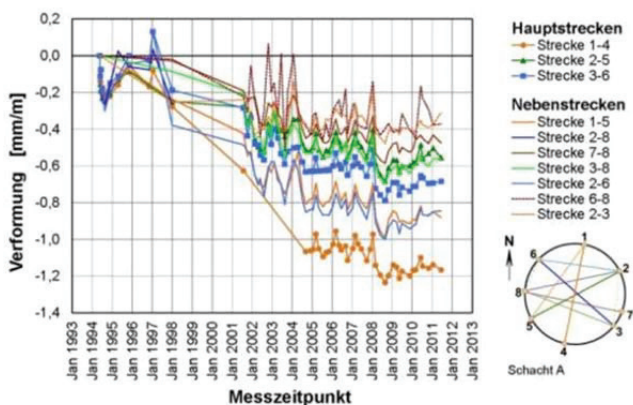


Abb. 5: Berechnete Verformungen der Konvergenzmessstrecken.

Fig. 5: Calculated deformations of measuring lines.

Die ermittelten Längenänderungen geben zwar bereits erste Hinweise auf die Verformungen des Gebirges, ein Vergleich der Konvergenzmessdaten unterschiedlicher Messstrecken ist allerdings aufgrund der unterschiedlichen Stre-

ckenlängen nicht immer möglich. Daher wird im Rahmen der Auswertung für jede Messstrecke die Verformung als Verhältnis von Längenänderung zu Streckenlänge berechnet. Mit dieser Vorgehensweise liegt eine einheitliche Basis für eine vergleichende Bewertung der Konvergenzmessergebnisse vor. Abbildung 5 enthält beispielhaft die mit den Messdaten in Abbildung 4 ermittelten Verformungen.

3 Ergebnisse der Konvergenzmessungen

Für die hier betrachteten Schächte im Salinar sind die gemessenen Längenänderungen der Konvergenzmessstrecken absolut betrachtet relativ gering. In allen betrachteten Messquerschnitten sind generell Konvergenzen zu beobachten. Divergenzen treten nur zu vereinzelten Zeitpunkten relativ zeitnah zur Nullmessung auf und sind daher auf Temperaturänderungen oder Messungenauigkeiten zurückzuführen. Je nach Lokation sind unterschiedlich große Streuungen der gemessenen Konvergenzen festzustellen. Im Wetter einziehenden Schacht A wird der Einfluss der Temperaturänderungen an der Tagesoberfläche mit zunehmender Teufe geringer, da sich die Wetter allmählich erwärmen. Die Jahrgänge, wie sie in Abbildung 4 zu erkennen sind, nehmen demnach mit zunehmender Teufe ab. Im ausziehenden Schacht B treten keine Jahrgänge mehr auf.

Die zeitliche Entwicklung der Konvergenzen lässt zunächst eine deutliche Zunahme nach Messbeginn erkennen. Mit zunehmender Messdauer nähern sich die Konvergenzen allmählich einem annähernd stationären Wert an. Diese Entwicklung ist anhand der in Abbildung 6 dargestellten Verformungen - getrennt für ausgewählte Messstrecken in den Messhorizonten der Schächte - ersichtlich.

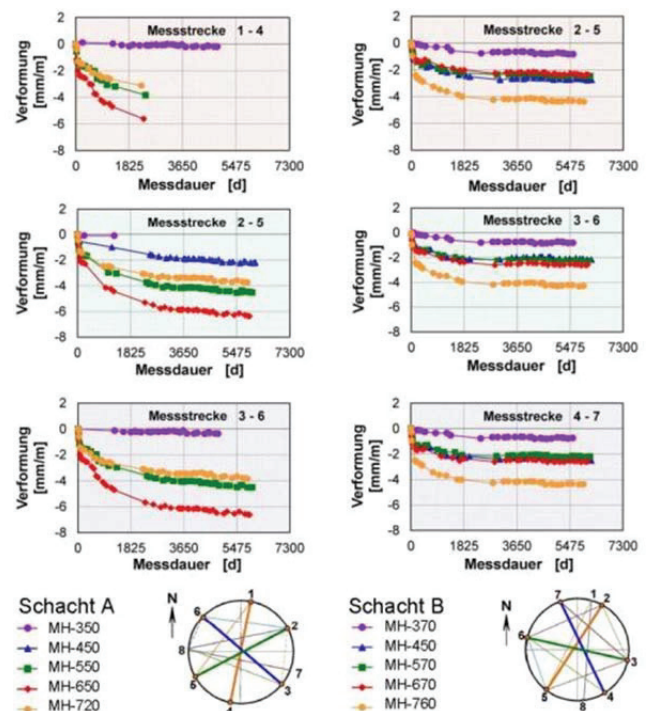
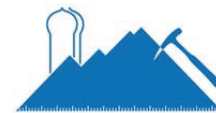


Abb. 6: Berechnete Verformungen ausgewählter Konvergenzmessstrecken in den Messquerschnitten der Schächte.

