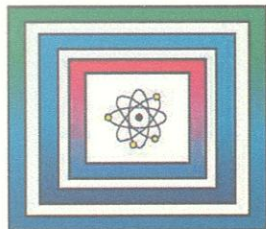


# Projekt Gorleben

9GE331400000

## Laboruntersuchungen zur Schädigung und Verheilung von Steinsalz



Ergebnisbericht

Hannover, Mai 2014

Geozentrum Hannover Hv112

10 147 588



0132115

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE  
HANNOVER

Projekt Gorleben  
Geotechnische Laborarbeiten im Rahmen der Erkundung Gorleben  
Laboruntersuchungen zur Schädigung und Verheilung von Steinsalz

Ergebnisbericht

Bundesanstalt  
für Geowissenschaften und Rohstoffe

Archiv

0132115

Autor:

Plischke, Ingo

Auftraggeber:

Bundesamt für Strahlenschutz

Auftragsnummer:

9GE331400000

Geschäftszeichen:

B3.4/B50123-15/2014-0004/001

Datum:

31.05.2014

TK-Nummer:

2934

Im Auftrag:

Direktor und Professor Dr. V. Bräuer (Abteilungsleiter B3), Projektleitung Endlagerung

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung.....	3
Abstract.....	4
1 Vorgang.....	5
2 Einleitung.....	5
3 Untersuchungsphase 1.....	6
3.1 Behandlung des zu untersuchenden Materials der 1. Untersuchungsphase.....	6
3.2 Ergebnisse der Untersuchungsphase 1.....	7
4 Untersuchungsphase 2.....	7
4.1 Behandlung des zu untersuchenden Materials der Untersuchungsphase 2.....	7
4.2 Ergebnisse der Untersuchungsphase 2.....	8
5 Diskussion.....	9
6 Zusammenfassung.....	10
Literaturverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	12
Tabellenverzeichnis.....	13
Abbildungsverzeichnis.....	14
Anhangverzeichnis.....	15
Anlageverzeichnis.....	16

Gesamtblattzahl: 27 zuzüglich 1 Anlage mit 2 Berichten

## Verkürzte Zusammenfassung

Autor:	Plischke, Ingo
Titel:	Laboruntersuchungen zur Schädigung und Verheilung von Steinsalz
Schlagwörter:	Feuchteabhängigkeit, Gorleben-Steinsalz, Schädigung, Verheilung

Im Umfeld von Untertage-Hohlräumen in Salzgestein können Spannungszustände auftreten, die bis in das Dilatanzregime reichen. Im Falle von Dilatanz werden Auflockerung durch die Bildung von Mikro-Rissen, Tragfähigkeitsreduktion durch Schädigung und schließlich auch Wegsamkeiten entstehen. Solche geschädigten Bereiche können unter entsprechenden Spannungsbedingungen wieder verheilen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert Untersuchungen zur Wiederverheilung, anhand von Steinsalzproben aus der Schachanlage Asse und dem Erkundungsbergwerk Gorleben.

Hierzu wurden zwei Aufträge für Gefügeanalysen an vorgeschädigtem und rekompaktiertem Steinsalz an Dritte vergeben (Prof. ZULAUF, Frankfurt). Die dort erzielten Ergebnisse bestätigen die bei der BGR und dem IfG-Leipzig aus Laboruntersuchungen empirisch abgeleiteten Erkenntnisse.

Es zeigte sich, dass feucht rekompaktierte Proben weniger offene Risse aufwiesen. Bei trocken belassenen Proben verminderte sich die Permeabilität des Gesteins durch Rekompaktion um 2 Größenordnungen, bei feuchten Proben um mehr als 7 Größenordnungen.

## Abstract

Author:

Plischke, Ingo

Title:

Laboratory tests on damage and healing  
processes of rock salt

Keywords:

damage, Gorleben rock salt, healing,  
moisture dependence

In the vicinity of underground cavities stress conditions may occur, which extend up to the dilatancy boundary.

In the event of dilatance loosening caused by the formation of micro cracks, reduction in loading capacity from destruction, and eventually conductivity for material transfer will develop.

In this report, about further tests will be reported, which have been carried out on rock salt samples from the Asse site and Gorleben salt dome supplementing the already numerous existing results.

Two orders for microstructure analysis on damaged and re-compacted rock salt samples have been allocated to a third party (Prof. ZULAUF, Frankfurt). The results obtained confirm the empirically derived findings of BGR and IfG-Leipzig laboratory tests.

The results are shown in the contractor's reports, which are attached to the appendix of this report as CD.

It was revealed that damp re-compacted samples show less open cracks. With samples left dry the permeability of the rock is reduced through re-compaction by 2 orders of magnitude and to more than 7 orders of magnitude in wet samples.

## 1 Vorgang

Im Zuge der Weitererkundung des Salzstocks Gorleben hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) die Bearbeitung des Arbeitspaketes 9GE331400000 „Geotechnische Laborarbeiten im Rahmen der Erkundung Gorleben“ übertragen. Dieses Arbeitspaket endete zum 31.12.2013.

Nachfolgend werden die im Zeitraum vom 01.01.2011 bis 31.12.2013 durchgeführten geowissenschaftlichen Arbeiten beschrieben sowie die erzielten Ergebnisse dargestellt, soweit sie die Untersuchung der Eigenschaften zur Schädigung, Rekompaktion und Wiederverheilung von Steinsalz betreffen.

Das für die diesbezüglichen Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellte Material stammt aus dem Speisesalz (z2SP) der Schachanlage Asse sowie aus einem Steinsalz-Block aus dem Bohrort GoEB1Bo1.2, der im südlichen Teil des West-Querschlags des Erkundungsbereichs 1 (EB1) des Erkundungsbergwerkes Gorleben im Streifensalz (z2HS2) gewonnen wurde.

## 2 Einleitung

Steinsalz würde als Wirtsgestein für ein Endlager mit wärmentwickelnden radioaktiven Stoffen eine thermo-mechanische Belastung erfahren. Dabei können Spannungszustände entstehen, die bis in das Dilatanzregime reichen. Im Falle von Dilatanz werden sich Auflockerung durch die Bildung von Mikro-Rissen, Tragfähigkeitsreduktion durch Schädigung und schließlich auch Wegsamkeiten für Stofftransport entwickeln, die den Verlust der Barriere-Funktion des Wirtsgesteins gegen Stofftransport nach sich ziehen können (siehe auch STORMONT & DAEMEN (1992), SCHULZE et al. (2001), SCHULZE (2007) sowie IfG (2007)).

Die hydraulische Integrität einer geologischen Barriere ist eng gekoppelt an das Deformationsverhalten des Wirtsgesteins und unterliegt in ihrer zeitlichen Entwicklung dem Wechselspiel zwischen Deformationsprozessen (z. B. in der Auflockerungszone) und der inhärenten Fähigkeit des Gesteins zur Selbstabdichtung. Insofern ist insbesondere die Fragestellung, unter welchen Bedingungen nach einer Schädigung der Barriere eine Verheilung eintreten kann, ein wichtiges Kriterium (IfG 2007).

