



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen

**Essais de gonflement de longue durée sur roches  
anhydrites**

**Long-term swelling tests on anhydritic rock**

**ETH Zürich, Institut für Geotechnik  
Dr. E. Pimentel  
Prof. Dr. G. Anagnostou**

**Forschungsauftrag FGU 2006/001 auf Antrag des  
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

**Juni 2010**

**1318**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière. Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen

**Essais de gonflement de longue durée sur roches  
anhydrites**

**Long-term swelling tests on anhydritic rock**

**ETH Zürich, Institut für Geotechnik**  
**Dr. E. Pimentel**  
**Prof. Dr. G. Anagnostou**

**Forschungsauftrag FGU 2006/001 auf Antrag des  
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

## Impressum

### **Forschungsstelle und Projektteam**

**Projektleitung**

Georg Anagnostou

**Mitglieder**

Erich Pimentel

### **Begleitkommission**

**Präsident**

Felix Amberg

**Mitglieder**

Gerhard Girmscheid

Martin Bosshard

Christian Scholer

### **KO-Finanzierung des Forschungsauftrags**

Kanton Basel Landschaft

Schweizerische Bundesbahnen SBB

ETH Zürich, Professur für Untertagbau

### **Antragsteller**

Professur für Untertagbau, ETH Zürich

### **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> herunter geladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>8</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung des Forschungsvorhabens</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsrandbedingungen</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Probengewinnung</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Prüfkörperauswahl und -herstellung</b> .....	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Versuchsapparatur und -durchführung</b> .....	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>Erste Versuchsergebnisse</b> .....	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>38</b>
	<b>Anhänge</b> .....	<b>39</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>55</b>
	<b>Projektabschluss</b> .....	<b>57</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen</b> .....	<b>59</b>



## Zusammenfassung

*Quellfähige Gesteine verfügen über die Eigenschaft, Wasser in ihre Struktur aufzunehmen. Das führt zu einer Volumenvergrößerung. Wird die Volumenzunahme behindert so entstehen sogenannte Quelldrücke. Die Auswirkungen der Quellvorgänge anhydritführender Gesteine auf Tunnelbauwerke in Form von Sohlhebungen und Druck auf das Tunnelgewölbe bis hin zur Hebung des darauf liegenden Gebirges sind seit 150 Jahren bekannt. Die Sanierung der so entstandenen Schäden ist zeit- und kostenintensiv und oft verbunden mit langwierigen Betriebsunterbrechungen.*

*Bis heute sind wesentliche Zusammenhänge nicht vollständig bekannt bzw. verstanden worden. Das hat zur Folge, dass einerseits in der Vergangenheit öfters Rückschläge beim Tunnelbau in anhydritführenden Gesteinsformationen zu verzeichnen waren, und andererseits weiterhin eine Meinungsverschiedenheit zwischen den Ingenieuren herrscht in Bezug auf das geeignete Tragwerkskonzept für solche Fälle. Hierfür ist die Beziehung zwischen Quelldruck und Endwert der Quellhebung von grosser Bedeutung und selbst unter Laborbedingungen unbekannt – respektive es sind bislang keine gesicherten Erkenntnisse vorhanden.*

*Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist, solche Erkenntnisse durch eine Serie von Langzeitquellversuchen zu gewinnen. Die entsprechend einzusetzenden Versuchsvorrichtungen sollen über die vorgesehene Versuchsdauer von mehr als zehn Jahren zuverlässig arbeiten. Sie sollen einen von äusseren Einflüssen möglichst ungestörten Versuchsaufbau mit klar definierten Randbedingungen gewähren und zwar sollten die Proben mit einer konstanten Axiallast zwischen 0.5 und 2.0 MPA und unter ödometrischen Bedingungen belastet werden. Um diesen Anforderungen zu genügen, wurde eine neue Versuchsvorrichtung entwickelt, gebaut und erfolgreich geprüft. Diese Vorrichtung ermöglicht die zuverlässige Aufbringung der axialen Last ohne Nachregelungen sowie eine automatische Erfassung der Dehnungen. Es wurden insgesamt 25 Prüfvorrichtungen hergestellt und auf fünf Serien verteilt. Jede Serie wird mit einer anderen axialen Last belastet.*

*Als Modellmaterial wurden Proben aus dem Chienbergtunnel der Ortsumfahrung Sissach (Jurastrasse J2) verwendet. Dafür wurden während der Sanierungsarbeiten des Tunnels Kernbohrungen aus der Tunnelsohle abgeteuft. Die Prüfkörper wurden schonend mit genau definierter Geometrie hergestellt, dadurch ist ein adäquater Kraftschluss zwischen Prüfkörper und Ödometerring gewährleistet.*

*Die neu konzipierten Versuchsvorrichtungen sowie die gesamte Prüfanlage zeigen ein einwandfreies Verhalten und erfüllen alle oben genannten Anforderungen. Somit haben sie sich bewährt. Einige der Proben zeigen bereits Quellhebungen. Erwartungsgemäss ist es jedoch verfrüht, Aussagen bezüglich des Quellverhaltens zu treffen.*

## Résumé

*Les roches gonflantes ont la propriété de pouvoir absorber de l'eau dans leur structure. Ceci mène à une augmentation de volume. Quand cette augmentation de volume est empêchée la pression dite «de gonflement» se crée. Les effets du processus de gonflement des roches anhydrites sur les tunnels comme les soulèvements du radier ainsi qu'une pression sur la voûte du tunnel jusqu'à un soulèvement du massif est connue depuis plus de 150 ans. L'assainissement de tels dégâts prend beaucoup de temps et d'argent et souvent est lié à de longs arrêts d'exploitation.*

*Jusqu'à aujourd'hui, les relations fondamentales ne sont pas complètement connues ou comprises. Ceci a comme conséquence que, d'un côté, dans le passé souvent des revers ont été observés pendant la construction du tunnel dans les formations rocheuses anhydrites et, de l'autre côté, il existe d'importantes divergences d'opinions parmi les ingénieurs concernant le concept structurel adéquat pour de tels cas. A cet effet, la relation entre la pression de gonflement et la valeur finale de soulèvement dû au gonflement a une grande signification et reste inconnu même dans des conditions de laboratoire, respectivement il manque toujours des informations sûres à cet égard.*

*Le but du présent travail de recherche est de trouver de telles informations suite à une série d'essais de gonflement de longue durée. Les appareils de recherche à utiliser doivent pouvoir fonctionner correctement pour une période d'essai prévue de plus de 10 ans. Ils doivent fonctionner comme prévu sans influences extérieures avec des conditions limites bien définies c'est-à-dire que les échantillons doivent être soumis à une charge axiale constante entre 0.5 et 2.0 MPa dans des conditions oedométriques. Dans le but de remplir ces conditions, un nouvel appareil d'essai a été développé, construit et largement testé. Cet appareil permet une application fiable de la charge axiale sans réglage successif ainsi qu'une saisie automatique des déformations. En total 25 cadres d'essais ont été fabriqués et divisés entre cinq séries d'essais. A chaque série a été appliquée une charge axiale différente.*

*Le matériel pour les modèles a été prélevé du Tunnel du Chienberg du contournement de Sissach (Route du Jura J2). Dans ce but, des forages carottés ont été effectués pendant des travaux d'assainissement du tunnel au niveau du radier. Les échantillons ont été préparés selon une géométrie définie préalablement pour avoir une adhérence adéquate entre l'échantillon et l'anneau oedométrique.*

*L'appareil d'essai récemment conçu ainsi que le dispositif globale d'essai montrent un comportement irréfutable et remplissent toutes les exigences citées auparavant. Par conséquent, ils ont fait leur preuve. Quelques un des échantillons ont déjà montrés des soulèvements dus au gonflement. Comme selon les prévisions, il est encore trop tôt d'en tirer de conclusions définitives sur le comportement au gonflement.*



## Summary

*The adsorption of water is a characteristic of so-called swelling rocks. It leads to a volume increase or, in case of constraint, to swelling pressures. The effects of sulphatic claystone swelling on tunnel structures include heaving of the tunnel floor or pressure on the lining or even heave of the tunnel as a whole. These phenomena were first observed 150 years ago. The remedial actions required for such damage are time-consuming and costly, and often cause lengthy disruptions to traffic.*

*Some important aspects of the swelling process have hitherto been poorly understood. As a consequence there have been, on the one hand, difficulties in tunnels through anhydritic rocks, and, on the other hand, lack of agreement among engineers as to an adequate design concept for such rock formations. For this purpose the relationship between swelling pressure and swelling heave at the end of the swelling process is of fundamental importance, but is unknown for anhydritic rocks. Moreover, the observations in this area, even under laboratory conditions, are not reliable.*

*The goal of the present research project is to acquire this information through a series of long-term swelling tests. In order for these tests to succeed, the apparatus must work reliably over an expected test duration of more than 10 years and the tests must run under clearly defined boundary conditions without being affected by external influences or disturbances. The tests must run under oedometric conditions by applying a constant axial load throughout the entire test duration. The applied stresses will range between 0.5 and 2.0 MPa. In order to satisfy these requirements, a new testing apparatus has been conceived, developed and successfully tested. The apparatus enables reliable application of the axial load without any regulation, as well as the automatic recording of swelling strains. A total of 25 apparatus have been constructed and distributed in five series, with a different axial load for each series.*

*Samples from the Chienbergtunnel of the Sissach bypass (Jurastrasse J2) were used as testing material. To this end, core drillings were taken from the invert of the tunnel extension during remedial works to the tunnel. Care was taken to disturb the specimen as little as possible during preparation. The main requirement was to get specimens with well defined geometry in order to ensure a good contact between the specimen and the oedometric ring.*

*The new testing apparatus and the equipment display the correct behaviour and fulfill the requirements mentioned above. In some of the specimens, swelling strain can already be observed, but, as expected, it is too early for a more concrete evaluation of the results.*



# 1 Einleitung

Quellfähige Gesteine verfügen über die Eigenschaft, Wasser in ihrer Struktur aufzunehmen, was zu einer Volumenvergrößerung führt. Wird die Volumenzunahme behindert so entstehen sogenannte Quelldrücke. Abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung des Gesteins kann dieser Vorgang hauptsächlich auf das osmotische Quellen von Tonsteinen oder auf die Gipskristallbildung während der Anhydrit-Gips-Umwandlung zurückgeführt werden. Die Auswirkungen der Quellvorgänge auf Tunnelbauwerke in Form von Sohlhebungen und Druck auf das Tunnelgewölbe bis hin zur Hebung des darauf liegenden Gebirges sind spätestens seit dem Bau des Weinbergtunnels (1859 – 1862; Amstad & Kovári 2001), d.h. seit etwa 150 Jahren bekannt und erfordern infolge dieser Schäden auch zeit- und kostenintensive Sanierungen, oft verbunden mit langwierigen Betriebsunterbrechungen. Das trifft insbesondere bei Tunnels in anhydritführenden Gesteinen der Gipskeuperformation zu, die im Nordwesten der Schweiz häufig anzutreffen ist. Beispiele hierzu sind der Hauensteinbasistunnel, der Belchentunnel, der Adlertunnel und der Chienbergtunnel.

Anhydritführende Tonsteine, wie sie beim Gipskeuper vorkommen, gehören heutzutage zu den problematischsten Gesteinen im Tunnelbau, auch deswegen, weil die Gesetzmässigkeiten des Quellvorganges nicht hinreichend bekannt sind, mit der Folge, dass beim Tunnelbau in diesen Gesteinen häufig Rückschläge verzeichnet werden, wie z.B. beim Adlertunnel der SBB oder beim Chienbergtunnel der Umfahrung Sissach. Tunnelbau im Gipskeuper gehört zu denjenigen Ingenieuraufgaben, die mit grossen Unsicherheiten verbunden sind trotz der über hundertjährige Erfahrung mit solchen Gesteinen. Kennzeichnend für den jetzigen Stand der Technik ist die herrschende Meinungsverschiedenheit zwischen den Ingenieuren bezüglich des geeigneten Tragwerkskonzeptes für solche Fälle.

## 2 Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Für das Tragwerkskonzept von Tunnelbauten in quellfähigem Gebirge ist die Beziehung zwischen Quelldruck und -hebung äusserst wichtig (Anagnostou 2007). Labor- und Feldversuche zeigen, dass die zeitliche Entwicklung der Quellhebung mit zunehmendem Druck wesentlich verlangsamt wird. Jedoch ist der Zusammenhang zwischen Quelldruck und Endwert der Quellhebung selbst unter Laborbedingungen unbekannt. Die experimentelle Forschung auf diesem Gebiet wird einerseits durch die kleinmasstäbliche Heterogenität des Gebirges erschwert, andererseits durch die Dauer des Quellvorganges, welche selbst im Labor unter optimalen Wässerungsbedingungen äusserst lang ist.. Aussagekräftige Ergebnisse von Laborversuchen bzw. gesicherte Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Quelldruck und Endwert der Quelldehnung gibt es bis heute nicht.

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollen solche Erkenntnisse durch eine Serie von Langzeitversuchen gewonnen werden, die unter kontrollierten Randbedingungen und möglichst ungestört von äusseren Einflüssen durchgeführt werden. Die neuen Erkenntnisse sollen helfen die Fragen zu beantworten, ob ein ausgeprägter Zusammenhang besteht zwischen Druck und Endwert der Quelldehnung, wie es bei quellfähigen Tonsteinen der Fall ist. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls von Interesse, ob der Endwert der Quelldehnung innerhalb des bautechnisch relevanten Druckbereichs annähernd konstant ist und ob der Endwert der Quelldehnung durch einen bautechnisch realisierbaren Gegendruck wirksam reduziert werden kann. Aufgrund der chemischen Prozesse (Lösung von Anhydrit und Bildung von Gipskristallen), die neben der osmotischen Quellung der Tonminerale stattfinden, sind diese Fragen grundsätzlich offen für Tonsteine mit feinverteiltem Anhydrit.

### 3 Versuchsrandbedingungen

Die Erfassung des Zusammenhangs zwischen Druck und Endwert der Quelldehnung soll mittels Quelldruckversuchen an zylindrischen Prüfkörpern erfolgen. Der grundsätzliche Aufbau und die Versuchsdurchführung der Quelldruckversuche wird in ISRM (1989) und Pimentel (2007) beschrieben. Bei diesen Versuchen wird die Radialdehnung behindert, während die axiale Dehnung, die infolge des Quellvorgangs bei einer konstanten Axialspannung entsteht, erfasst wird.