Fig. 6: Calculated deformations of selected measuring lines in the measuring profiles in the shafts.



Nach Abbildung 6 sind die Verformungen in Schacht A generell größer als die Verformungen in Schacht B. In beiden Schächten ist eine tendenzielle Verformungszunahme mit der Teufe und folglich mit ansteigendem Gebirgsdruck festzustellen. Allerdings sind die Verformungen des tiefsten Messhorizontes in Schacht A kleiner als die Verformungen der darüber befindlichen Messhorizonte und in Schacht B erreichen die Verformungen der mittleren Messhorizonte ungefähr die gleichen Werte. Dieser Sachverhalt wird durch die teufenabhängige Darstellung der für das Jahr 2011 berechneten Verformungen ausgewählter Messstrecken in Abbildung 7 verdeutlicht.

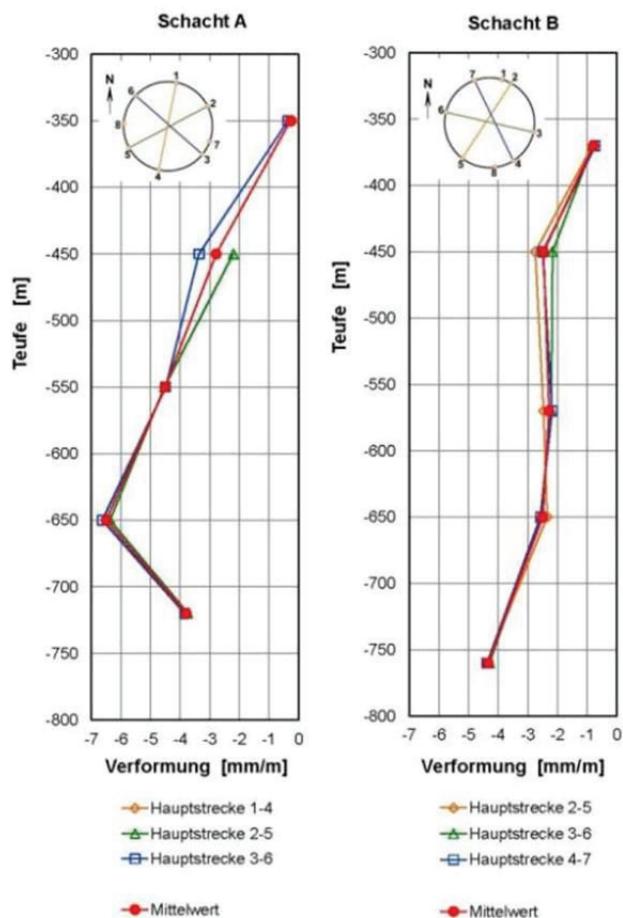


Abb. 7: Verformung der Konvergenzmessstrecken in Abhängigkeit von der Teufe.

Fig. 7: Deformation of measuring lines as a function of depth.

Nach Abbildung 7 ist für Schacht A eine annähernd lineare Zunahme der Verformungen mit der Teufe, insbesondere im Teufenbereich von -350 m bis -650 m, festzustellen. Eine signifikante Abweichung von dieser teufenabhängigen Verformungszunahme lassen die Verformungen im tiefsten Messquerschnitt erkennen. Als Ursache für diese Abweichung wird ein signifikanter Einfluss der unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der anstehenden Schichten vermutet, der die Teufenabhängigkeit der Verformungen überlagert. Diese Vermutung stützt sich auf Ergebnisse aus Laborversuchen, die eine ausgeprägte Zunahme der Kriechfähigkeit mit dem stratigraphischen Alter der salinaren Schichten dokumentieren (BRÄUER et al. 2012). Nach der schematischen Darstellung in Abbildung 2 liegt im Teufen-