Wegen der besonderen Bedeutung von Prozessen, die bei Dilatanz wirksam werden, sind in Ergänzung zu den bereits vorliegenden Befunden weitere Untersuchungen durchgeführt worden, bei denen speziell dem Verheilungs-Verhalten von Steinsalz aus der Schachanlage Asse und dem Erkundungsbergwerk Gorleben nachgegangen werden sollte. Das für die diesbezüglichen Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellte Material

stammt aus dem Speisesalz (z2SP) der Schachtanlage Asse bzw. einem Steinsalz-Block aus dem Bohrort GoEB1Bo1.2, der im südlichen Teil des West-Querschlags des Erkundungsbergwerkes Gorleben im Streifensalz liegt (z2HS2). Die Untersuchungen und die Darstellung der Ergebnisse sind Gegenstand dieses Berichtes.

Zur Absicherung der Ergebnisse aus eigenen Arbeiten wurden zwei Aufträge zur Ermittlung des Einsetzens der Verheilung an Dritte vergeben (Prof. ZULAUF, Frankfurt). Die dort erzielten Ergebnisse ergänzen die bei IfG (2007) aus Laboruntersuchungen empirisch abgeleiteten Formulierungen zur Verheilung, welche Spannungszustände ausweisen, bei denen mit Verheilung verbundene Prozesse wirksam werden. Die Berichte von Prof. Zulauf zu diesen Aufträgen sind auf Datenträger als Anlage beigefügt.

### **3 Untersuchungphase 1**

#### **3.1 Behandlung des zu untersuchenden Materials der 1. Untersuchungsphase**

Das Material aus der 1. Untersuchungsphase stammt aus weggeregelten Festigkeitsversuchen an Asse-Speisesalz (z2SP), die mit einer axialen Verformungsrate von  $d\varepsilon/dt \sim 1.0E-05$  1/s bei einer Temperatur von 30 °C gefahren wurden. Der jeweils konstante Manteldruck lag zwischen 0,2 und 3 MPa. Die volumetrische Verformung wurde über die Ölbilanz aufgezeichnet. Die Prüfkörper wurden nach dem Versuch vermessen. Alle untersuchten Prüfkörper waren geschädigt und aufgelockert, jedoch nicht zerstört. Die wichtigsten Versuchsdaten können Tabelle 1 im Anhang 1 entnommen werden.

Die Spannungs-Verformungsdiagramme bzw. die Volumenzunahme als Funktion der Verformung dieser Versuche sind in den Abb. 1 – 4 (Anhang 2) dargestellt.

Vor der Rekompaktion wurden 2 Prüfkörper trocken belassen. 2 Prüfkörper wurden eine Woche lang über einer gesättigten NaCl-Lösung im Exsikkator aufgefuehctet. Die Rekompaktion aller Prüfkörper erfolgte dann in den Kompaktionszellen der BGR bei einer Temperatur von 60 °C und mit einem hydrostatischen Druck von 20 MPa über 30 Tage. Nach Ausbau aus den Kompaktionszellen wurden die Prüfkörper zeitnah in einen wasserdampfdichten Folienschlauch eingeschweißt und dem Auftragnehmer für die mikroskopischen, computertomographischen und texturellen Untersuchungen übergeben.

### **3.2 Ergebnisse der Untersuchungsphase 1**

Die angewendeten Untersuchungsverfahren wie Röntgenstrahl-Computertomographie, Mikroskopie sowie Texturanalyse mittels Electron Backscatter Diffraction (EBSD) sowie die detaillierten Ergebnisse können der beigefügten CD 1 entnommen werden. Die wesentlichen Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

Die trocken und feucht rekompaktierten Proben unterscheiden sich im Wesentlichen darin, dass die feucht rekompaktierten deutlich weniger offene Risse als die trocken rekompaktierten aufweisen. Außerdem zeigt das feucht rekompaktierte Material nach Aussage des Berichterstatters eine höhere Anzahl von Subkörnern im Halit, eine intensivere Anlösung und Verzahnung der Halit-Korngrenzen sowie einen höheren Grad an Rekristallisation im Halit.

Aus den gewonnenen Ergebnissen wird geschlussfolgert, dass der Grad der duktilen Deformation während der Rekompaktierung des „feuchten“ Materials deutlich höher war als beim trocken belassenen Material. Diese stärkere Deformation führte dazu, dass ein Großteil der zuvor offenen trans- und intragranularen Risse im feucht rekompaktierten Material wieder geschlossen wurde. Zudem finden sich Hinweise, dass sich im Rahmen der Rekompaktierung des feuchten Materials in begrenztem Umfang neue Mineralphasen gebildet wurden. Der deutliche Unterschied in der Anzahl der offenen Risse erklärt die unterschiedliche Permeabilität der Proben.

## **4 Untersuchungsphase 2**

### **4.1 Behandlung des zu untersuchenden Materials der Untersuchungsphase 2**

Für die Untersuchungsphase 2 wurden die zu untersuchenden Prüfkörper wie folgt vorbehandelt. Das Material stammte aus einem Steinsalzblock, der im Bohrtort 1.2 im Erkundungsbereich 1 der 840m-Sohle des Erkundungsbergwerkes Gorleben aus dem nördlichen Stoß herausgesägt worden war.

Die Prüfkörper wurden mit einer Temperatur  $T = 30 \text{ °C}$  bei einer axialen Verformungsrate  $d\varepsilon/dt \sim 5.0E-8 \text{ 1/s}$  und einem konstantem Manteldruck von 0,5 bis 5 MPa verformt. Ziel war die Ermittlung des Verfestigungsverhaltens und der Schädigungsentwicklung bei Einsetzen von Dilatanz. Die Versuchsdaten können Tabelle 1 entnommen werden. Die Spannungs-Verformungsdiagramme bzw. die Volumenzunahme als Funktion der Verformung dieser Versuche sind in den Abb. 5 – 9 (Anhang 2) dargestellt.



Zur Untersuchung der Rückbildung der Schädigung wurden die vorgeschädigten Prüfkörper nach Ummantelung mit einem Schutzschlauch in einer Druckzelle bei  $T = 60\text{ °C}$  und einem Druck von 20 MPa über 30 Tage isostatisch kompaktiert. Hierbei waren die Prüfkörper zuvor 72 Stunden lang in mit gesättigter NaCl-Lösung getränkten Tüchern aufgesättigt worden.

Voruntersuchungen an Vergleichsmaterial hatten aufgezeigt, dass die Porosität  $\varphi$  nach Vorschädigung ( $\varphi: 2 - 3\%$ ) während der Kompaktion im Rahmen der Messgenauigkeit in beiden Fällen auf „Null“ zurückging. Dagegen ging die Permeabilität  $k$  (nach Darcy, Messung mit reinem  $N_2$ -Gas von anfänglich  $k \sim 10^{-14}\text{ m}^2$  ohne Befeuchtung in die Größenordnung von  $k \sim 10^{-16}\text{ m}^2$  zurück. Im Fall der befeuchteten Prüfkörper wurde die Messgrenze, auch nach Rücknahme der isostatischen Belastung, bleibend unterschritten ( $k < 10^{-21}\text{ m}^2$ ). Die Permeabilität war also deutlich messbar geringer als bei nicht befeuchtetem Material. Hieraus folgte ein zweiter Auftrag für eine weitere Gefügeanalyse, um die im Labor gemessenen gesteinsphysikalischen Werte durch bildanalytische Standardverfahren zu bestätigen.