Der Quellvorgang wird bei Quellversuchen in der Regel durch die Beigabe von Wasser aktiviert. Das natürliche Bergwasser kann je nach Entnahmestelle einen sehr unterschiedlichen Chemismus aufweisen, wobei diese Ionenfracht den Quellvorgang beeinflussen kann. Daher ist es nicht immer möglich für den Quellvorgang im Labor, das für das Gebirge repräsentative Bergwasser zu gewinnen bzw. ist es nicht immer in ausreichender Menge vorhanden. Daher, und um klar definierte Randbedingungen zu gewährleisten, wird bei den vorgesehenen Quellversuchen destilliertes Wasser eingesetzt. Es ist anzumerken, dass destilliertes Wasser gegenüber Bergwasser den Quellvorgang von Tonsteinen grundsätzlich etwas beschleunigt. Bei anhydritführenden Gesteinen jedoch ist dies nicht zwingend der Fall, da einerseits die Lösung von Anhydrit und die Gipsausfällung von den gelösten Calciumsulfationen abhängen. D.h. bei einer nahezu gesättigten Lösung wird sich beispielsweise kaum Anhydrit lösen, dafür aber Gips leichter ausfällen, andererseits hängen die Löslichkeiten von Anhydrit und Gips vom restlichen Ionengehalt ab.

Weiterhin und um Temperatureinflüsse auszuschliessen, werden alle Versuche in einem klimatisierten Raum durchgeführt. Die Raumtemperatur beträgt etwa 21 °C und die Temperaturschwankungen sollen in der Grössenordnung von  $\pm 0.5$  °C liegen. Es ist anzumerken, dass der Temperatureinfluss zwischen üblichen Gebirgstemperaturen von etwa 12 °C und mehr gegenüber der erhöhten Raumtemperatur von 21 °C keinen bedeutenden Einfluss auf das Quellverhalten haben. Die Anforderung einer konstanten Temperatur dient vielmehr der unverfälschten Erfassung der Quelldehnung.

Wegen der Heterogenität der Gesteine sind Prüfkörper mit möglichst grossen Abmessungen von Vorteil. Daher und unter Berücksichtigung versuchstechnischer Aspekte, wie üblicher Bohrkern Durchmesser, erforderliche Prüflasten und handelsübliche Abmessungen der Spezialstahlzylinder zur Herstellung der Ödometerringe wurde ein Prüfkörper Durchmesser von  $D = 70$  mm gewählt. Bei Ödometerversuchen richtet sich die Prüfkörperhöhe nach dem Durchmesser. In der Regel wird die Prüfkörperhöhe kleiner als die Hälfte des Prüfkörperdurchmessers gewählt. Im vorliegenden Fall wurde eine Prüfkörperhöhe von  $H = 40$  mm gewählt. Es ist anzumerken, dass die Versuchsdauer mit der Länge des Drainagewegs und somit mit der Höhe des Prüfkörpers zunimmt. Die etwas grösser gewählte Höhe verursacht grundsätzlich eine etwas längere Versuchsdauer, bietet jedoch den Vorteil eines geringeren Einflusses der Heterogenität. Um trotz der verhältnismässig kleinen Prüfkörpergrösse aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist die Durchführung von fünf Versuchen pro Laststufe bzw. Serie vorgesehen.

Aufgrund der vorgesehenen Dauer der Versuche von etwa zehn Jahren, war die gleichzeitige Durchführung mehrerer Versuche zwingend und zwar unter verschiedenen axialen Lasten. Die Versuche wurden demnach unterteilt in fünf verschiedene Laststufen, die den axialen Spannungsbereich zwischen 0.5 MPa und 2.0 MPa abdecken. Bei fünf Versuchen pro Laststufe ergeben sich für das vorliegende Forschungsprogramm insgesamt 25 Versuche.

## 4 Probengewinnung

Im Forschungsprojekt war die Gewinnung von geeignetem Probenmaterial mittels Kernbohrungen erforderlich (Abb. 4.1). Als mögliche Entnahmestelle wurde der Chienbergtunnel in Betracht gezogen. Die für die Quellversuche relevanten anhydritführenden Tonsteine stammen aus der Gipskeuperformation. Es ist zu erwähnen, dass mit den geplanten Versuchen an solchen Gesteinen Ergebnisse erzielt werden, die einen grundlegenden Charakter haben, d.h. das grundsätzliche Verhalten von anhydritführenden Tonsteinen betreffen und daher nicht nur für die Gesteine des Chienbergtunnels Gültigkeit haben, sondern auch für andere Tunnels im Gipskeuper repräsentativ sind.

Der Chienbergtunnel ist Bestandteil des Bauprojektes Ortsumfahrung Sissach der Jurastrasse J2 im Kanton Basel-Landschaft (Abb. 4.2). Das Projekt wird ausführlich in Hofer et al. (2007) beschrieben. Aufgrund der gekrümmten Trassenführung durchkreuzt dieser Tunnel die Formation des Gipskeupers sowohl im westlichen als auch im östlichen Bereich (Abb. 4.3 und Abb. 4.4). Während der Bauarbeiten am Tunnel ereignete sich ein Versagen der Ortsbrust im westlichen Bereich etwa zwischen TM 1100 und TM 1150, das am 01.02.2002 zu einem Tagbruch führte. Danach traten im westlichen Bereich zwischen TM 840 und TM 950 sowie zwischen TM 1060 und TM 1170 Quellerscheinungen zu Tage, die unter anderem als Hebung der Tunnelröhre und der Geländeoberfläche beobachtet werden konnten. Diese Bereiche werden als Hebungszone West 1 bzw. West 2 bezeichnet. Aufgrund der unverträglichen Deformationen bis hin zur Schädigung des Gewölbes wurde eine aufwändige Sanierung nicht nur dieser Bereiche sondern auch des Streckenbereichs dazwischen, d.h. zwischen TM 840 und TM 1170, durchgeführt. Dieser Bereich wird als Hebungszone West in Bild 2 dargestellt. Im östlichen Gipskeuperbereich des Tunnels wurden keine Quellerscheinungen beobachtet, dennoch wurde das Ausbaukonzept auch in diesem Bereich geändert, um potentielle Probleme in Zukunft zu vermeiden. Es wird als Sanierungsbereich Ost in Bild 3 dargestellt. Die Sanierungsarbeiten in beiden Bereichen wurden zwischen Februar 2005 und Dezember 2006 durchgeführt und beinhalteten unter anderem die Schaffung eines begehbaren Freiraumes unterhalb der Fahrbahn, d.h. die Absenkung der Tunnelsohle, die Aufbringung von seitlichen Widerlagern und den Neubau der Fahrbahn als Zwischendecke. Die so tiefer gelegte Tunnelsohle wurde rückverankert, wobei die Anker mit Gleitelementen oder Knautschelementen im Ankerkopfbereich versehen wurden. Im unteren Bereich der Paramenten wurden hochdeformierbare Foundationselemente eingebaut. Alle diese nachgiebigen Bauelemente sollen ein weiteres Quellen des Gebirges ohne eine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit des Chienbergtunnels für einen Zeitraum von etwa 25 Jahren erlauben.

Die Lokation des Chienbergtunnels als Entnahmestelle für das Probenmaterial bietet eine Vielzahl von Vorteilen. Einerseits ist der Gipskeuper hier nachweislich stark quellfähig und andererseits ist der Verlauf des Anhydritspiegels durch die zahlreichen Erkundungs- bzw. Sondierbohrungen sowie Bohrungen für den Einbau von Messinstrumente sehr gut untersucht worden, so dass treffsichere Bohrungen planbar sind. Hinzu kommt, dass ein Bohren aus der Sohle der Untertunnelung in den oben beschriebenen Sanierungsbereichen wesentlich kürzere und damit preiswertere Kernbohrungen erfordert. Um die Zugänglichkeit des Bohrgerätes zu erleichtern, wurden die Kernbohrungen während der Durchführung der oben beschriebenen Sanierungsarbeiten abgeteuft.

Das Probenmaterial wurde mittels Kernbohrungen gewonnen. Die Festlegung der Ansatzpunkte der Bohrungen erfolgte in Absprache mit einem Vertreter des Planers, Herrn F. Chiaverio von der IG Aegerter & Bosshard AG / Gruner AG. Hierbei wurden unter Berücksichtigung der baubetrieblichen Randbedingungen und der Platzverhältnisse Stellen ausgesucht, bei denen der quellfähige Anhydrit noch nicht ausgequollen ist, d.h. die Bohransatzpunkte wurden im Anhydrit und am Rande der Hebungszone festgelegt. Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl war das Vorhandensein eines nahen gelegenen Messquerschnittes (Abb 4.1). Diese sind sowohl mit Gleitmikrometer im Sohl- und Ulmenbereich als auch mit Messbolzen für Nivellements im Sohl- und Firstbereich instrumentiert. Aufgrund der randlichen Lage der Messquerschnitte zeigen die Messungen erwartungsgemäss derzeit keine Quellverformungen (IG Aegerter & Bosshard AG / Gruner

AG 2006) (Tabelle 4.1). Allerdings kann eine spätere Aktivierung des Quellpotentials in diesem Bereich nicht ausgeschlossen werden. Die oben genannten Kriterien galten nur für den Hebungsbereich West. Da im Sanierungsbereich Ost bislang keine Quellerscheinungen beobachtet worden sind, waren dort nur das Vorhandensein von Anhydrit und die Platzverhältnisse ausschlaggebend.

Die fünf abgeteufte Bohrungen mit Tiefen zwischen 10 m und 13 m wurden durch die Firma Stump Fora Tec AG mittels Einfachkernrohr und wassergespült durchgeführt (Abb. 4.5). Die Lage der Bohrungen wird in Abb. 4.3 und Abb. 4.4 dargestellt. Die Bohrkern mit einem Durchmesser von 80 mm wurden geologisch-petrographisch sowie fotografisch vor Ort durch den Geologen Herrn M. Meyer vom „Geotechnisches Institut AG Basel“ aufgenommen (Abb. 4.6). Im Anhang I werden die Bohrprofile sowie die Fotodokumentation der Bohrungen wiedergegeben. Die ausgewählten Bohrkern hatten Längen zwischen 61 mm und 321 mm. Nach deren Auswahl wurden sie sequentiell nummeriert und die Entnahmetiefe vermerkt. Anschliessend wurden sie gegen Austrocknung geschützt, indem sie in eine Aluminium-Folie eingewickelt, mit einer Parafinschicht überzogen und in gepolsterten Behältern ins Labor transportiert wurden (Abb. 4.7). Dort wurden allfällige Fehlstellen des Paraffinüberzuges ausgebessert und die vollständig einparaffinierten Bohrkern für ihre langzeitige Konservierung zusätzlich in eine aus einer wasserdampfdichten Aluminiumverbundfolie luftdicht und unter Ziehung von Vakuum verpackt. Die dicht abgepackten Kerne wurden stets vor der direkten Sonneneinstrahlung geschützt und bis zu ihrer Verwendung in den Quellversuchen in einem klimatisierten Raum gelagert. Die Bohrkern, die nicht zur Prüfkörpergewinnung für die Quellversuche verbraucht wurden, werden weiterhin für künftige Untersuchungen gelagert. In Tabelle 4.1 werden die Bohrungen, ihre Lage, die Tiefe sowie die Anzahl der rückgestellten Bohrkern aufgelistet. Es ist zu vermerken, dass die Bohrkern aus den Bohrungen im Sanierungsbereich Ost eine deutlich bessere Beschaffenheit aufwiesen, was sich in der Anzahl der rückgestellten Bohrkern widerspiegelt (Tabelle 4.1). So z.B. konnten aus den Bohrungen in der Hebungszone West trotz Bohrtiefen von 10 m und mehr im Schnitt lediglich sechs Bohrkern für die Quelluntersuchungen zurückgestellt werden. Im Gegensatz hierzu betrug die Ausbeute aus den Bohrungen im Sanierungsbereich Ost etwa das Fünffache.

Abb. 4.1 Tabelle – Bohrungen

	Lage [TM]	Kote des Bohr- ansatzpunktes [m. ü. M]	Gesamttiefe [m]	Anzahl der Bohrkerne	Benachbarter Messquer- schnitt [TM]
<b>Hebungszone West</b>	845	358.13	12.10	9	842.5
	935	357.10	10.00	3	927.5
	1194.5	362.31	10.00	7	1197.5
<b>Sanierungsbereich Ost</b>	2042	375.15	10.54	31	2035
	2040	375.15	13.00	29	2035



Abb. 4.2 Lageplan des Chienbergtunnels (Quelle des Satellitenbildes: Google Earth)

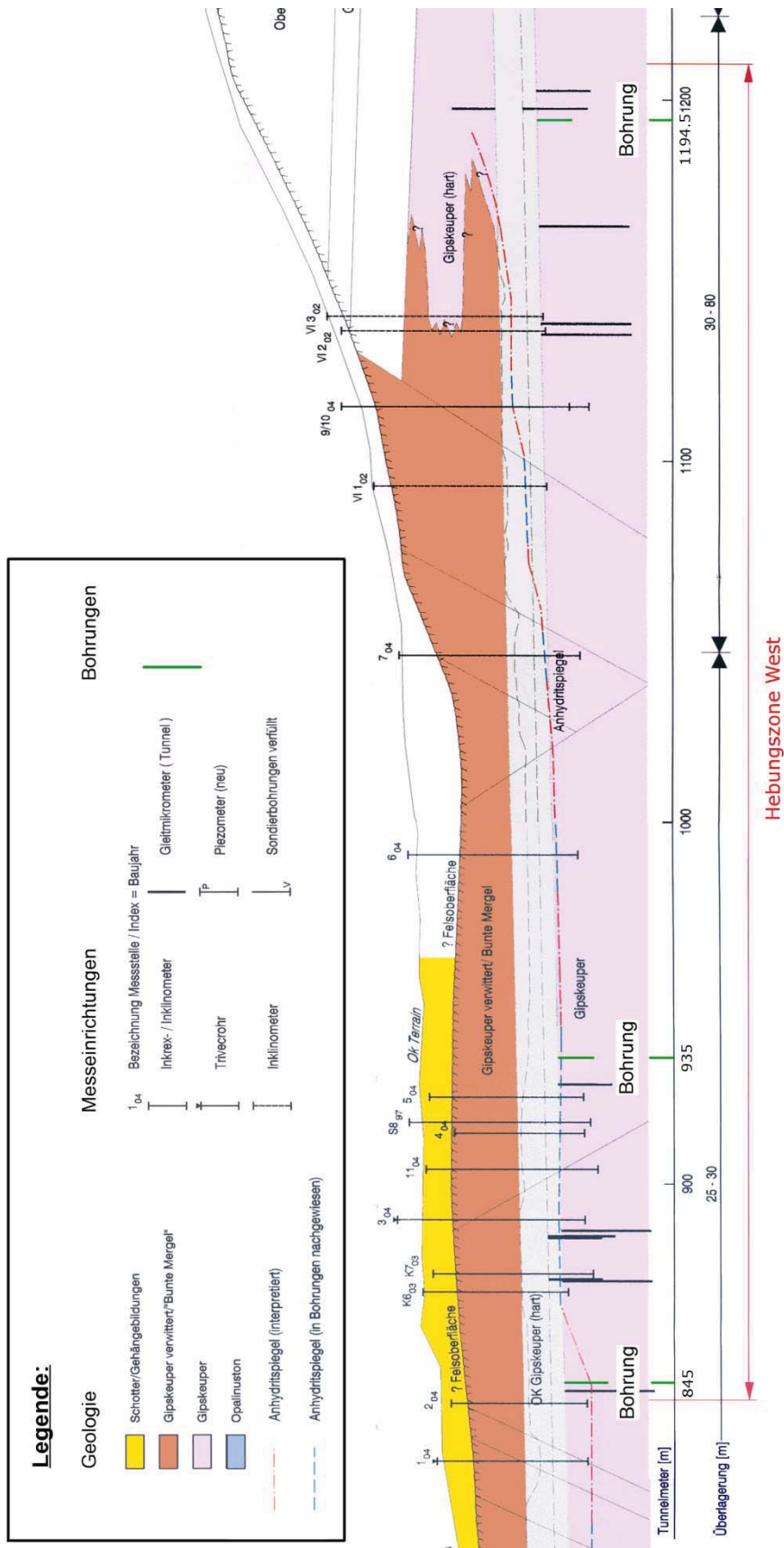


Abb. 4.3 Lage der Bohrungen in der Hebungzone West des Chienbergtunnels (Auszug aus IG Aegerter & Bosshardt / Gruner AG Plan Nr. 5535/9926 Situation, Längenprofil, Stand Nov. 2005, modifiziert)