bereich von rund -350 m in Schacht A vornehmlich das Obere Orangesalz (z3OSO) vor. In den tieferen Horizonten bis zu einer Teufe von -650 m wird zunächst das Untere Orangesalz (z3OSU) angetroffen und der Volumenanteil des Liniensalzes (z3LS) nimmt mit der Teufe zu. Danach wurden im oberen Schachtbereich die jüngeren stratigraphischen Einheiten der Leine-Folge aufgeschlossen. Das stratigraphische Alter der durchörterten Schichten nimmt mit zunehmender Teufe bis in den Bereich von -650 m zu. Den Laborergebnissen in BRÄUER et al. (2012) entsprechend ist daher für diesen Bereich auch von einer Zunahme der Kriechverformungen und folglich der Konvergenzen auszugehen. Die zunehmende Kriechfähigkeit der Schichten intensiviert demnach den Effekt der teufenabhängigen Verformungszunahme. Im tiefsten Messquerschnitt bei -720 m stehen hauptsächlich die Schichten Bank-/Bändersalz (z3BK/BD), Buntessalz (z3BT) und Anhydritmittelsalz (z3AM) an (vgl. Abbildung 2). Diese Schichten sind stratigraphisch jünger als die Salzschiefer in den Bereichen der darüber liegenden Messquerschnitte. Im Vergleich zu den höheren Messhorizonten ist die Kriech- bzw. Verformungsfähigkeit dieser Schichten daher deutlich geringer, so dass in diesem Teufenbereich trotz größerer Teufe kleinere Verformungen auftreten.

In Schacht B ist eine teufenabhängige Verformungszunahme in den beiden oberen und den beiden unteren Messquerschnitten festzustellen. In den drei mittleren Messquerschnitten sind die Verformungen der Konvergenzmessstrecken annähernd konstant (vgl. Abbildung 7). Der Verformungszuwachs von -370 m bis zu -450 m ist einerseits auf die Teufenzunahme zurückzuführen. Andererseits steht nach Abbildung 3 im Bereich -350 m das Bank-/Bändersalz (z3BK/BD) an, das im Vergleich zum Unteren Orangesalz (z3OSU) bei -450 m stratigraphisch jünger ist und daher eine geringere Verformungsfähigkeit aufweist. Von -470 m bis -650 m wechseln die Schichten vom stratigraphisch älteren Unteren Orangesalz (z3OSU) zum stratigraphisch jüngeren Oberen Orangesalz (z3OSO). Eine erwartete Verformungszunahme mit der Teufe in diesem Bereich wird durch die abnehmende Kriechfähigkeit der anstehenden Schichten mit der Teufe kompensiert, so dass hier annähernd konstante Verformungen festzustellen sind.

Abbildung 7 lässt mit Ausnahme der Verformungen im Teuffenniveau bei -450 m eine relativ kleine Streubreite der Verformungen erkennen. Da die ausgewählten Konvergenzmessstrecken unterschiedliche Orientierungen aufweisen, vermittelt die geringe Streubreite annähernd gleichmäßige Konvergenzen, so dass eine Abhängigkeit von der Messrichtung in Relation zur Orientierung der salinaren Schichten scheinbar nicht vorliegt. In den Teuffenniveaus bei -450 m werden in Schacht A größere Konvergenzen in Südost-Nordwest-Richtung (Messstrecke 3-6) beobachtet. In Schacht B treten größere Konvergenzen in Südwest-Nordost-Richtung (Messstrecke 2-5) auf. Die Auswertung der Konvergenzmesdaten, wie sie hier dargestellt wurde, liefert belastbare Resultate zu den Verformungseigenschaften der durch die Grubenräume aufgeschlossenen Schichten genereller Art. Für eine detaillierte Bewertung der Messergebnisse ist allerdings die Bestimmung von Messpunktverschiebungen erforderlich.

4 Berechnung der Messpunktverschiebung

Wie vorstehend bereits erläutert, werden durch Konvergenzmessungen die Längenänderungen von Konvergenzstrecken erfasst. Dabei wird unterstellt, dass die Gebirgsverschiebung in Richtung der Konvergenzstrecke, meist senkrecht zur Kontur des Grubenraumes, auftritt. In Abbildung 8 ist diese Annahme durch die Folgemessung A skizziert. Die Absolutverschiebung Δs des Messpunktes ist in diesem Fall senkrecht zur Kontur des Grubenraumes gerichtet und wird direkt durch die Längenänderung der Konvergenzstrecke erfasst.