## 4.2 Ergebnisse der Untersuchungsphase 2

An den dem Auftragnehmer übergebenen Prüfkörpern wurden folgende Untersuchungsmethoden angewendet: Die Zylinder wurden zunächst in einem klinischen CT gescannt und danach fotografiert. Mit diesem medizinischen CT ist es möglich, Strukturen mit einer Auflösung von optimal  $600 \times 600 \times 1000\ \mu\text{m}^3$  darzustellen. Anschließend wurden aus der Mitte der Prüfkörper Dickschliffe präpariert, von denen mikroskopische Übersichtsaufnahmen angefertigt wurden und mittels derer die Korngrößenverteilung ermittelt wurde. Außerdem wurden die markantesten Risse aus der jeweiligen Übersicht vermessen und ausgewertet.

Kleinere Strukturen wurden zusätzlich mittels eines Nanofokus-Computertomographen der Universität Frankfurt analysiert.

Die mikroskopierten Dickschliffe wurden anschließend für die Electron Backscatter Diffraction-Messungen (EBSD) präpariert. An markanten Stellen wurden soweit wie möglich Messpunkte für energiedispersive Röntgenspektroskopie-Messungen (EDX) gesetzt.

Mit Hilfe der EBSD-Analysen kann man Informationen über die kristallographischen Vorzugsorientierungen der Salzkristalle erhalten. Dieser Technik kommt bei der Untersuchung von Steinsalz eine besondere Bedeutung zu, da die lichtoptische Mikroskopie auf Grund des optisch isotropen Verhaltens von Steinsalz in ihrer Aussagekraft limitiert ist. Genaueres zur Durchführung und Auswertung kann dem Bericht der Uni Frankfurt zur Untersuchungsphase 2 (Anlage 2: ZULAUF (2013)) entnommen werden. Die Ergebnisse der Schliff- und EBSD-Untersuchungen wurden für jeden untersuchten Prüfkörper beschrieben und anschließend mit den CT-Auswertungen vergleichend dargestellt.

Zusätzlich wurden zwei Prüfkörper (11041B und 11044B) im Rasterelektronenmikroskop (SEM) untersucht und auffällige Kristalle und Bereiche mittels EDX analysiert. Die Prüfkörper 11040B und 11042B konnten nicht mittels SEM untersucht werden, da die Schliche zwischenzeitlich nach der EBSD-Untersuchung mit der Luft reagiert hatten. Hierdurch kam es zu starken Aufladungen, die eine visuelle wie analytische Untersuchung unmöglich machten.

Bei der Betrachtung der Korngrößenverteilung und der Ausbildung der Rissausbildung ließ sich kein Einfluss der Feuchte nachweisen. Auch die vergleichenden CT-Untersuchungen ergaben keine weiteren erklärenden Ergebnisse, da die Visualisierung ein zu komplexes Muster ergab, so dass eine deutliche Unterscheidung zwischen Poren, Rissen und Mineralen mit einem anderen Dichtewert als Halit und dem Halit selbst nicht möglich war.

Vergleichende CT-Untersuchungen an zwei Prüfkörpern aus dem gleichen Probenblock wie zuvor zeigten jedoch, dass an der unbelasteten Probe keine nennenswerten Risse im CT nachgewiesen werden konnten. Die aufgelockerte, aber unverheilte Probe zeigte dagegen deutliche gräuliche Hohlräume. Mittels eines Filters zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses konnten die grauen Risse deutlicher hervorgehoben werden. Dies lässt den Schluss zu, dass mit einer entsprechenden Auswertesoftware die Rissbildung im Salz nachgewiesen werden kann.

## 5 Diskussion

Die Ergebnisse der angewandten Untersuchungsmethoden können insgesamt nicht als befriedigend bezeichnet werden, da mit ihnen die Ergebnisse des IfG (2007) und die von BGR im Labor ermittelten Werte nicht eindeutig und umfassend nachgewiesen werden konnten. Als Erklärung könnte folgende Beobachtung gelten: Obwohl in der Versuchsphase 2 die dilatanten und somit permeablen Prüfkörper 72 Stunden lang in mit gesättigter Lauge getränkten Tüchern eingewickelt waren, drang die Feuchtigkeit nur oberflächlich in die Prüfkörper ein. Die mittels bildgebender Verfahren untersuchten Bereiche befinden sich jedoch im Zentrum der Prüfkörper, sodass gefolgert werden könnte, dass die Feuchtigkeit nicht bis hierhin gelangte und einen Verheilungsprozess in Gang setzen konnte. Für die im Labor von IfG (2007) und bei BGR gemachten Beobachtungen bedeutet dies, dass eine verheilte Zone im Zentimeterbereich ausreicht, einen Prüfkörper zumindest unter Laborbedingungen impermeabel zu machen.

## 6 Zusammenfassung

Mittels unterschiedlicher Verfahren in Form von zwei Aufträgen sollten im Berichtszeitraum die mit mechanisch-hydraulischen Versuchen im Labor gewonnenen Erkenntnisse bestätigt werden. Die hydraulischen Versuche zeigten, dass geschädigte, dilatante Prüfkörper, die nach unterschiedlicher Befeuchtung rekompaktiert worden waren, danach unterschiedliche Permeabilitäten zeigten. Ein Teil der Proben war trocken rekompaktiert worden, ein anderer Teil zusätzlich vor der Rekompaktion einer Feuchtebehandlung mittels gesättigter Salzlauge in unterschiedlichen Varianten unterzogen worden. Um den Einfluss der Feuchte nachzuweisen, wurden Röntgenstrahl-Computertomographie, Mikroskopie sowie Texturanalysen durchgeführt.

Es wurden hierbei folgende Unterschiede festgestellt: Die feucht rekompaktierten Proben hatten weniger offene Risse als die trocken rekompaktierten. Das feucht rekompaktierte Material hatte eine höhere Anzahl von Subkörnern im Halit, eine intensivere Anlösung und Verzahnung der halitischen Korngrenzen sowie einen höheren beobachteten Grad an Rekristallisation im Halit. Ein Unterschied bei der Korngrößenverteilung und der Ausbildung der detektierten Risse wurde nicht festgestellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Rekristallisation und duktile Verheilung bei mit Feuchte behandelten Proben zumindest in den Zonen, die direkt mit der Feuchte in Kontakt gekommen sind, stattgefunden haben muss, da die Proben sonst danach nicht im Laborversuch impermeabel hätten sein dürfen.

Die Arbeiten zur Verheilung mussten aufgrund des Erkundungsstopps für das Erkundungsbergwerk Gorleben abgebrochen werden.

## Literaturverzeichnis

- IfG (2007): Untersuchungen zur Barriereintegrität im Hinblick auf das Ein-Endlager-Konzept. Ergebnisbericht zum Forschungsvorhaben SR 2470, 252 S.; Leipzig.
- SCHULZE, O. (2007): Investigations on damage and healing of rock salt. In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> Conference on the mechanical behaviour of salt 'SALTMECH6', p. 33 – 43, Hannover; Germany.
- SCHULZE, O., POPP, T. & KERN, H. (2001): Development of damage and permeability in rock salt undergoing deformation. In Proceedings of the EUG 10 - Conference, 28th March - 1st April 1999, Strasbourg, France, Symposium J3 - Radioactive Waste Disposal, M. LANGER et al. (Eds.). - Engineering Geology, 61, 163 - 180.
- STORMONT, J. C & DAEMEN, J. J. K. (1992): Laboratory study of gas permeability changes in rock salt during deformation. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 29: 325 - 342.