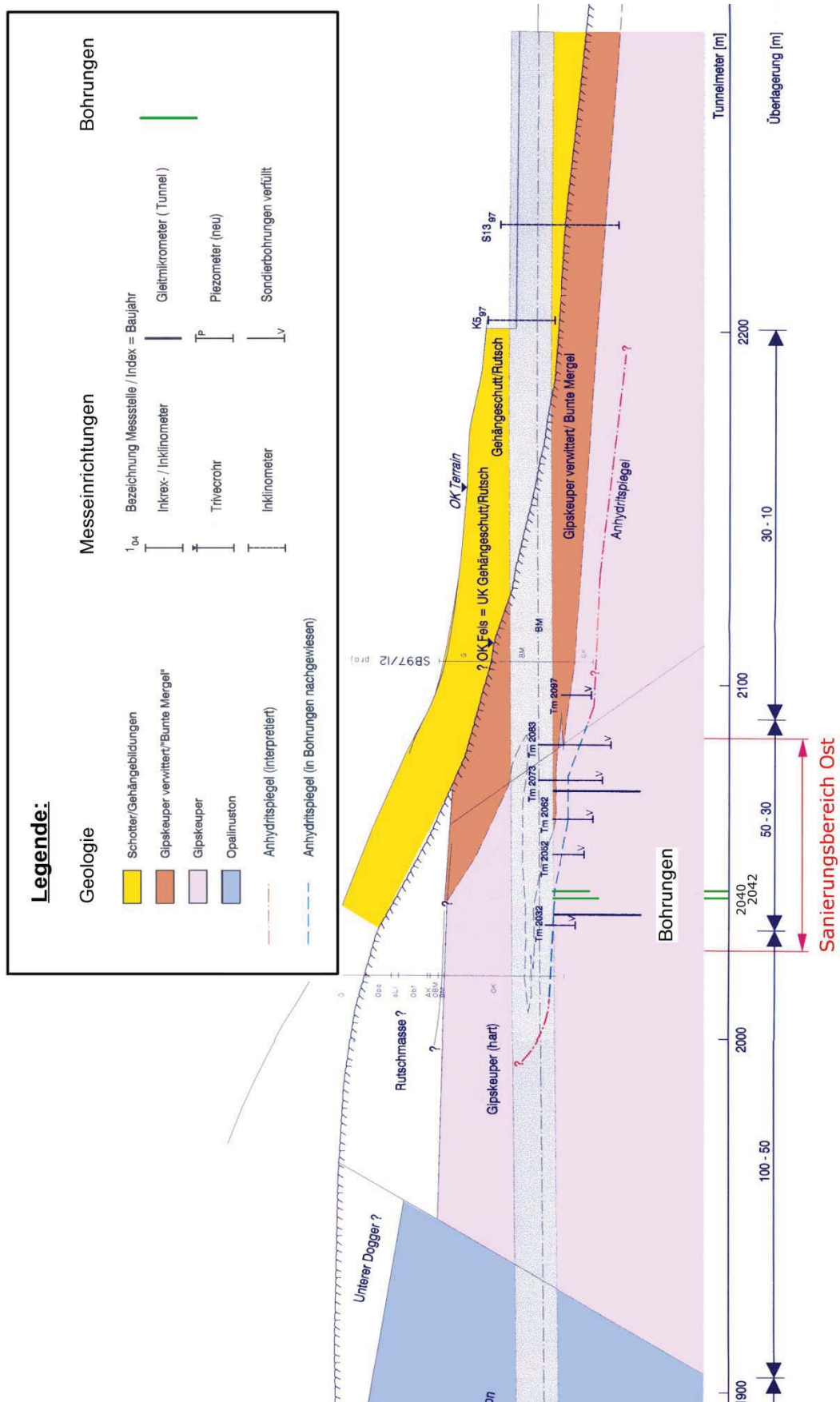


Abb. 4.4 Lage der Bohrungen im Sanierungsbereich Ost des Chienbergtunnels (Auszug aus IG Aegerter & Bosshardt / Gruner AG Plan Nr. 5535/9926 Situation, Längenprofil, Stand Nov. 2005, modifiziert)



Abb. 4.5 Bohrgerät beim Abteufen der Kernbohrungen (links Bohrung TM 935 und rechts Bohrung TM 2040)



Abb. 4.6 Ausgelegte Kernstrecken (oben TM 935 Tiefe 9.00 m – 10.40 m, unten TM 2040 Tiefe: 8.00 m – 10.54 m) zwecks geologisch-petrographischer Aufnahme



Abb. 4.7 Schutz der Bohrkern (links transportfertig, rechts Vervollständigung des Paraffinüberzugs)

## 5 Prüfkörperauswahl und -herstellung

Die Aussagekraft von Laborversuchen hängt von den Randbedingungen und vom Prüfmaterial ab. Eine ausreichende Aussagekraft kann im ersten Fall durch entsprechenden versuchstechnischen Aufwand gewährleistet werden, während im zweiten Fall neben der Auswahl von geeignetem Prüfmaterial auch die Prüfkörpergrösse von Bedeutung ist. Prüfkörper mit zu geringen Abmessungen könnten die lithographisch bedingten Heterogenitäten nicht ausreichend berücksichtigen, mit der Folge, dass die Versuchsergebnisse eine grössere Streuung aufweisen würden. Grundsätzlich gilt, je grösser der Prüfkörper, desto niedriger die Streuung und damit repräsentativer sind die Ergebnisse. Andererseits ist es leicht ersichtlich, dass grössere Prüfkörper einen grösseren versuchstechnischen und zeitlichen Aufwand erfordern. So erfordern z.B. Prüfkörper mit grösseren Durchmessern oder Höhe höhere Kräfte und damit grössere Apparaturen bzw. eine längere Versuchsdauer. Bei Diffusions- und Sickerströmungsvorgängen, wie es beim Quellen von Tonsteinen bzw. Konsolidation von Tonen der Fall ist, ist die Dauer des Vorgangs proportional zum Quadrat der Prüfkörperhöhe.

Die gewählten Prüfkörperabmessungen von  $D = 70$  mm und  $H = 40$  mm stellen einen vertretbaren Kompromiss bezüglich Repräsentativität und Aufwand dar. Um die Aussagekraft der Versuchsergebnisse mit den verhältnismässig kleinen Abmessungen der Prüfkörper zu verbessern, ist die Durchführung von fünf Versuchen pro Laststufe bzw. pro Serie vorgesehen. Bei fünf Serien werden somit insgesamt 25 Quellversuche durchgeführt. Diese Versuche sollten mit Probenmaterial sowohl aus der Hebungszone West, als auch aus dem Sanierungsbereich Ost, durchgeführt werden. Ferner wurde bei der Auswahl der Bohrkern auf deren Länge geachtet, so dass idealerweise mehrere Prüfkörper aus demselben Bohrkern gewonnen werden konnten.

Die ausgewählten Bohrkern wurden sorgfältig ausgepackt und während der Bearbeitung stets gegen Austrocknung geschützt. Da die Bohrkern mit etwa 80 mm Durchmesser gegenüber den Ödometerringen mit 70 mm Durchmesser ein Übermass aufwiesen, wurden sie auf eine Drehbank mit einer niedrigen Drehzahl von 50 Umdrehungen / Minute auf Mass trocken abgedreht. Anschliessend wurden die Kerne auf eine elektronisch geregelte Diamantbandsäge luftgespült auf Mass abgelängt. Trotz der niedrigen Drehzahl, war bei einigen Proben ein Absplittern härterer Partikel an den Endflächen unvermeidbar. Sofern die so entstandenen Vertiefungen klein waren, wurden sie mit Acrylatharz verfüllt. Bei grösseren Schädigungen bis hin zum partiellen Bruch wurden diese Prüfkörper nicht berücksichtigt. Unmittelbar nach deren Herstellung wurden die Prüfkörper vermessen, gewogen und fotografiert. Anhand der Abmessungen und Masse wurde die Einbaudichte der jeweiligen Proben bestimmt (Tabelle 5.8). Anschliessend wurden sie in die jeweiligen Ödometerringen eingebaut und in einem Plastikbeutel unter Ziehung von Vakuum luftdicht verpackt. Das Restmaterial der ausgewählten Bohrkern wurde –zwecks der nachträglichen Bestimmung ihrer mineralogischen Zusammensetzung –aufgehoben.

Abb. 5.8 Tabelle – Probandaten

Prüf- rahmen	Bohrung	Teufe [m]	H [mm]	D [mm]	M [g]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	TM 845	7.20 – 7.70	39.92	69.95	391.9	25.1
2	TM 845	7.42 – 7.55	39.95	69.95	371.6	23.7
3	TM 2040	2.00 – 2.20	40.20	69.95	406.4	25.8
4	TM 2040	4.34 – 4.72	39.95	69.95	382.4	24.5
5	TM 935	0.66	39.96	69.95	416.9	26.6
6	TM 845	7.20 – 7.70	40.02	69.95	367.8	23.5
7	TM 845	10.23 – 10.36	39.97	69.95	359.1	22.9
8	TM 2040	5.04 – 5.25	39.70	69.95	398.1	25.6
9	TM 2040	4.34 – 4.72	40.40	69.95	389.0	24.6
10	TM 935	0.66	40.02	69.95	407.1	26.0
11	TM 845	7.20 – 7.70	40.03	69.95	388.3	24.8
12	TM 845	10.23 – 10.36	40.05	69.95	374.1	23.8
13	TM 2040	5.04 – 5.25	40.05	69.95	407.8	26.0
14	TM 2040	4.34 – 4.72	40.08	69.95	379.3	24.2
15	TM 2042	6.00 – 6.25	40.12	69.95	376.8	24.0
16	TM 845	7.20 – 7.70	40.05	69.95	402.3	25.6
17	TM 845	10.23 – 10.36	40.05	69.95	361.3	23.0
18	TM 2040	5.04 – 5.25	39.80	69.95	398.7	25.6
19	TM 2040	4.34 – 4.72	39.45	69.95	383.7	24.8
20	TM 2042	6.00 – 6.25	40.03	69.95	381.7	24.3
21	TM 845	7.42 -7.55	40.05	69.95	355.9	22.7
22	TM 935	3.38 – 3.44	39.96	69.95	409.6	26.2
23	TM 2040	5.04 – 5.25	40.10	69.95	422.3	26.9
24	TM 2040	4.34 – 4.72	39.90	69.95	397.2	25.4
25	TM 2042	6.00 – 6.25	40.15	69.95	407.7	25.9

Mit der Bearbeitung der Bohrkern auf der Drehbank kann einerseits der durch das Bohren beeinträchtigte Bereich ihrer Mantelfläche weitestgehend entfernt werden, und andererseits kann ein adäquater Kraftschluss zwischen Prüfkörper und Ödometerring erreicht werden. Insbesondere der zuerst genannte Vorteil ist mit den bekannten alternativen Vorgehensweisen nicht gegeben. D.h. die Anfertigung von Ödometerringen mit Übermass und die Füllung des Zwischenraumes mit Füllringen aus Kunststoff oder mit flüssigem Schwefel gewährleisten keinen adäquaten Kraftschluss oder die Ergebnisse können durch gestörtes Material beeinträchtigt werden. Es ist zu vermerken, dass kreiszylindrische Bohrkern mit sehr geringen Abweichungen des Durchmessers in der Regel nur bei sehr festen und homogenen Gesteinen gebohrt werden können. Dies war hier nicht der Fall.

In Tabelle 5.9 werden die ausgewählten Bohrkern, ihre geologische petrographische Beschreibung sowie die Nummer des Prüfrahmens in dem jeder der gewonnenen Prüfkörper eingebaut wurde, zusammengefasst. Die Prüfrahmens sind in Gruppen zu fünf Geräten unterteilt und bilden somit eine Serie: Ihnen wurde für ihre bessere Unterscheidung eine farbliche Bezeichnung zugewiesen. In Tabelle 5.9 wird ebenfalls die entsprechende axiale Last der jeweiligen Versuchsserie angegeben. Die Tiefenangaben beziehen sich auf die Oberkante der Tunnelsohle nach der Erweiterung, dessen Kote wird in Tabelle 4.1 aufgelistet. Die Fotografien der Prüfkörper unmittelbar nach deren Herstellung werden in Bild 5.10 bis 5.18 dargestellt, und zwar geordnet nach Bohrung und Teufe.