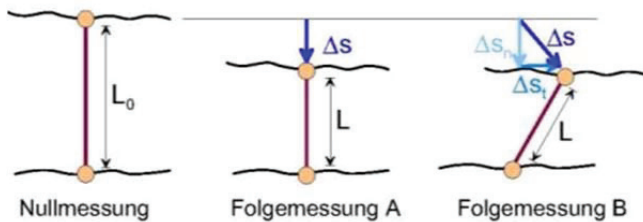


Abb. 8: Skizze zu den berücksichtigten und den nicht erfassten Verschiebungen der Messpunkte bei Konvergenzmessungen.

Fig. 8: Sketch of the considered and not captured displacements of measuring points using convergence measurements.

Allerdings ist generell auch von Verschiebungen auszugehen, die nicht senkrecht zur Kontur eines Grubenraumes gerichtet sind. Dies wird durch die Folgemessung B in Abbildung 8 verdeutlicht, bei welcher der tangentielle Verschiebungsanteil Δs_t durch die Konvergenzmessungen nicht direkt erfasst wird. Bei gleicher Streckenlänge L würde die tangentielle Verschiebung zu einer größeren senkrecht zum Hohlraum gerichteten Verschiebung Δs_n führen, die somit nicht hinreichend erfasst wird. Zur Vermeidung dieses Missstandes sind die Absolutverschiebungen der Messpunkte zu bestimmen.

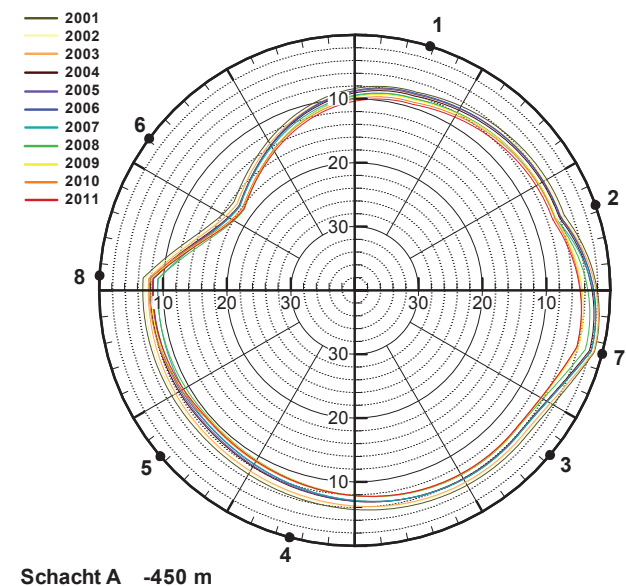
Für die Ermittlung von Absolutverschiebungen der Konvergenzmesspunkte werden üblicherweise zusätzliche Messverfahren, meist markscheiderische Aufnahmen eingesetzt, die eine Einbeziehung von zusätzlichen Fix- oder Bezugspunkten ermöglicht. In Schächten kommen hierfür z. B. Lotmessung oder Höhenmessung in Betracht. Die Anwendung eines zusätzlichen Messverfahrens bedeutet jedoch einen erhöhten zeitlichen Aufwand, der ohne größere Beeinträchtigungen des laufenden Schachtbetriebs häufig nicht erbracht werden kann. Darüber hinaus ist die Genauigkeit des ergänzenden Messverfahrens im Vergleich zur Konvergenzmessung oft um Größenordnungen geringer, so dass belastbare Aussagen nicht möglich sind.

Daher wurde zur weitergehenden Auswertung ein Verfahren angewandt, das eine Abschätzung der Absolutverformungen der einzelnen Konvergenzmesspunkte - basierend auf den gemessenen Längenänderungen der Konvergenzstrecken - ermöglicht und somit Aussagen zum Verformungsverhalten der salinären Schichten unter Berücksichtigung ihrer Orientierung ermöglicht. Für dieses Verfahren werden mehrerer Messpunkte durch verschiedene Messstrecken miteinander verknüpft und die geometrischen Beziehungen der Konvergenzstrecken eines Messquerschnittes rechnerisch in Ansatz gebracht. Die Verknüpfung der Mess-

punkte und die geometrischen Verhältnisse der Konvergenzstrecken für die betrachteten Messquerschnitte sind Abbildung 1 zu entnehmen.