## Abkürzungsverzeichnis

CT	Computertomographie	17
EB1	Erkundungsbereich 1	
EBDS	Electron Backscatter Diffraction-Messungen	
EDX	Energy dispersive X-ray spectroscopy	
IfG	Institut für Gebirgsmechanik Leipzig	
z2HS2	Hauptsalz 2 (Streifensalz) des Zechstein 2	
z2SP	Speisesalz des Zechstein 2	

## Tabellenverzeichnis

## Seite

Tab. 1:	Versuchsdaten der verformten und rekompaktierten Prüfkörper.....	17
Tab. 2:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04126)	18
Tab. 3:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04127)	19
Tab. 4:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04128)	20
Tab. 5:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04132)	21
Tab. 6:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11040)	22
Tab. 7:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11041)	23
Tab. 8:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11042)	24
Tab. 9:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11043)	25
Tab. 10:	Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11044)	26

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (File 04126).....	18
Abb. 2: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (File 04127).....	19
Abb. 3: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04129).....	20
Abb. 4: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04132).....	21
Abb. 5: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11040).....	22
Abb. 6: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11041).....	23
Abb. 7: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11042).....	24
Abb. 8: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11043).....	25
Abb. 9: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11044).....	26

---

Anhangverzeichnis	Seite
Anhang 1: .....	17
Tabelle .....	
Anhang 2: .....	18
Abbildung 1 bis 9 .....	





Anhang 1:

Tabelle 1 bis 9

Tab. 1: Versuchsdaten der verformten und rekompaktierten Prüfkörper

File	Probenbezeichnung	Schädigung					T [°C]	dε/dt [1/sec]	Befeuchtung	Rekompaktion	
		σ <sub>3</sub> [MPa]	Δσ <sub>max</sub> [MPa]	ε <sub>max</sub> [%]	ε <sub>vol</sub> [%]	T [°C]				T [°C]	σ <sub>iso</sub> [MPa]
04126	Asse2/94/04126	2	41,3	14,8	2,8	30	1.00E-05	mit Luft befeuchtet (75%rF)	60	20	
04127	Asse2/94/04127	2	41,6	14,3	2,7	30	1.00E-05	ohne Befeuchtung (45%rF)	60	20	
04129	Asse2/94/04129	3	43,5	13,1	1,2	30	1.00E-05	ohne Befeuchtung (45%rF)	60	20	
04132	Asse2/94/04132	2	41,8	12,9	2,53	30	1.00E-05	mit Luft befeuchtet (75%rF)	60	20	
11040	GoEB1Bo1.2/D2/4/01/11040	5	28,15	5,1	3,49	30	5.00E-08	mit Lösung befeuchtet (75%rF)	60	20	
11041	GoEB1Bo1.2/D1/4/01/11041	1	29,93	5,37	2,73	30	5.00E-08	mit Lösung befeuchtet (75%rF)	60	20	
11042	GoEB1Bo1.2/C3/4/01/11042	2	20	3,65	1,00	30	5.00E-08	ohne Befeuchtung (45%rF)	60	20	
11043	GoEB1Bo1.2/D3/4/01/11043	3	35,03	6,46	1,05	30	5.00E-08	mit Lösung befeuchtet (75%rF)	60	20	
11044	GoEB1Bo1.2/C2/4/01/11044	0,5	26,2	3,2	1,7	30	5.00E-08	mit Lösung befeuchtet (75%rF)	60	20	

Anhang 2:

Abbildung 1 bis 9

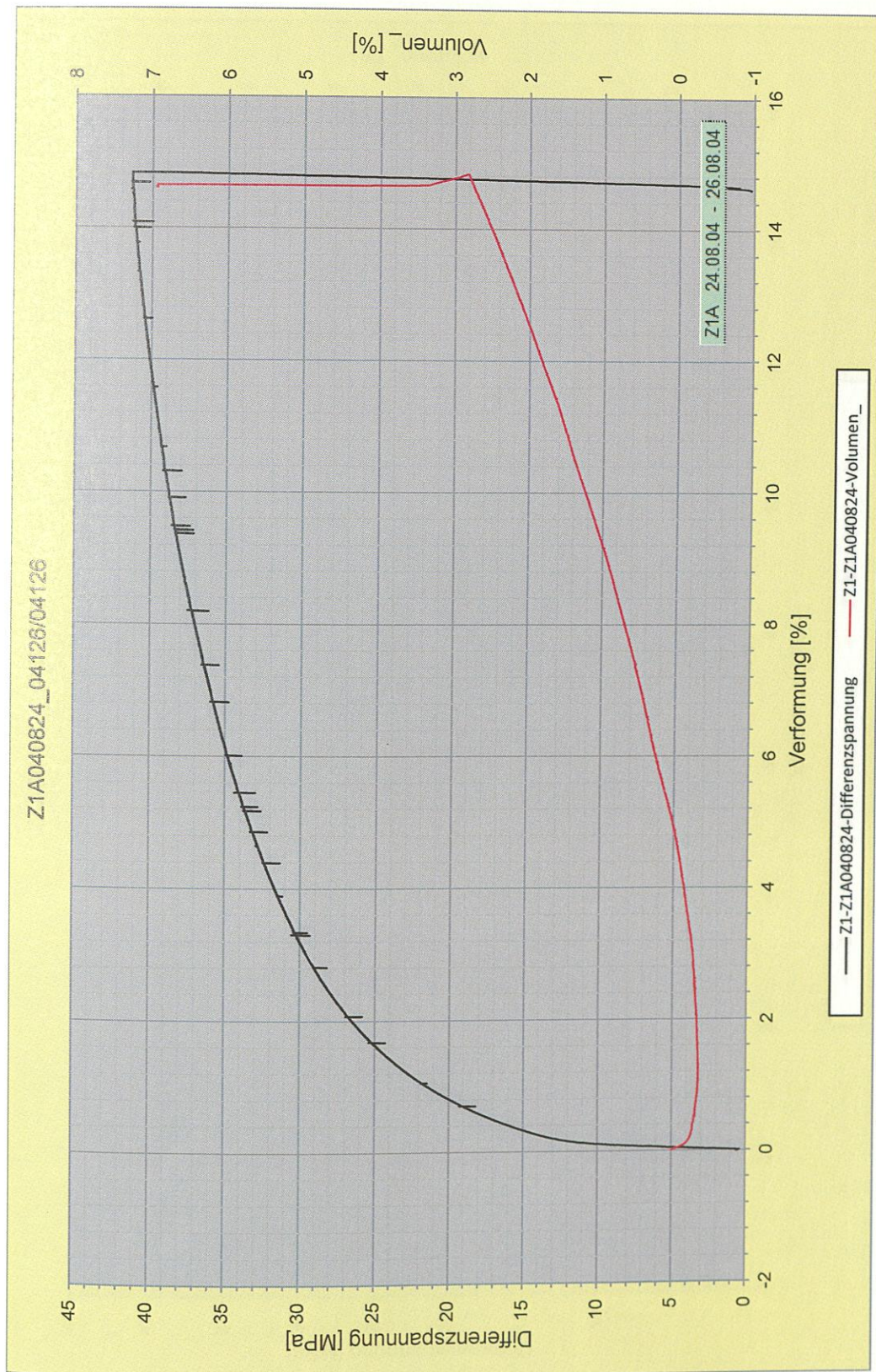


Abb. 1: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (File 04126)