Abb. 5.9 Tabelle – Herkunft und Beschreibung der Prüfkörper

Bohrung	Kern Nr.	Teufe [m]	Geologische und petrographische Aufnahme (Geotechnisches Institut, Basel, 2007)	Last [MPa]				
				0.5	0.8	1.0	1.3	2.0
				Prüfrahmen Nr.				
TM 845	4	7.20 - 7.70	Schwarzer Tonstein mit schichtparallelen teils gewellten Fasergips-Klüften und Sulfat in Knöllchen	1	6	11	16	
	5	7.42 - 7.55	Mit grauer Mergel/Tonsteinlage	2				21
	7	10.23 - 10.36	Wechselagerungen im mm-cm-Bereich von graubraunem – schwarzem Tonstein und teils blättrigem Mergeln sowie Sulfatlagen und subhorizontalen Fasergips-Klüften. Hart Kern kompakt		7	12	17	
TM 935	3	0.66	Grauschwarzer Mergel/Tonstein mit Anhydrit in Lagen und Knollen, K. k.	5	10			
	1	3.38 - 3.44	Graugrüner Mergel mit Anhydrit in Lagen und Schlieren, mit zahlreichen schichtparallelen Fasergips-Klüften, Kern teils kompakt, Schichtung horizontal; bei 3.38-3.50m mit Anhydritbank mit dunklen Ton/Mergel-Zwischenlagen					22
TM 2040	5	2.00 - 2.20	Graubrauner teils rötlicher Anhydrit in Knollen, Knöllchen und fein verteilt mit grauschwarzem Mergel/Tonstein in Lagen, Schlieren und Zwickeln, hart, Kern kompakt	3				
	10	4.34 - 4.72	Graubrauner Anhydrit in Knöllchen und Mergel in Schlieren und Zwickeln, Mergel/Tonstein bei 3.73-4.10m und 5.27-6.00m (zerbohrt), hart, Kern kompakt, teils in Scheiben	4	9	14	19	24
	12	5.40 - 5.25	Graubrauner Anhydrit in Knöllchen und Mergel in Schlieren und Zwickeln, Mergel/Tonstein bei 3.73-4.10m und 5.27-6.00m (zerbohrt), hart, Kern kompakt, teils in Scheiben		8	13	18	23
TM 2042	24	6.00 - 6.25	Graubrauner Anhydrit mit grauschwarzem Mergel/Tonstein in Schlieren und Zwickeln, hart, Kern kompakt			15	20	25

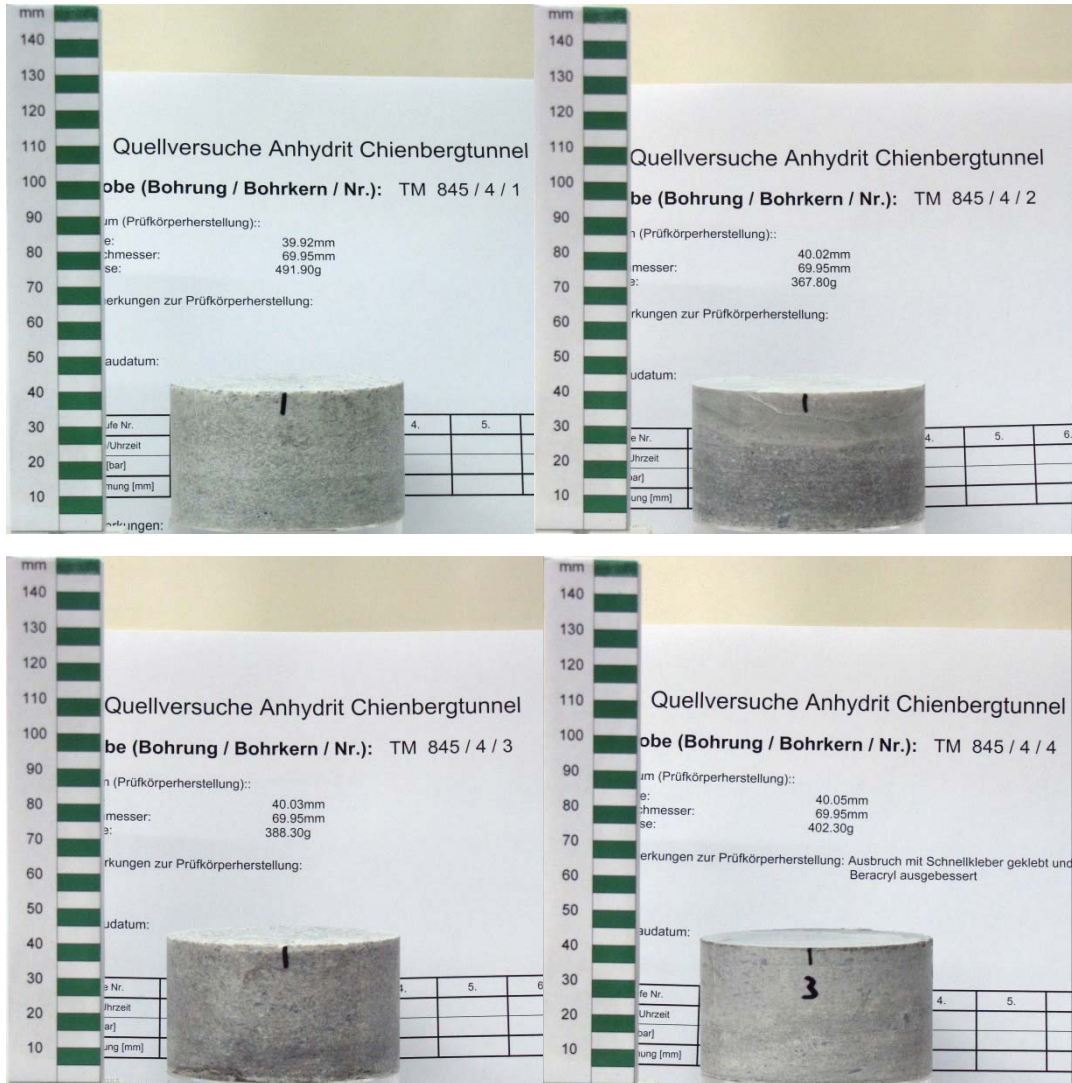


Abb. 5.10 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 4 der Bohrung TM 845 vor dem Einbau

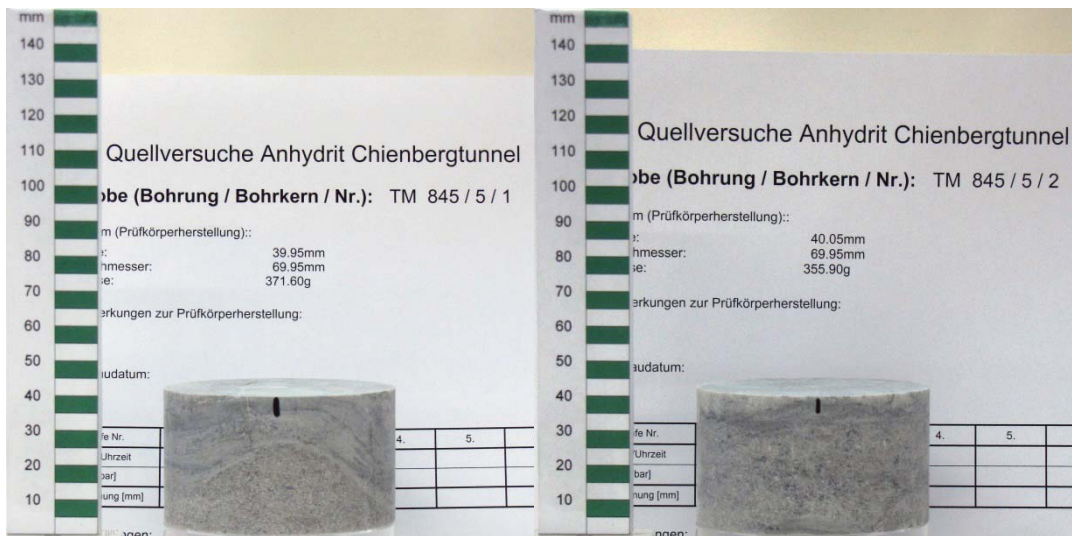


Abb. 5.11 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 5 der Bohrung TM 845 vor dem Einbau



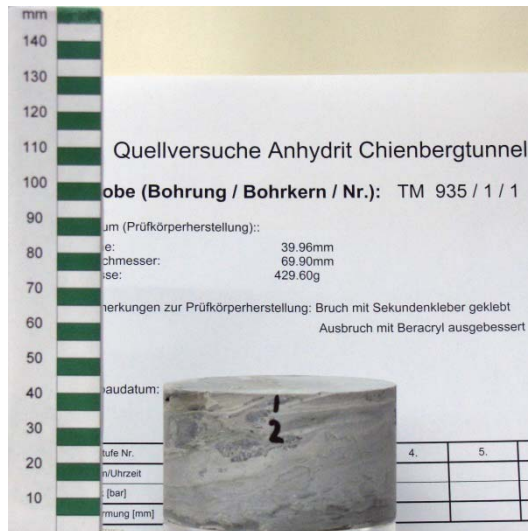


Abb. 5.14 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 1 der Bohrung TM 935 vor dem Einbau

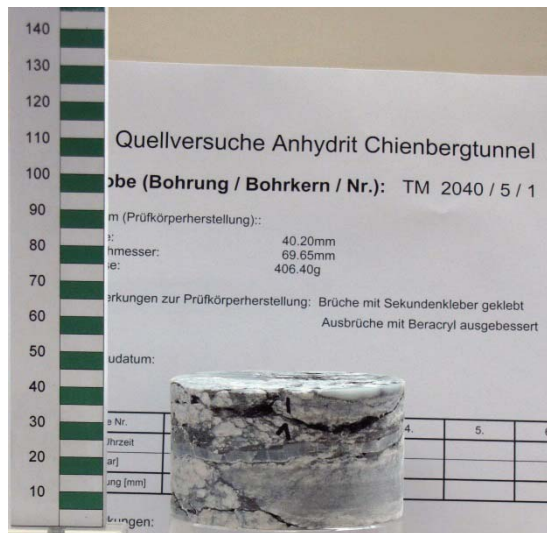


Abb. 5.15 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 5 der Bohrung TM 2040 vor dem Einbau



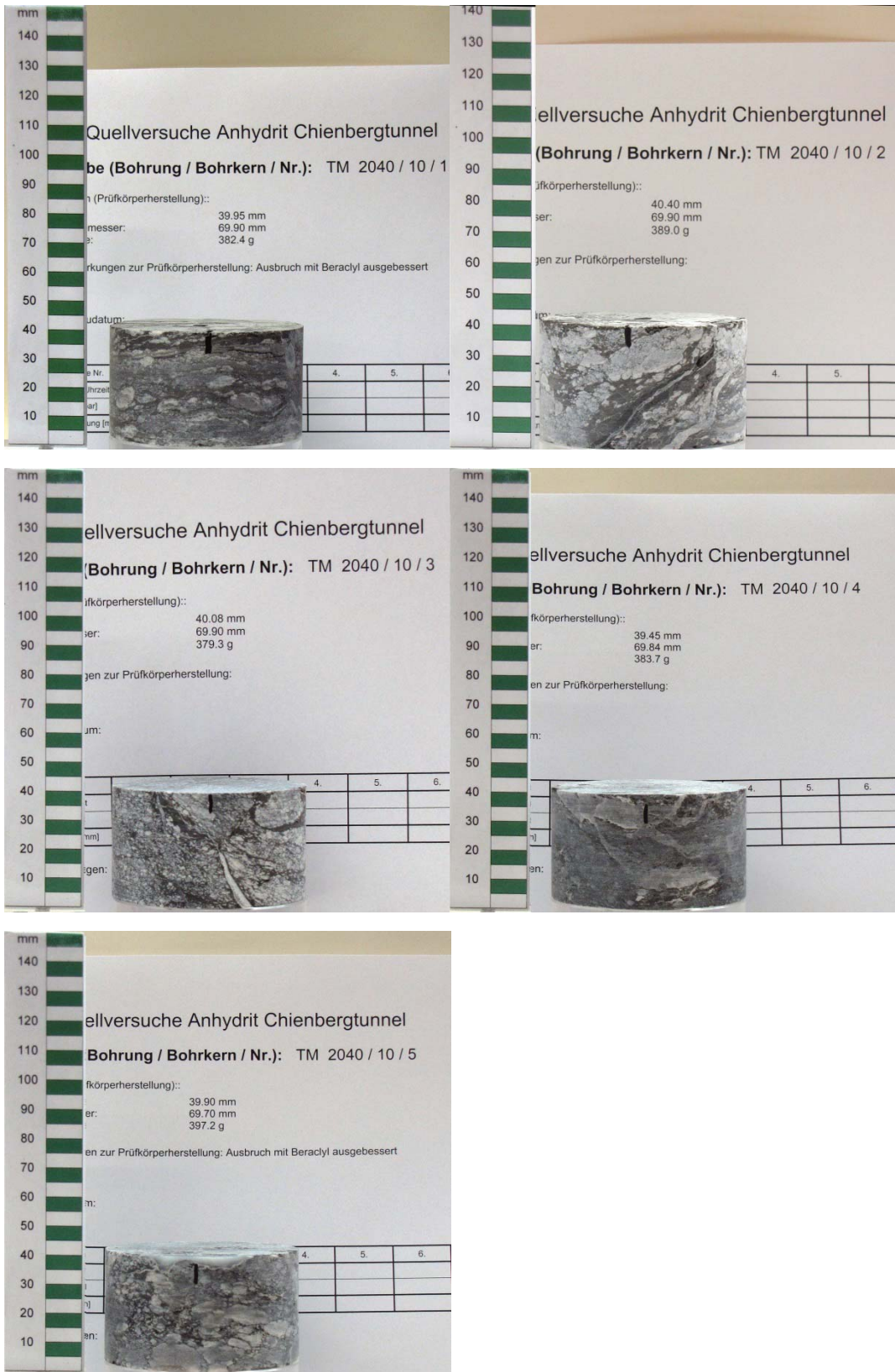


Abb. 5.16 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 10 der Bohrung TM 2040 vor dem Einbau