Mit der Annahme, dass sich die Konvergenzmesspunkte radial verschieben, werden dann mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate die Messpunktverschiebungen berechnet. Durch einen Vergleich der nach diesem Verfahren berechneten Messpunktverschiebungen unterschiedlicher Zeitpunkte kann zusätzlich die zeitliche Entwicklung der Punktverschiebungen ermittelt werden. Die Überprüfung der Berechnung erfolgt durch den Vergleich der berechneten Längenänderungen der Konvergenzstrecken mit den gemessenen Konvergenzen.

Die nach diesem Verfahren berechneten Absolutverschiebungen der Konvergenzmesspunkte in der Teufe -450 m in Schacht A sind in Abbildung 9 für verschiedene Zeitpunkte dargestellt. Die Bereiche zwischen den Messpunkten wurden interpoliert.



Schacht A -450 m

Abb. 9: Berechnete Verschiebungen der Konvergenzmesspunkte im Teufenbereich -450 m in Schacht A.

Fig. 9: Calculated displacements of the measuring points in the depth of -450 m in shaft A.

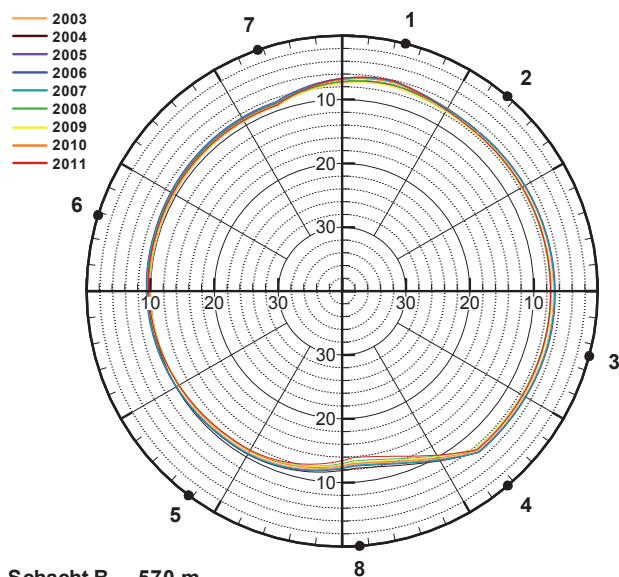
Die Gesamtbetrachtung der Verschiebungen in Abbildung 9 lässt eine ausgeprägt ungleichmäßige Verteilung der Verschiebungen erkennen. Am Messpunkt 6 treten die größten Verschiebungen auf. Die kleinsten Verschiebungen in diesem Messquerschnitt sind am Messpunkt 7 zu beobachten. Für die Bewertung dieser Beobachtung ist die geologische Situation in diesem Messhorizont nach Abbildung 2 einzubeziehen.

Im nordwestlichen Bereich in Richtung Messpunkt 6 steht das Liniensalz (z3LS) an, das stratigraphisch älter ist als das Obere Orangesalz (z3OSU) und damit eine größere Verformungsneigung aufweist. Das Liniensalz ist hier zusätzlich als Sattel ausgebildet, so dass vermutlich Verschiebungen auf der Sattelflanke in Richtung des Schachtes auftreten, die zu erhöhten Verschiebungen des Messpunktes 6 führen. In Ost-Südost-Richtung wurde das Mittlere Orange-



salz (z3OSM) angetroffen, das vornehmlich aus Anhydrit und dünnen Tonlagen aufgebaut ist. Aufgrund seiner tangentialen Ausrichtung zum Schacht und seines petrographischen Aufbaus wirkt das Mittlere Orangesalz hier vermutlich verformungshemmend. Daher sind die Verschiebungen am Messpunkt 7 in diesem Messquerschnitt am kleinsten.

Als weiteres Beispiel enthält Abbildung 10 die Absolutverschiebungen der Konvergenzmesspunkte bei -570 m in Schacht B.



Schacht B -570 m

Abb. 10: Berechnete Verschiebungen der Konvergenzmesspunkte im Teufenbereich -570 m in Schacht B.

Fig. 10: Calculated displacements of the measuring points in the depth of -570 m in shaft B.

Die Darstellung lässt erkennen, dass die Verschiebungen der östlichen Schachtwand kleiner als die Verschiebungen der westlichen Schachtwand sind. Nach Abbildung 3 stehen das stratigraphisch jüngere Obere Orangesalz (z3OSO) im östlichen Bereich des Schachtes und das stratigraphisch ältere Untere Orangesalz (z3OSU) im westlichen Bereich des Schachtes an. Den Ergebnissen der Laboruntersuchungen entsprechend sind die kleineren Verschiebungen der westlichen Seite auf die geringere Verformungsfähigkeit des jüngeren Oberen Orangesalz zurückzuführen.