- Anhang 2 -



Abb. 2: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (File 04127)

- Anhang 2 -

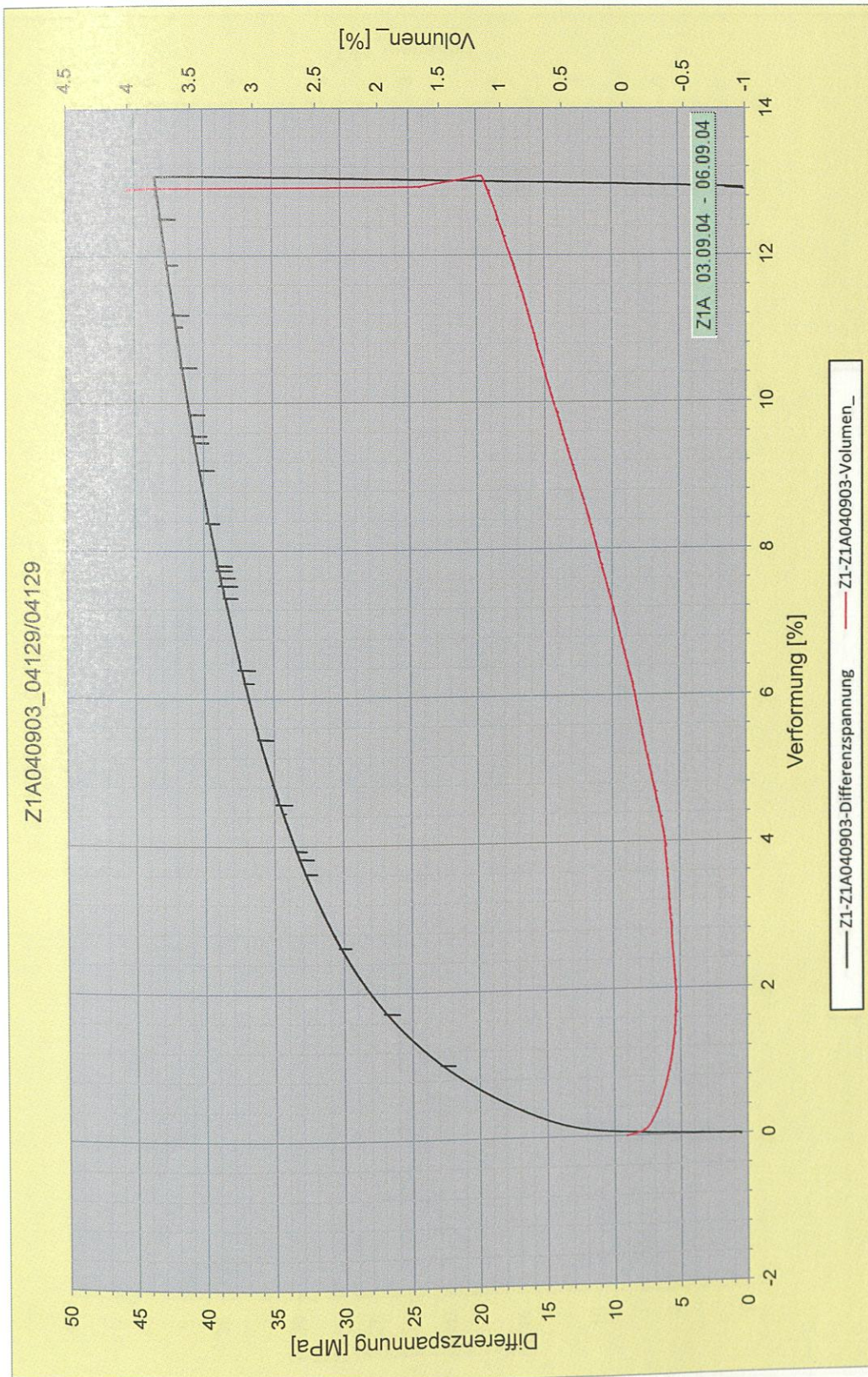


Abb. 3: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04129)