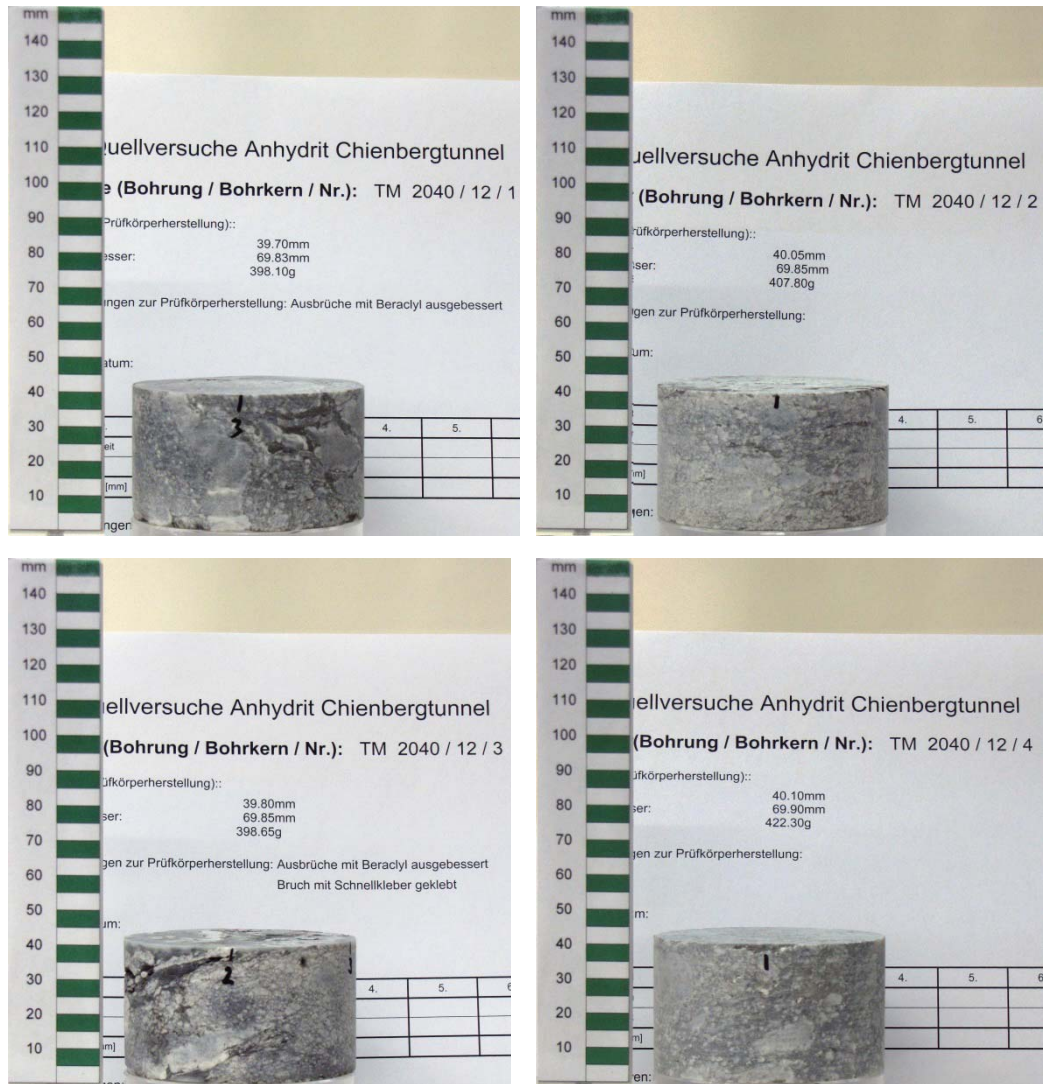


Abb. 5.17 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 12 der Bohrung TM 2040 vor dem Einbau

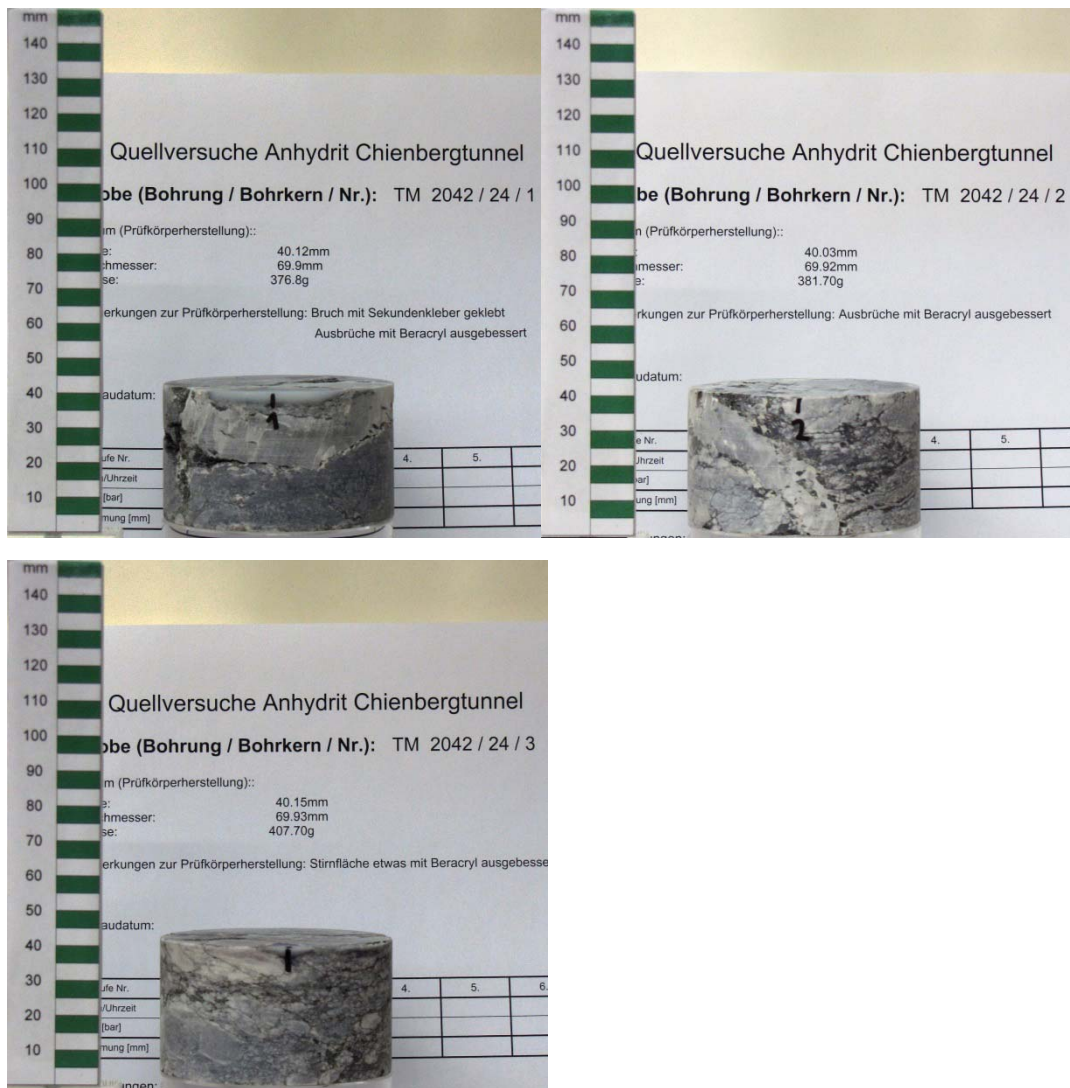


Abb. 5.18 Prüfkörper des Bohrkernes Nr. 24 der Bohrung TM 2042 vor dem Einbau

## 6 Versuchsapparatur und -durchführung

An die Versuchsapparaturen wurden besondere Anforderungen gestellt. Sie sollten über die vorgesehene sehr lange Versuchsdauer von mehr als zehn Jahren zuverlässig arbeiten und einen von äusseren Einflüssen möglichst ungestörten Versuchsablauf mit klar definierten Randbedingungen gewähren. Als grundlegende Randbedingungen für jeden Versuch war die zuverlässige Aufbringung einer über die gesamte Versuchsdauer konstanten Axiallast unter ödometrischen Bedingungen, d.h. ohne radiale Verformungen. Die aufzubringenden Lasten sollten mindestens den Bereich bis 2 MPa abdecken. Aufgrund der hohen Anzahl von Versuchen, die gleichzeitig durchzuführen sind, und der langen Versuchsdauer sollte der Personalaufwand während der Durchführung der Versuche möglichst gering gehalten werden.

Die Durchführung des Versuchsprogrammes erfordert den Einsatz von 25 Prüfgeräten. Bei den, in der Bodenmechanik gängigen, für Konsolidationsversuche eingesetzten Oedometergeräten wird die Axialspannung direkt über Gewichte aufgebracht. Solche Geräte kommen für die geplanten Untersuchungen nicht in Betracht, weil sie für niedrige Lasten ausgelegt sind oder, im Falle von Sonderbauten, für grosse Lasten entsprechend voluminös und schwer ausfallen. Bei anderen bekannten Apparaturen für Quellversuche wird die Probe in einen sehr steifen Reaktionsrahmen «eingespannt». Während des Versuchs verhindert der Reaktionsrahmen die Entwicklung der Quellung, dadurch steigt der Axialdruck im Laufe der Versuchsdauer. Um den Druck dennoch annähernd konstant zu halten, muss der Reaktionsrahmen regelmässig nachgestellt werden und zwar über die gesamte Versuchsdauer.

Aus den oben genannten Gründen wurde für das Versuchsprogramm eine neue Apparatur entwickelt. Die Versuchsanlage besteht aus einer Serie von 25 solcher Prüfraumen. Diese sind in unserer Werkstatt hergestellt worden. Für ihre Konzeption und Entwicklung konnte auf die Erfahrung und die Lehren aus den langjährigen Versuchen mit Proben aus dem Freudensteintunnel zurückgegriffen werden. Unzulänglichkeiten in der Versuchstechnik und -durchführung wurden verbessert respektive optimiert. So wurde beispielsweise bei der Materialwahl der metallenen Komponenten, die während des Versuchs in Kontakt mit Wasser stehen, auf besonders korrosionsbeständigen Stahl zurückgegriffen, um Korrosion und damit eine allfällige Beeinflussung des Ionengehaltes im Wasser zu vermeiden. Eine extern bedingte Änderung der Ionenkonzentration durch die Verdunstung des Wassers im Prüfraum wird durch eine entsprechende Abdichtung vermieden. Ferner wurden die Metallringe mit Überlänge hergestellt, so dass die Proben trotz grosser Quellung den Metallring nicht verlassen werden. Für die Erfassung der axialen Kraft wurde auf elektrische Kraftmessdosen verzichtet wegen der Unsicherheit durch allfällige Null-Punkt-Verschiebungen nach der langen Versuchszeit. Es ist zu vermerken, dass eine Überprüfung der Kraftmessdose oder deren Austausch nicht ohne Störung des Versuchs durchgeführt werden kann. Betreffend der Versuchsdurchführung, und um die Aussagekraft der Ergebnisse betreffend der Endwerte nach dem Quellvorgang zu erhöhen, werden alle Versuche während des gesamten Versuches mit einer konstanten Last durchgeführt. Gegenüber den Freudensteinversuchen wird daher auf ein mehrmaliges Be- und Entlasten der Prüfkörper, sowie auf Änderungen der Versuchsrandbedingungen während der Laststufen (kraft- und weggeregelt) verzichtet.

Die neuen Prüfapparaturen bestehen aus einem viersäuligen Reaktionsrahmen, wobei die Lastaufbringung über einen Druckzylinder erfolgt (Abb. 6.19). Der Prüfkörper wird in einen steifen Metallring eingebaut. Dieser weist ein ausreichendes Übermass bezüglich der Höhe aus, so dass der gequollene Prüfkörper bei axialen Verformungen von bis zu 25% den Metallring nicht verlässt. An beiden Enden des Prüfkörpers werden eine Filter- und eine Kopfplatte angebracht. In die Kontaktflächen der Kopfplatten wurden Nutkanäle gefräst. Diese ermöglichen für den Fall einer teilweisen Versinterung der Filterplatten eine weiterhin gute Wasser- bzw. Ionenzirkulation. Der Prüfkörperaufbau wurde in einen dichten Wassertopf eingebaut, der Topfdeckel mit einer verschliessbaren Öffnung versehen. Durch diese Öffnung wird der Prüfkörper zu Versuchsbeginn bewässert und danach luftdicht verschlossen. Damit wird eine Verdunstung des Wassers im Topf und somit eine



Die Lastaufbringung der Prüfkörper erfolgt über die Druckzylinder der jeweiligen Prüfrahmen. Diese werden ölhdraulisch mit Druck durch einen zentralen Druckerzeuger beaufschlagt (Abb. 6.20). Der Druck im Druckerzeuger wird mittels Gewichten genau eingestellt. Diese üben über die Hebelwirkung im Verhältnis 5:1 die entsprechende Kraft auf den zentralen Druckzylinder aus und erzeugen damit den Druck. Bei den Prüfrahmen bzw. den Druckzylindern der Serie mit der höchsten Last, wirkt dieser Druck direkt. Bei den restlichen Prüfrahmen der entsprechenden Serien wird ein Druckübersetzer dazwischengeschaltet. Dieser besteht aus zwei Druckzylindern mit unterschiedlichen Querschnittsflächen. Dadurch wird der Druck proportional vermindert. Die Druckübertragung zwischen den Zylindern erfolgt verlustfrei – als geschlossenes System – nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße. Da die Verformungen der Prüfkörper sehr langsam stattfinden, sind vorübergehende dynamische Druckverluste vernachlässigbar. Um allfällig erforderliche Positionierungen der Druckzylinder bis hin zu einem späteren Ausbau einzelner Prüfkörper bzw. Einbau neuer Prüfkörper ohne Störung der weiteren Versuche zu ermöglichen, sind entsprechende Ventile eingebaut worden (Abb. 6.21). Es ist zu vermerken, dass die Prüfrahmen und die hydraulischen Komponenten für eine maximale Last und den Druck von 62 kN bzw. 200 bar ausgelegt sind. Die Prüfapparaturen erlauben, falls erforderlich, durch Schliessung des entsprechenden Ventils, eine Blockierung der Verformungen. Dadurch ermöglichen sie auch die Durchführung von Quellversuchen zur Bestimmung des maximalen Quelldruckes.