Ferner fallen in Abbildung 10 die vergleichsweise großen Verschiebungen des Messpunktes 8 und die kleinen Verschiebungen des Messpunktes 1 auf. Nach Abbildung 3 verläuft westlich dieser Messpunkte mit geringem Abstand die dünne Schicht des Mittleren Orangesalz (z3OSM), das vornehmlich aus Anhydrit- und Tonlagen besteht. In dieser Anhydrit- und Tonschicht traten wahrscheinlich schichtparallele Relativverschiebungen in Nord-Süd-Richtung auf, die zu diesen Extremwerten an den Messpunkten 8 und 1 führten. Dabei ist davon auszugehen, dass sich die östliche Schicht des Oberen Orangesalz (z3OSO) relativ zum Unteren Orangesalz (z3OSU) auf der westlichen Seite nach Norden verschoben hat.

5 Zusammenfassende Bewertung

Konvergenzmessungen liefern einen wichtigen Beitrag zur Überwachung von Grubenräumen. Aber auch im Rahmen der Standorterkundung tragen sie wesentlich zur Bestimmungen der Gebirgseigenschaften bei. Dabei haben Konvergenzmessungen in Schächte eine besondere Bedeutung, da die Schächte die Gebirgsschichten meist auf kürzester Distanz durchhörten und aufgrund des Schachtsicherheitspfeilers keine Beeinflussung durch Auffahrung oder Abbau zu erwarten sind. Darüber hinaus haben Schächte meist einen kreisrunden Querschnitt, so dass geometrische Einflüsse auf das Verformungsverhalten, wie z. B. bei einem Hufeisenprofil, weitestgehend vermieden werden.

Bei der Aus- und Bewertung der Messergebnisse sind äußere Einflüsse auf die Messergebnisse, z. B. durch Temperaturänderungen, in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

Aus den vorgestellten Messergebnissen im Salinarteil zweier Schächte wurde deutlich, dass die Größe der Konvergenz einerseits von der Teufe und damit vom Gebirgsdruck bestimmt wird. Andererseits spielen die Verformungseigenschaften der aufgeschlossenen salinaren Schichten eine bedeutende Rolle, die vom stratigraphischen Alter der Schichten abhängig sind. Dabei zeigen die stratigraphisch älteren Schichten größere Verformungen als die jüngeren Schichten. Dieses altersabhängige Verformungsverhalten ist der teufenabhängigen Verformungszunahme überlagert.

Eine ausschließliche Bewertung der berechneten Verformungen der Konvergenzmessstrecken ermöglicht zwar eine erste Einschätzung des Verformungsverhaltens der anstehenden salinaren Schichten, eine detaillierte Analyse erfordert jedoch die Betrachtung der Absolutverschiebungen der Konvergenzmesspunkte. Die Berechnung der Absolutverschiebungen erfolgt durch den Ansatz der Kleinsten-Fehlerquadrat-Methode unter Berücksichtigung der geometrischen Beziehungen der Konvergenzmessstrecken. Die Ergebnisse dieses erweiterten Auswerteverfahrens liefern richtungssensitive Verschiebungen, die den speziellen geologischen Situationen in den Messquerschnitten zugeordnet werden können. Auf dieser Grundlage kann eine deutlich verbesserte Bestimmung des Verformungsverhaltens für die einzelnen stratigraphischen Einheiten erfolgen.

Literatur

BRÄUER, V.; EICKEMEIER, R.; EISENBURGER, D.; GRISSEMAN, C.; HESSER, J.; HEUSERMANN, S.; KAISER, D.; NIPP, H.-K.; NOWAK, T.; PLISCHKE, I.; SCHNIER, H.; SCHULZE, O.; SÖNNKE, J. & WEBER, J. R. (2012): Standortbeschreibung Gorleben Teil 4 – Geotechnische Erkundung des Salzstocks Gorleben. – 194 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).

BORNEMANN, O.; BEHLAU, J. FISCHBECK, R. HAMMER, J.; JARITZ, W.; KELLER, S.; MINGERZAHN, G. & SCHRAMM, M. (2008): Standortbeschreibung Gorleben Teil 3 – Ergebnisse der über- und untertägigen geologischen Erkundung des Salinars. – 214 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).