- Anhang 2 -

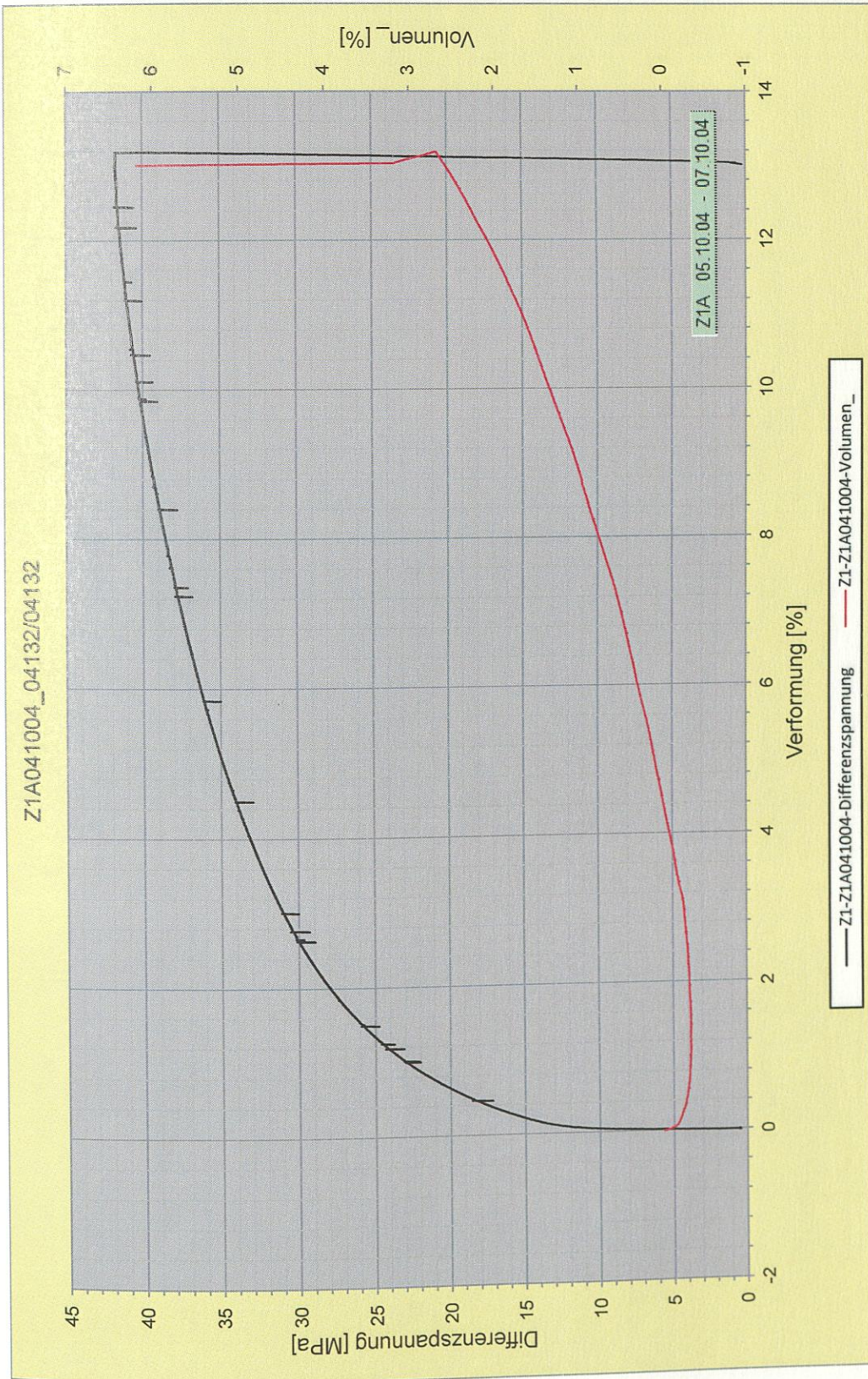


Abb. 4: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 04132)

- Anhang 2 -

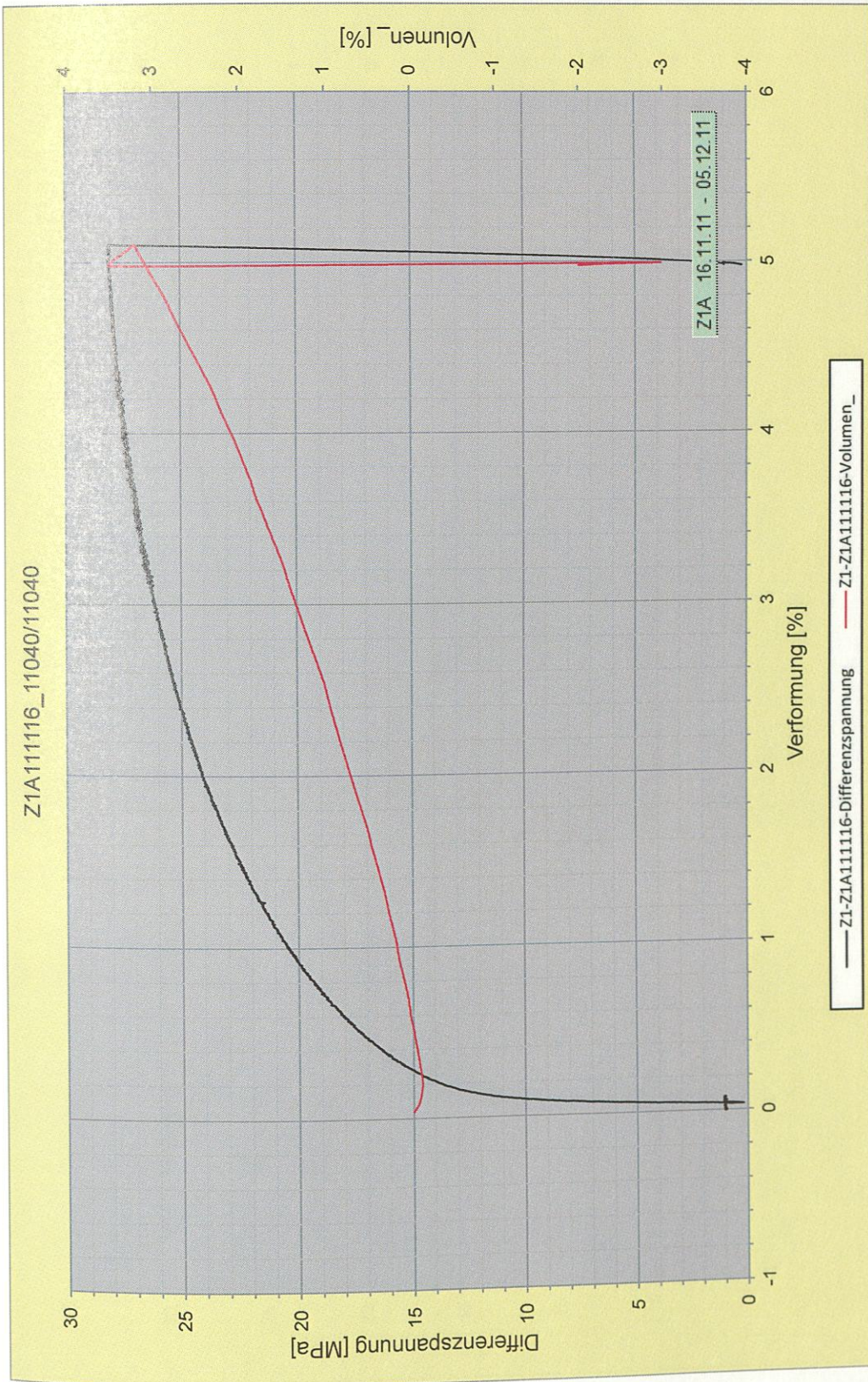


Abb. 5: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11040)