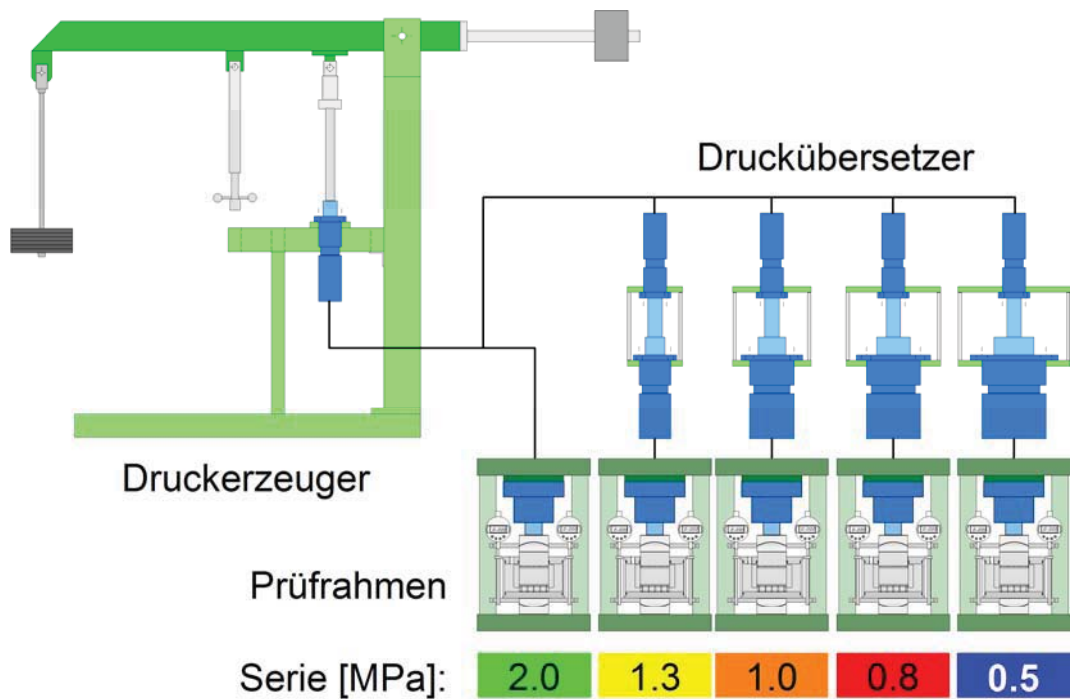


Abb. 6.20 Schema der Prüfanlage

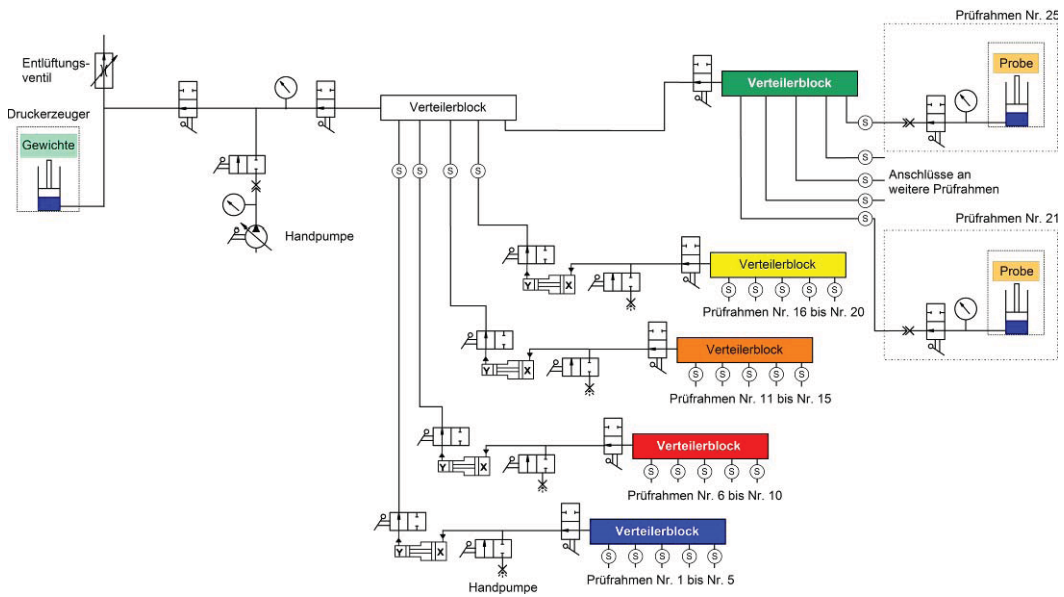


Abb. 6.21 Hydraulischer Schaltplan der Prüfanlage

Um Temperatureinflüsse gänzlich auszuschliessen, sollen die Versuche in einem Klimaraum unter konstanter Temperatur durchgeführt werden. Die Temperaturschwankungen sollten in der Grössenordnung von etwa  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  liegen und werden mit Hilfe von drei thermoresistiven Sensoren des Typs Pt100 (T1 bis T3 in Abb. 6.22) erfasst. Diese sind an den Prüfrahmen Nr. 5, 19 und 15 angebracht. Sie messen die jeweiligen Rahmentemperaturen direkt.



Abb. 6.22 Lage der Temperatursensoren T1 bis T3 und Verteilung der Prüfrahmen auf dem Schwerlastenregal

Die Messung der axialen Verformungen der Prüfkörper erfolgt mit zwei elektronischen Messuhren, die über Multiplexer an einem Datalogger angeschlossen sind. Dieser ist so programmiert, dass er in vorgegeben Zeitabständen die Position aller Messuhrtaster abfragt und speichert sowie ebenfalls die genaue Uhrzeit. Derzeit ist ein Messintervall von einer Stunde eingestellt. Der Datalogger ist an ein Netzteil, aber auch an einen Konden-

sator und einer Batterie angeschlossen. Im Falle eines Stromausfalles würde der Datalogger durch den Kondensator und die Batterie bis zu einem Zeitraum von 24 Stunden gespeist werden, so dass die Nullpunkte der Messuhren nicht verloren gehen würden. Die gespeicherten Daten blieben trotz Stromunterbruch erhalten. Die Daten werden regelmässig, etwa wöchentlich, mit einem Laptop abgefragt und ausgewertet.

Aufgrund der vorgesehenen langen Versuchsdauer sowie der gestellten Anforderungen bezüglich Zuverlässigkeit, war eine eingehende und zeitaufwändige Dichtigkeitsprüfung notwendig. Zunächst wurden die einzelnen Prüfrahmen geprüft. Anschliessend wurden diese in Gruppen vor dem Beginn der Versuchsdurchführung angeschlossen. Vor der jeweiligen Dichtigkeitsprüfung wurden die Ölleitungen der jeweiligen Komponenten unter Ziehung eines Unterdruckes vollständig entlüftet. Es ist leicht erkennbar, dass Undichtigkeiten während der Versuchsdurchführung den Versuchsablauf erheblich stören würden. Daher sind diese zu vermeiden. Um die Verlässlichkeit der Dichtigkeitsprüfungen zu erhöhen, wurden sie über eine Zeitspanne von mehreren Monaten durchgeführt. Bei den Prüfrahmen sowie später bei der Anlage wurde der Druck unter Last über längere Zeiträume beobachtet.

Die Versuchsdurchführung beinhaltet neben der oben beschriebenen Aufnahme aller Prüfkörper und deren Einbau in den jeweiligen Prüfrahmen auch die Einstellung der Messuhren sowie den Anschluss aller hydraulischen Leitungen. Nach dem Start der Datenerfassung werden die Prüfkörper «trocken», ohne Wasserzufuhr, mit der für die jeweiligen Serien vorgesehenen Prüflast belastet. Die Verformungen wurden über einen Zeitraum von 6 Stunden beobachtet. Da keine Auffälligkeiten zu verzeichnen waren, wurden die Messuhren neu positioniert, um ihren Messbereich optimal nutzen zu können. Anschliessend wurden alle Prüfkörper sequentiell nach Prüfrahmennummer mit destilliertem Wasser bewässert. Unmittelbar nach der Bewässerung wurde eine Nullmessung der Messuhren durchgeführt. In den Abb. 6.23 bis 6.25 werden Bilder des Versuchsaufbaus sowie der Prüfapparatur und der gesamten Prüfanlage gezeigt.



Abb. 6.23 Prüfkörpereinbau: Prüfkörper samt Filterplatten im Ödometerring vor dem Einbau (links oben), Wassertopf (rechts oben), Kopfplatten und Topfdeckel (unten)





Abb. 6.24 Wassertopf vor (links) und während des Einbaus in dem Prüfraum (rechts)



Abb. 6.25 Prüfanlage im Klimaraum: Druckerzeuger und Druckübersetzer (rechts) und Prüfraum (links)

## 7 Erste Versuchsergebnisse

Die Messergebnisse nach etwa 10 Monaten Versuchsdauer werden, sortiert nach Serien als Zeit-Dehnungsdiagramme in Abb. 7.26 bis 7.30 zusammengefasst. Etwa die Hälfte der Proben zeigt ein Quellhebungsverhalten mit in etwa konstanter Hebungsrate. Hierbei sind die Hebungen erwartungsgemäss noch sehr gering und unterschiedlich ausgeprägt, wobei es verfrüht wäre, Aussagen bezüglich Lastabhängigkeit zu machen. Eine deutlich höhere Quelldehnungsrate zeigt die Probe im Rahmen Nr. 5 (TM 935 / 3 / 1 / 1). Etwa ein Drittel der Proben zeigt ein Setzungsverhalten. Bei diesen Proben könnte sich der Setzsvorgang einstellen und es könnte zu einer anschliessenden Quellhebung kommen. Daher werden diese weiter beobachtet. Sollten sich einige dieser Proben als nicht quellfähig erweisen, werden diese ausgebaut und durch andere Proben entsprechend ersetzt werden.

Die Temperaturschwankungen, d.h. Abweichungen gegenüber der Anfangstemperatur, werden in Abb. 7.31 dargestellt. Sie liegen in der erwarteten Grössenordnung von etwa  $\pm 0.5$  °C.

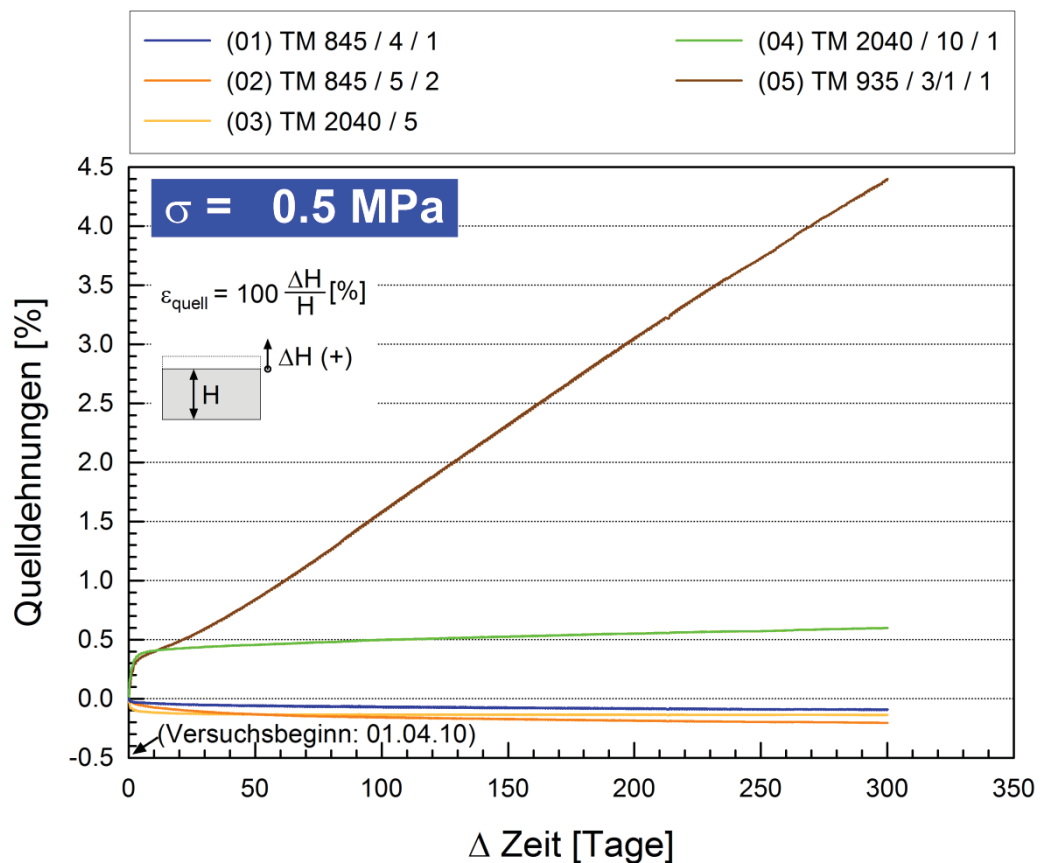


Abb. 7.26 Zeit-Quellhebungsdiagramm – Serie 0.5 MPa

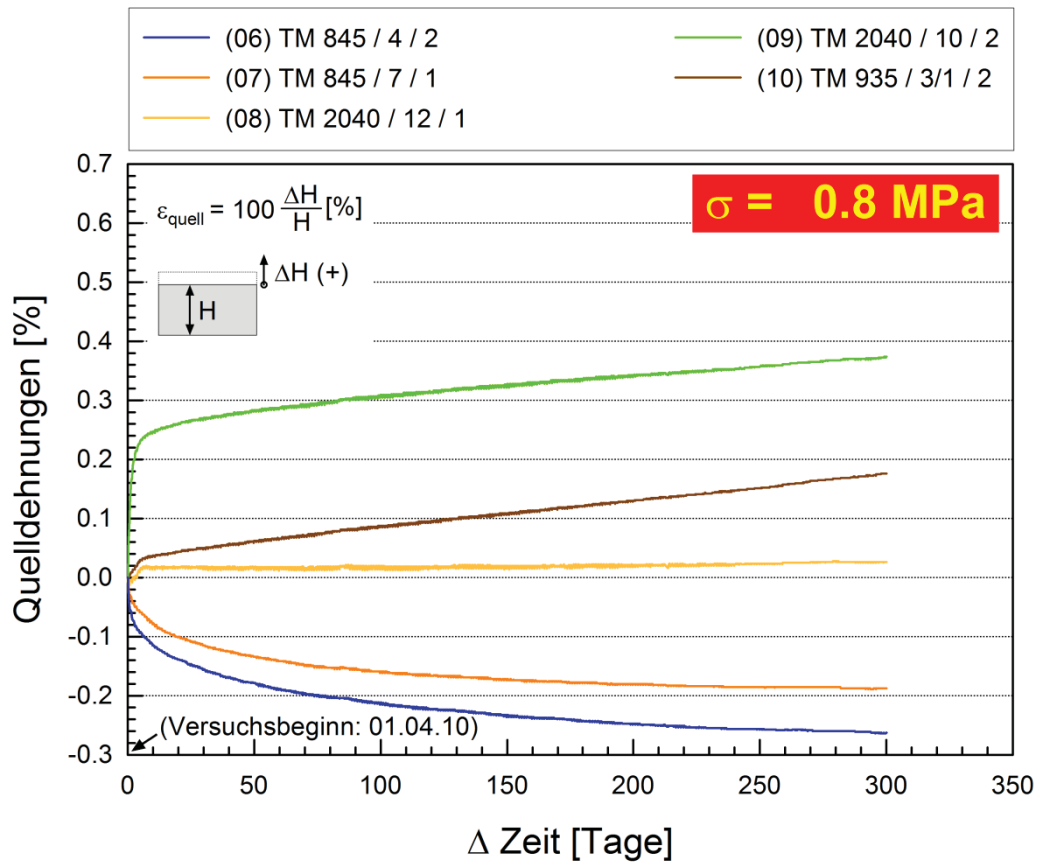


Abb. 7.27 Zeit-Quellhebungsdiagramm – Serie 0.8 MPa

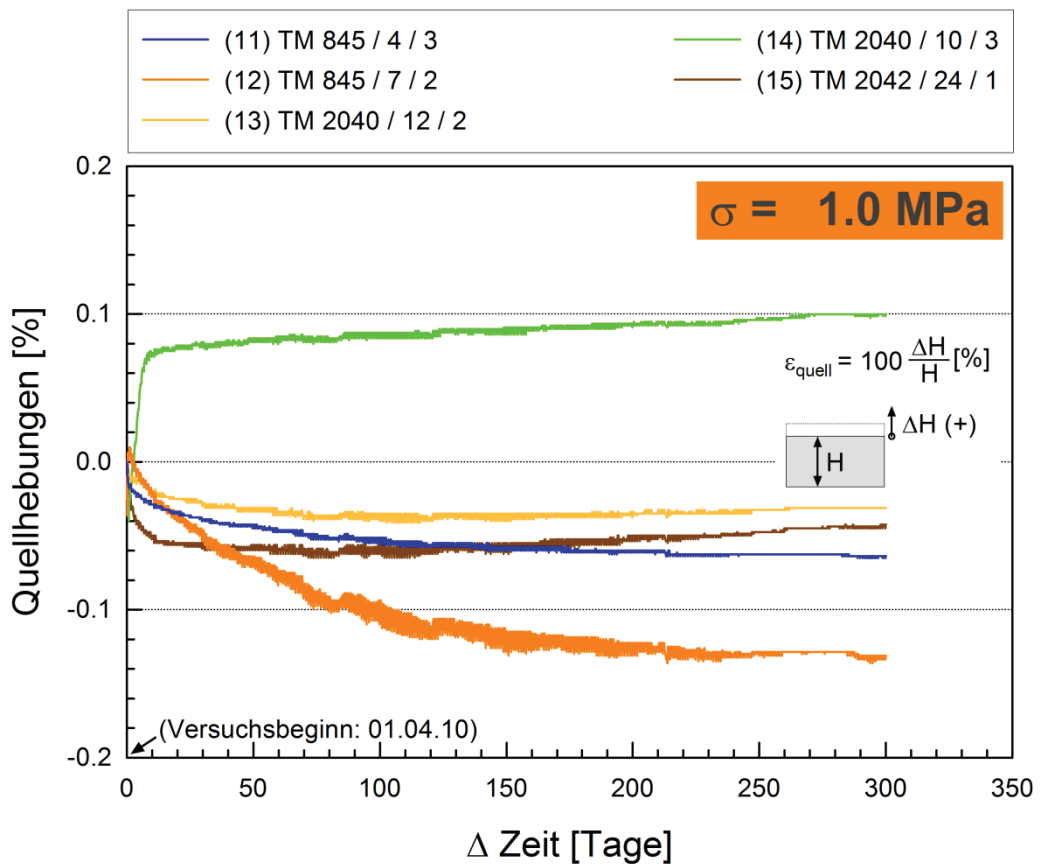


Abb. 7.28 Zeit-Quellhebungsdiagramm – Serie 1.0 MPa

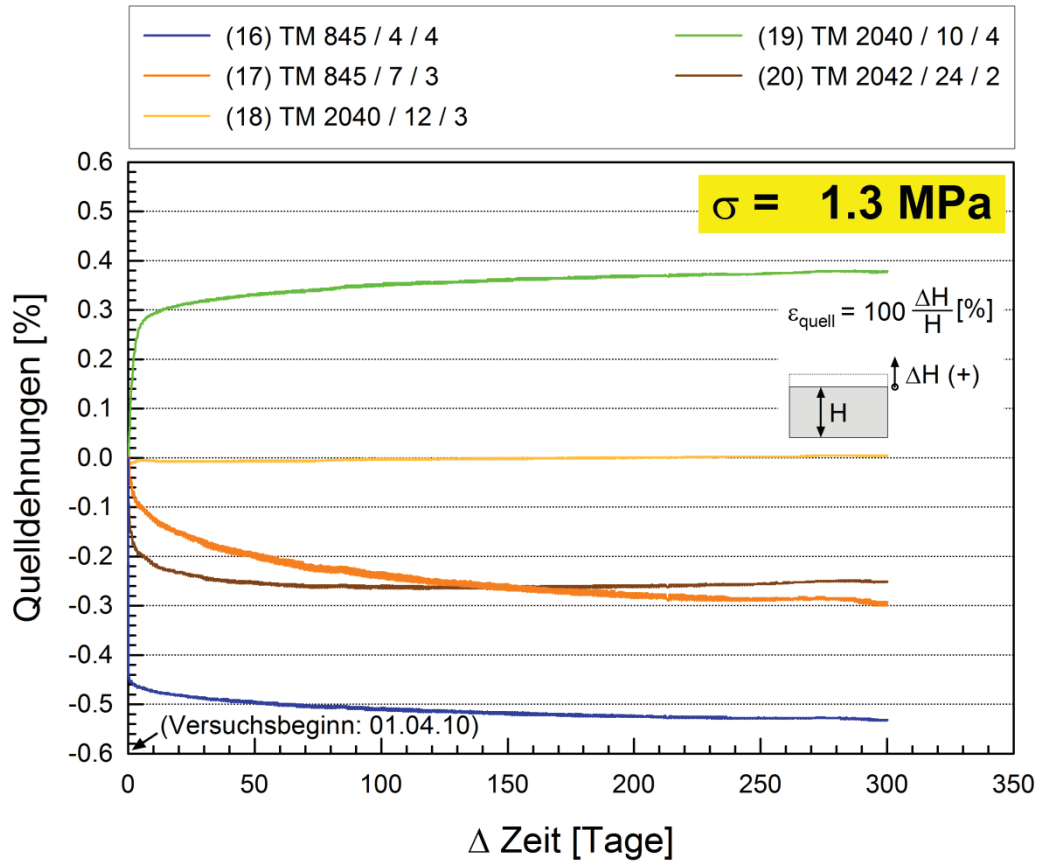


Abb. 7.29 Zeit-Quellhebungsdiagramm – Serie 1.3 MPa

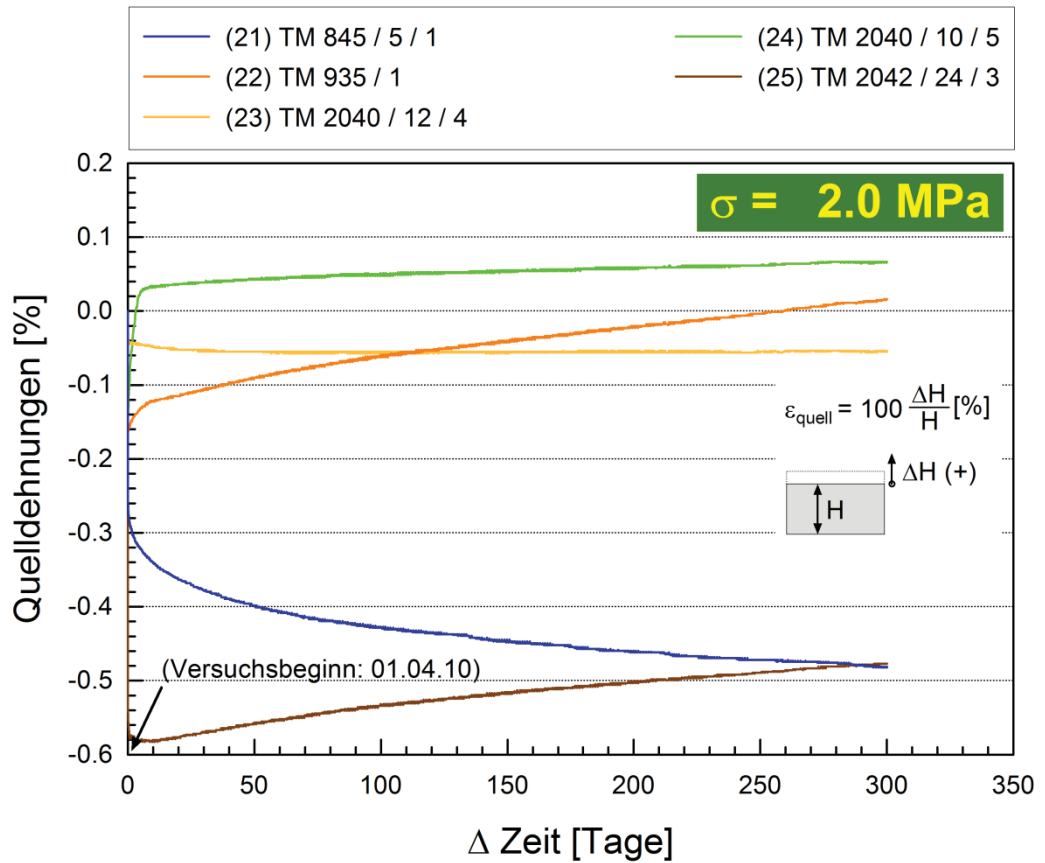


Abb. 7.30 Zeit-Quellhebungsdiagramm – Serie 2.0 MPa

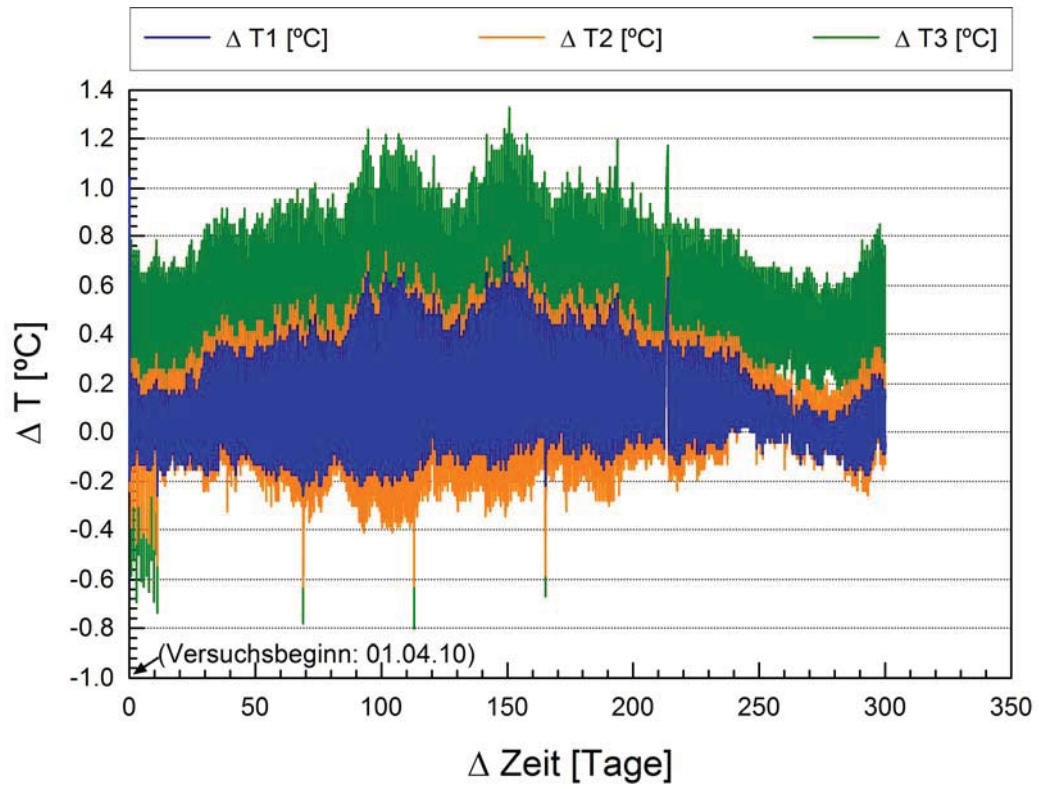


Abb. 7.31 Temperaturschwankungen über die Versuchszeit

## 8 Schlussfolgerungen

Die gewählte Technik zur Prüfkörperbearbeitung erlaubte die schonende Herstellung von Prüfkörpern mit genau definierter Geometrie. Dadurch ist ein adäquater Kraftschluss zwischen Prüfkörper und Ödometerring gewährleistet.

Die neu konzipierten Prüfapparaturen sowie die gesamte Prüfanlage zeigen ein einwandfreies Verhalten. Sie erfüllen alle gestellten Anforderungen und haben sich somit bewährt.

Einige der Proben zeigen bereits Quellhebungen. Erwartungsgemäss ist es jedoch verfrüht, Aussagen bezüglich des Quellverhaltens zu treffen.

## Anhänge

	<b>I Bohrprofile und Fotodokumentation der Bohrungen .....</b>	<b>40</b>
<b>I.1</b>	<b>Bohrprofile .....</b>	<b>40</b>
<b>I.2</b>	<b>Fotodokumentation der Bohrungen.....</b>	<b>50</b>

# Bohrprofile und Fotodokumentation der Bohrungen

## Bohrprofile

Geotechnisches Institut Hochstrasse 48 Postfach 4002 Basel www.geo-online.com		Bohrung Tm 845 <sub>06</sub> (SB I)		Beilage	
GI-Nr.: 151.1104.010		Objekt: Sissach, Chienbergtunnel		M = 1:50	
Höhe in m ü.M.: ca. 358.13		Unternehmung: Stump ForATec AG			
Koordinaten: 628'184 / 257711		Bohrmeister: Daniel Amrein			
Aufnahme: Hr. M. Meyer		Datum: 11.6.06			
Höhe m ü.M.	Tiefe ab OKT	Profil	Geologische Beschreibung	Geologie	Bohrloch verfüllt mit sulfat- beständigem Zement
			gelbbrauner siltiger Kies mit Kalksteinen, an Basis mit PVC-Stücken (Rohr). (Auffüllung)	Tunnel	
			Beton, Kern in Brocken zerbohrt, an Basis mit Abdichtungsfolien		
			Faser-Spritzbeton, Kern in Brocken		
			gebänderter - lagiger Gips, teils mit groben Gipskristallen, mit flachen Klüften mit feinen Gipskristallen bewachsen, har. Kern vollständig in		
	01.40		Brocken zerbohrt, Schichtung = subhorizontal		
			grauer Mergel mit fein verteiltem Gips und Gipslagen, mit zahlreichen mit feinen Gipskristallen bewachsenen Klüften, teils mit siltigem Material, Kern in Brocken zerbohrt		
			schwarzer Tonstein mit Gips in Lagen und Klüften, hart, Kern in Scheiben zerbohrt, Schichtung = horizontal		
355.13	02.80 03.00		bei: 04.00-04.45 m Tonstein mit steilen Klüften, Kern in Kiesfraktion zerbohrt		
			04.45-04.50 m grauschwarzer Tonstein-Mergel mit Gips in körnigen Lagen und in subhorizontalen flasigen Klüften		
	03.60		04.80-04.90 m Wechsellagerung von Gips in Lagen und schwarzem Tonstein, mit schichtparallelen Fasergips-Klüften, Gips teils als rötliche Knöllchen ausgebildet, hart, Kern kompakt, Schichtung = horizontal		
	04.00		05.00 m Tonstein mit feiner 60° starrer Fasergips-Kluft		
			05.15-05.25 m schwarzgrauer Tonstein/Mergel mit schlierigen Lagen und Linsen mit Gips und mit Fasergips-Klüften, einzelne Kluft 50-60°, an Basis mit vertikalen rostigen Klüften in Tonlagen, Kern kompakt		
	05.70		05.25-05.35 m Tonstein mit Fasergips-Klüften bis 3 cm		
	06.15		Wechsellagerung im mm-Bereich von grauem Mergel, grauem Dolomit/Siltstein und Sulfatlagen (ev. Anhydrit?), zahlreichen Fasergips-Lagen, subhorizontal, hart, Kern in Scheiben		
			06.15-07.00 m schwarzer Tonstein mit steilen Fasergips-Klüften, Kern in Brocken zerbohrt		
	07.00		07.00-07.55 m grauer körnig-spätiger Sulfat (Anhydrit?), hart, Kern kompakt, Schichtung = horizontal		
	07.55		bei: 07.00-07.02 m Sulfatlage		
	07.75		07.20-07.24 m gebändertes - schlieriges Sulfat in Lagen		
				pskuper	

Abb. 0.1 Bohrung TM 845 – Teil 1.