- Anhang 2 -

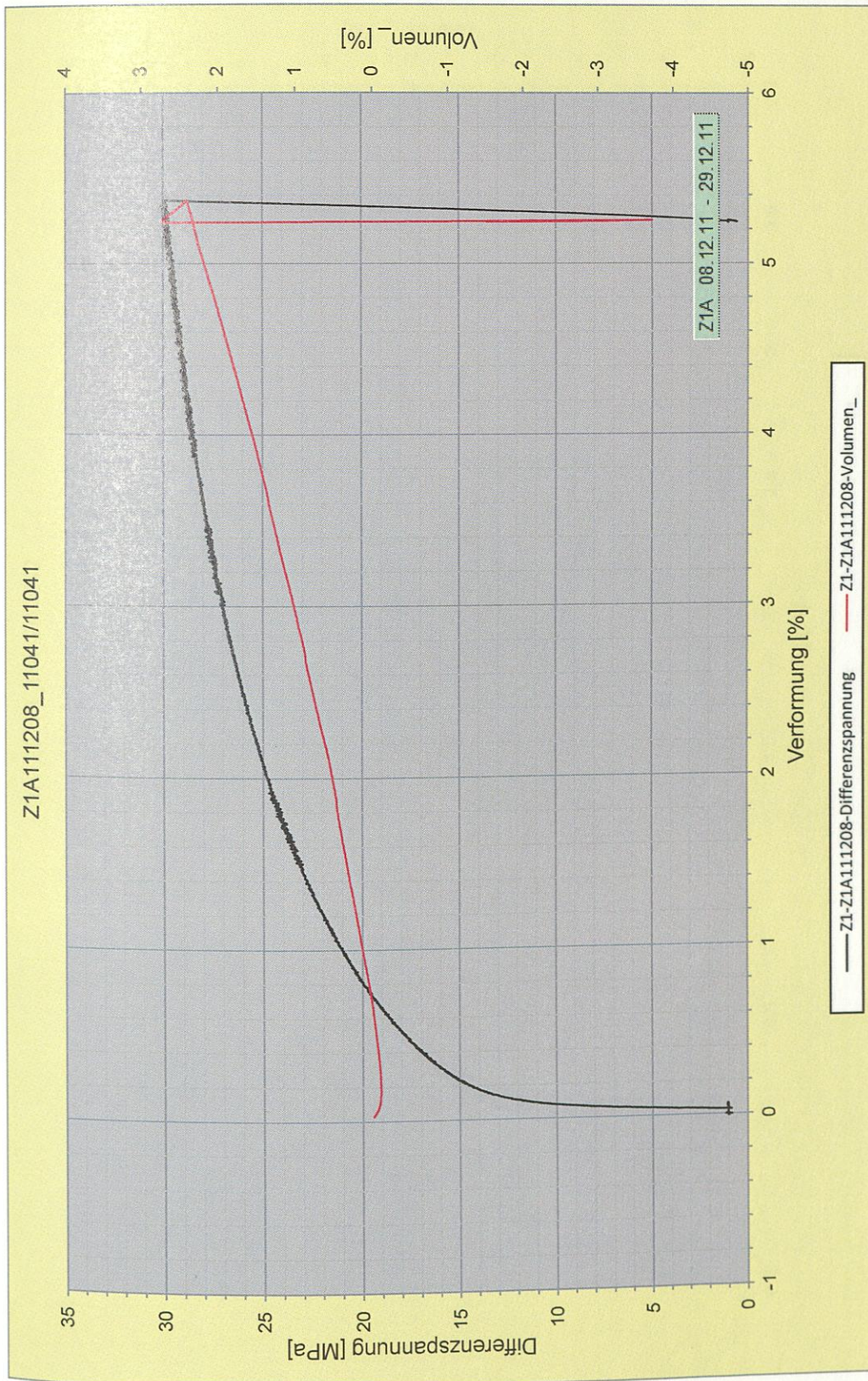


Abb. 6: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11041)



- Anhang 2 -

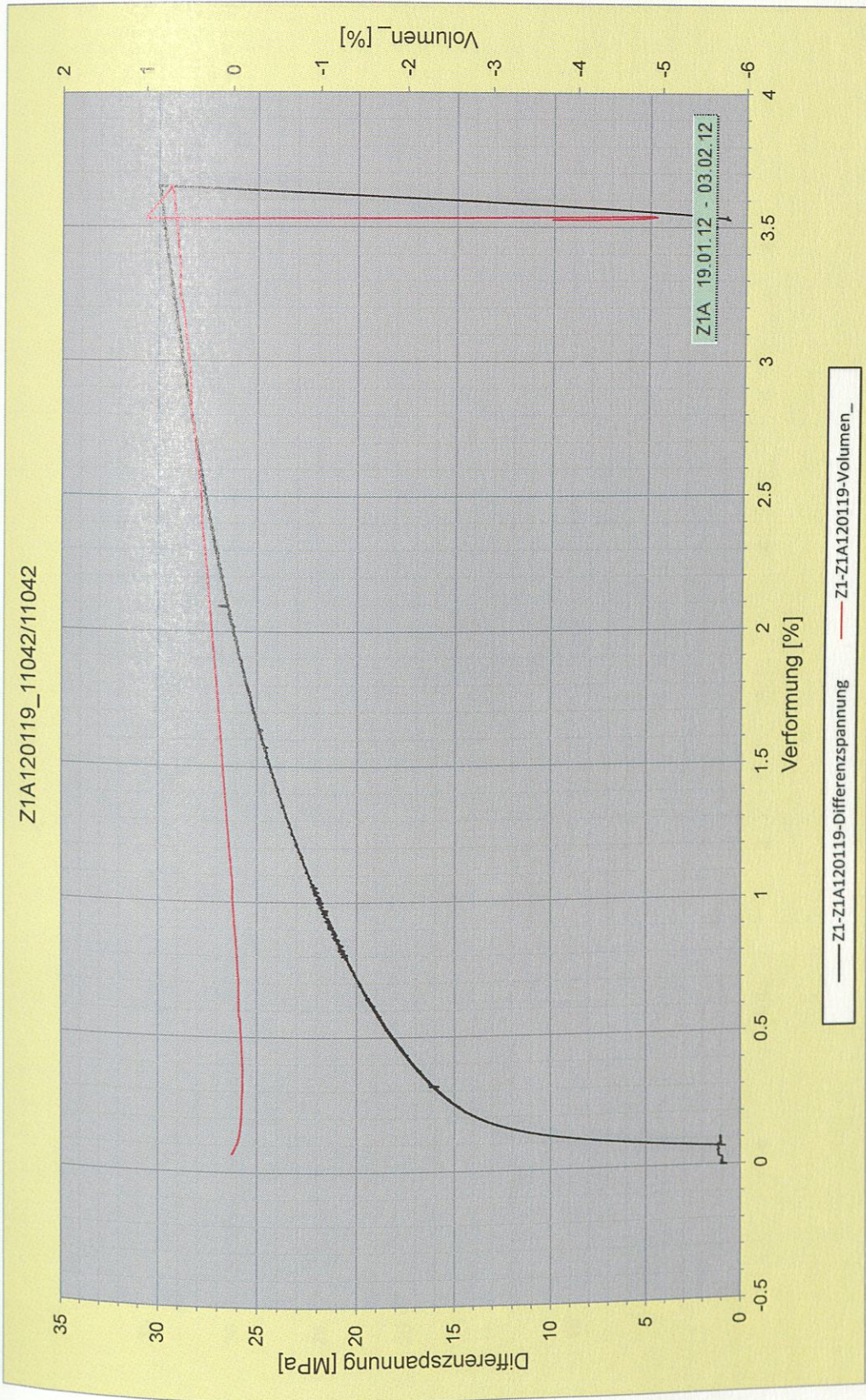


Abb. 7: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11042)

- Anhang 2 -

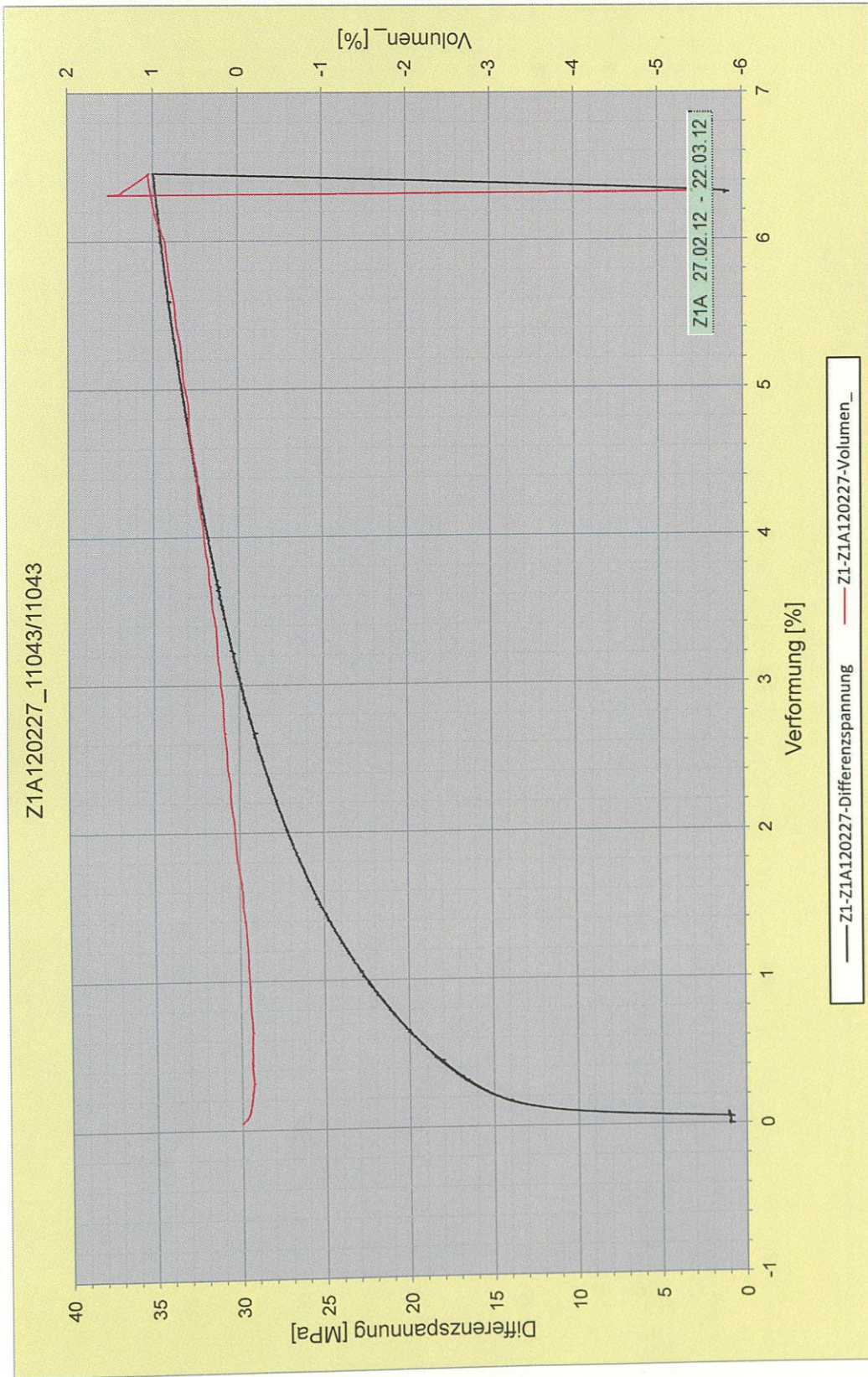


Abb. 8: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11043)

- Anhang 2 -

Anlage 1 CD mit folgenden 2 Berichten:

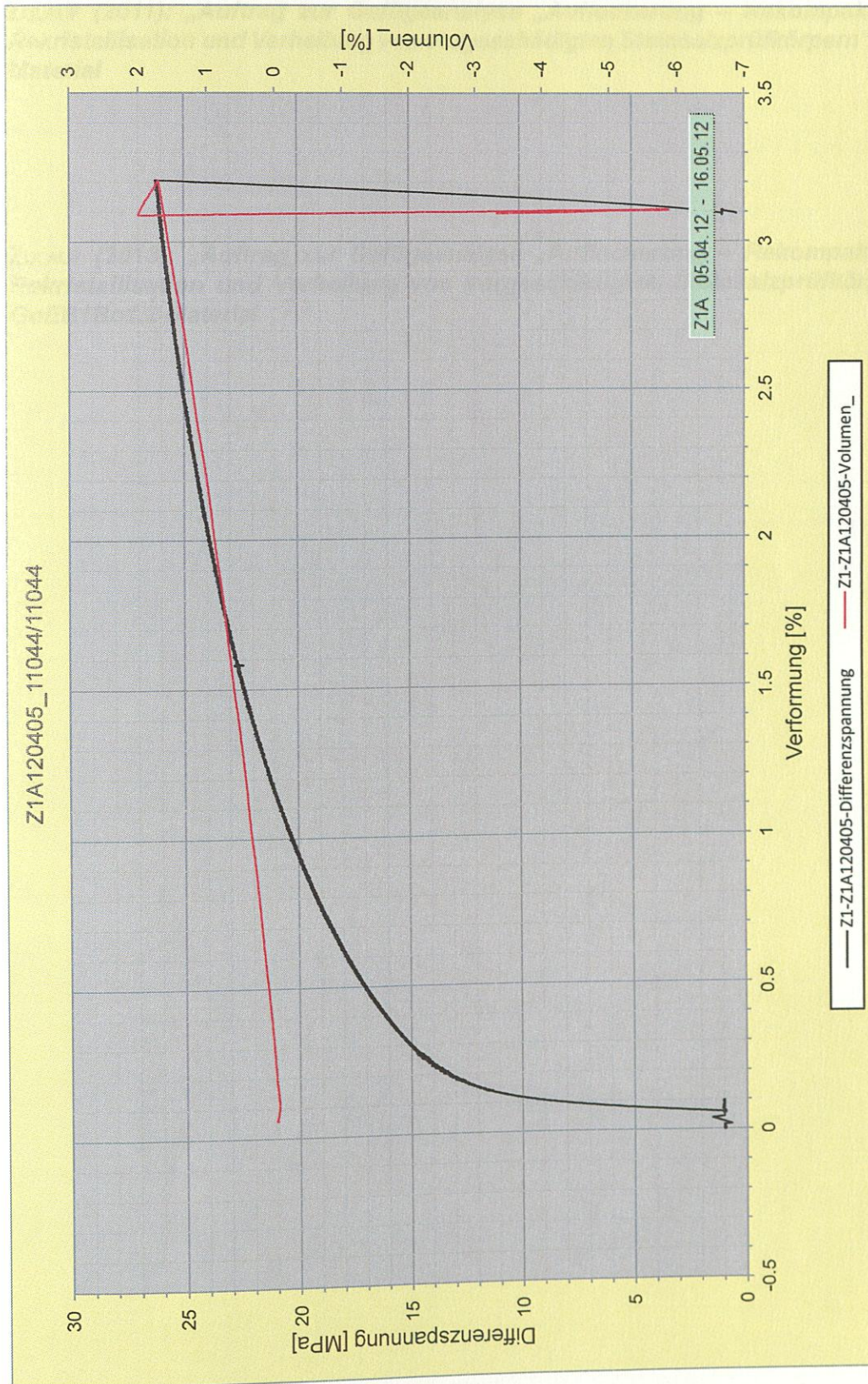


Abb. 9: Spannungs-Verformungsdiagramm, sowie Volumenzunahme über der Verformung (Files 11044)

Anlage 1 CD mit folgenden 2 Berichten:

**ZULAUF (2011): „Auftrag zur Gefügeanalyse „Auflockerung – Rekompaktion –  
Rekristallisation und Verheilung von vorgeschädigten Steinsalzprüfkörpern“, Asse  
Material**

**ZULAUF (2013): „Auftrag zur Gefügeanalyse „Auflockerung – Rekompaktion –  
Rekristallisation und Verheilung von vorgeschädigten Steinsalzprüfkörpern“,  
GoEB1Bo1.2-Material**