		Gipskeuper	
07.00	07.00-07.55 m	grauer körnig-spätiger Sulfat (Anhydrit), hart, Kern kompakt, Schichtung = horizontal	
07.55	07.00-07.02 m	bei: Sulfatlage	
07.75	07.20-07.24 m	gebändertes - schliefliges Sulfat in Lagen	
08.40	07.24-07.30 m	schwarzer Tonstein/Mergel mit schichparallelen teils gewellten Faserigps-Klüften und Sulfat in Knöllchen mit grauer Mergel/Tonsteinlage	
09.15	07.50-07.55 m	Sulfat in wulstigen Bändern, mit Tonsteinfugen und Flasern	
09.70	07.55-07.75 m	graues Sulfat in Lagen und Knollen (chicken wire), mit Tonstein und unregelmässigen Faserigps-Klüften, Kern kompakt, hart	
10.50	07.75-08.40 m	schwarzer Tonstein mit steilen Faserigps-Klüften, Kern teils kompakt	
10.80	08.40-09.15 m	Wechsellagerung im mm-cm-Bereich von grauschwarzen Tonstein/Mergel und Sulfatlagen, teils unregelmässig gelagert, mit horizontalen Faserigps-Klüften bis 1 cm, Kern meist in Scheiben zerbohrt	
12.10	09.15-09.70 m	Kern ausgewaschen in Sandfraktion zerbohrt	
	09.70-10.50 m	Wechsellagerung im mm-cm-Bereich von graubraunem - schwarzem Tonstein und teils blättrigem Mergeln sowie Sulfatlagen und subhorizontalen Faserigps-Klüften, hart, Kern kompakt	
		bei: 09.70-10.00 m Kern in Scheiben zerbohrt	
	10.40 m	mit steiler Faserigps-Kluft	
	10.50-10.80 m	grauschwarzer - rötlichbrauner Mergel mit Sulfat in Knollen, Linsen und Lagen, mit Faserigps-Klüftung, Kern in Brocken	
	10.80-12.10 m	Wechsellagerung von graugrüner, grauen und weinroten Mergeln bis blättrigen Tonsteinen, Mergeln mit fein verteiltem Sulfat und Sulfat in schliefligen Bereichen und Linsen, mit zahlreichen schichparallelen Faserigps-Klüften, Kern teils kompakt, Schichtung = horizontal	
		bei: 10.94-10.96 m, 11.47-11.50 m mit klaren Faserigpsklüften	
	10.23-10.36 m	Wechsellagerung grauer Mergel - Dolomit und Sulfat in Lagen und fein verteilt	
	11.16-11.30 m	grauer Sulfat mit Mergellagen	
	11.72-11.84 m	graues Sulfat mit grauen - rötlichen Mergel/Tonsteinlagen	
	Proben:		
	845.1	04.77-04.95 m	
	845.2	05.15-05.25 m	
	845.3	05.72-05.80 m	schliefliges Sulfat mit Mergelzwischenlagen
	854.4	07.20-07.70 m	körniges Sulfat
	845.5	07.42-07.55 m	
	845.6	08.47-08.59 m	
	854.7	10.23-10.36 m	(Beschrieb siehe oben)
	854.8	11.16-11.30 m	(Beschrieb siehe oben)
	854.9	11.72-11.84 m	(Beschrieb siehe oben)
346.03			

Abb. 0.2 Bohrung TM 845 – Teil 2.

<p><b>Geotechnisches Institut</b>                  Telefon: 061 365 28 00                  Fax: 061 365 23 79                  info@geot-online.com                  www.geot-online.com</p>		<p><b>Bohrung Tm 935<sub>06</sub> (SB 3)</b></p>		<p>Beilage</p>	
<p>GLN: 151.1104.010</p>		<p>Objekt: <b>Sissach, Chienbergtunnel</b></p>		<p>M = 1:50</p>	
<p>Höhe in m ü.M.: ca. 357.10                  Koordinaten: 628'268 / 257'742                  Aufnahme: Hr. M. Meyer</p>		<p>Unternehmung:                  Daniel Anrein                  Datum: 15.6.06</p>		<p>Stump Fora Tec AG</p>	
Höhe m ü.M.	Tiefe ab OKT	Profil	Geologische Beschreibung	Geologie	Bohrloch verfüllt mit sulfatbeständigem Zement
356.70	00.40		Betonsohle	Sohle	
			Wechsellagerung von schwarzem - grauem Tonstein und Mergel und unregelmässigen Sulfatlagen (Anhydrit) mit zahlreichen vertikalen Klüften mit Fasergips und schichtparallelen Fasergips-Klüften bis 2 cm, hart, Kern in Brocken, Schichtung = 20°		
	01.25		grauschwarzer Mergel/Tonstein mit Anhydrit in Lagen und Knollen, K.k. schwarzer Tonstein bis Mergel, Schicht gut geschichtet, blättrig, mit steilen Fasergips-Klüften, bei 1.17 m mit schichtparallelen Fasergips-Kluft 2 cm, stark bröckelig, Kern zerfällt in Kies-Sandfraktion		
	02.10		grauer Mergel - mergeliger Dolomit mit Anhydrit in einzelnen Lagen und fein verteilt, hart, Kern in Brocken, zerfällt schalig		
	03.00		grauer Mergel - mergeliger Dolomit, teils mit Fasergips-Resten, Kern vollständig in Kies-Sandfraktion zerbohrt		
	03.50		graugrünlcher Mergel mit Anhydrit in Lagen und Schlieren, mit zahlreichen schichtparallelen Fasergips-Klüften, Kern teils kompakt, Schichtung = horizontal		
			bei: 03.38-03.50 m mit Anhydritbank mit dunklen Ton/Mergel-zwischenlagen		
	04.80		grauer Mergel - mergeliger Dolomit, mit Fasergips-Resten, Kern vollständig in Kies-Sandfraktion zerbohrt		
	05.15		grauer dichter Anhydrit mit steiler - subvertikaler Fasergips-Klüften, hart, Kern kompakt		
	05.85		grauer Mergel - mergeliger Dolomit mit Fasergips-Resten, Kern vollständig in Kies-Sandfraktion zerbohrt		
			Wechsellagerung von schwarzem Tonstein und grauem Mergel mit fein verteiltem Anhydrit, hart, Kern zerfällt teils in Scheiben		
	07.00		grauer - grauschwarzer blättriger Mergel, bei 6.40 m mit Anhydrit in Lagen sowie mit Fasergips-Klüften, Kern vollständig in Kiessandfraktion zerbohrt	<b>Gipskeuper</b>	

Abb. 0.3 Bohrung TM 935 – Teil 1.

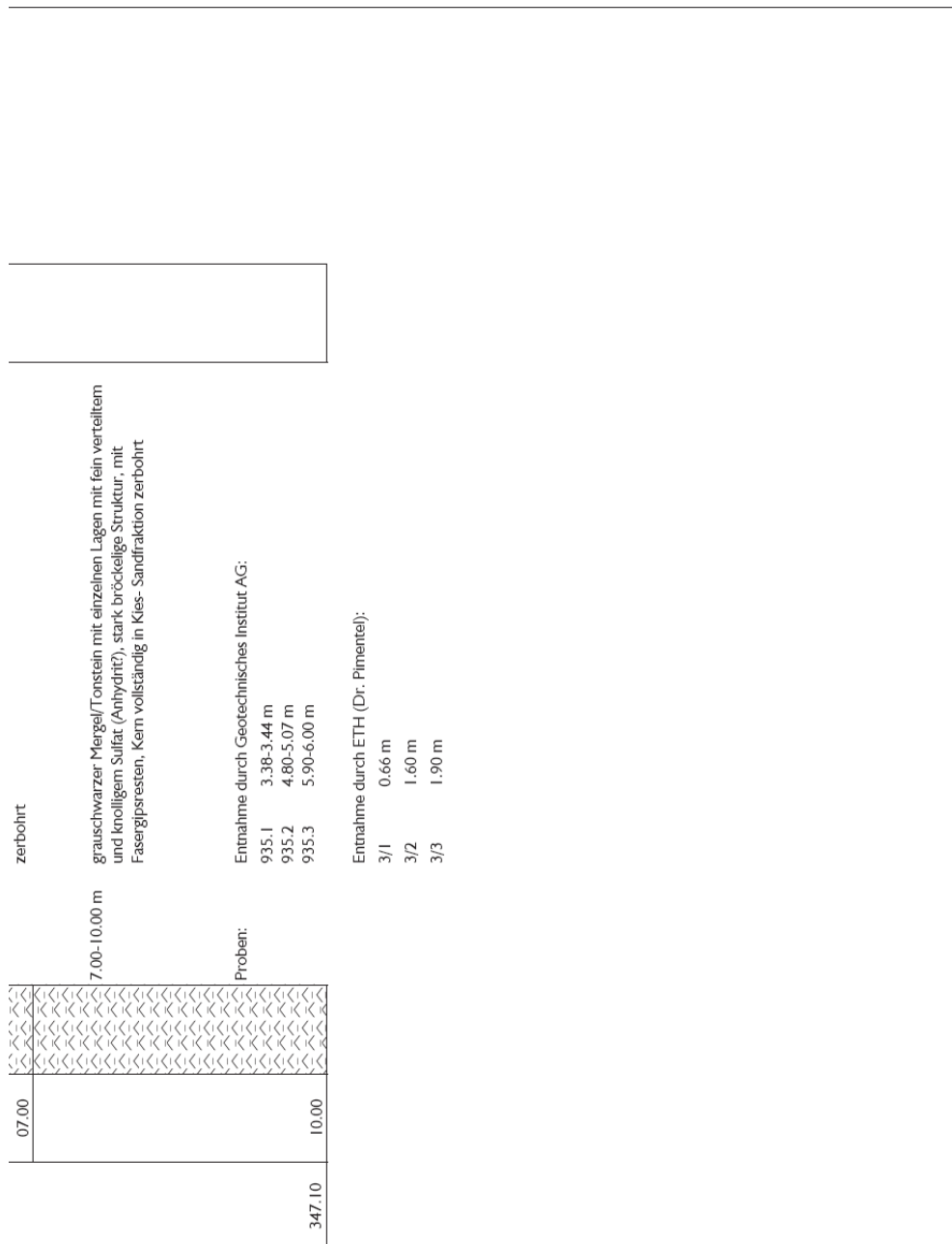


Abb. 0.4 Bohrung TM 935 – Teil 2.

Geotechnisches Institut Hecherstrasse 48 Postfach 4002 Basel		Bohrung Tm 1194.5 <sub>06</sub> (SB 2)		Beilage	
Telefon 061 365 78 00 Fax 061 365 73 79 info.bs@geo-online.com www.geo-online.com		Objekt: <b>Sissach, Chienbergtunnel</b> M = 1:50			
Gl-Nr.: <b>151.1104.010</b> Höhe in m ü.M.: 362.31 Koordinaten: 628'520 / 257'798 Aufnahme: Hr. M. Meyer		Unternehmung: Stump ForATec AG Bohrmeister: Daniel Amrein Datum: 11.6.06			
Höhe m ü.M.	Tiefe ab OKT	Profil	Geologische Beschreibung	Geologie	Bohrloch verfüllt mit sulfat- beständigem Zement
361.71	00.60		00.00-00.60 m Beton	Sohle	
	00.80		graugrüner - roter gefleckter Mergel mit fein verteiltem Sulfat, mit zahlreichen mit Gipsnadeln bewachsenen Klüftflächen, hart, Kern in Brocken zerbohrt		
	01.60		graugrüner - grauer Mergel mit fein verteiltem Sulfat und aufgeweichter Silt in Lagen, Kern in Brocken zerbohrt		
	02.50		grauschwarzer Mergel mit viel Sulfat in Krönlchen, Linsen, Lagen und Schlieren, in tonigen Zwischenlagen mit feinen Gipsnadeln bewachsen, hart, Kern in Scheiben, Schichtung = subhorizontal		
			graugrüner und roter Mergel sowie rötliche Anhydritknollen, Kern vollständig in Kies - Sandfraktion zerbohrt		
	03.90		grauer Mergel mit Sulfat in Lagen, Linsen und Schlieren, mit subvertikalen Faserigips-Klüften, hart, Kern in Brocken		
	04.20		grauschwarzer Mergel / Tonstein mit Faserigips-Klüften, Kern in Kiesfraktion zerbohrt		
	04.60		grauer knollig-wulstiger Anhydrit, hart, Kern teils kompakt		
	04.90		lagiger Tonstein mit Anhydrit in Lagen und Linsen sowie mit schichtparallelen Faserigips-Klüften, hart, Kern in Scheiben zerbohrt		
			grauer Mergel mit Faserigips-Resten und Anhydritstücken, Kern vollständig in Kies-Sandfraktion zerbohrt		
	06.65		grauschwarzer - grünlicher Mergel mit viel Sulfat in feinen Krönlchen und fein verteilt; Rutschmischschichtfläche 50°, fest, stark bröckelige Struktur, Kern in Brocken		
	06.90		grauer - rötlicher gefleckter Mergel mit Anhydrit in Schlieren, Linsen und Krönlchen, hart, Kern teils kompakt		
	07.10		grauschwarzer Mergel mit feinen Anhydritknollen, Kern in Brocken		
	07.30		grauschwarzer Mergel mit Anhydrit in Schlieren, Linsen und Lagen, mit Faserigips-Kluft bis 2 cm, Kern in Scheiben zerbohrt		
	07.85				

Abb. 0.5 Bohrung TM 1194.5 – Teil 1.

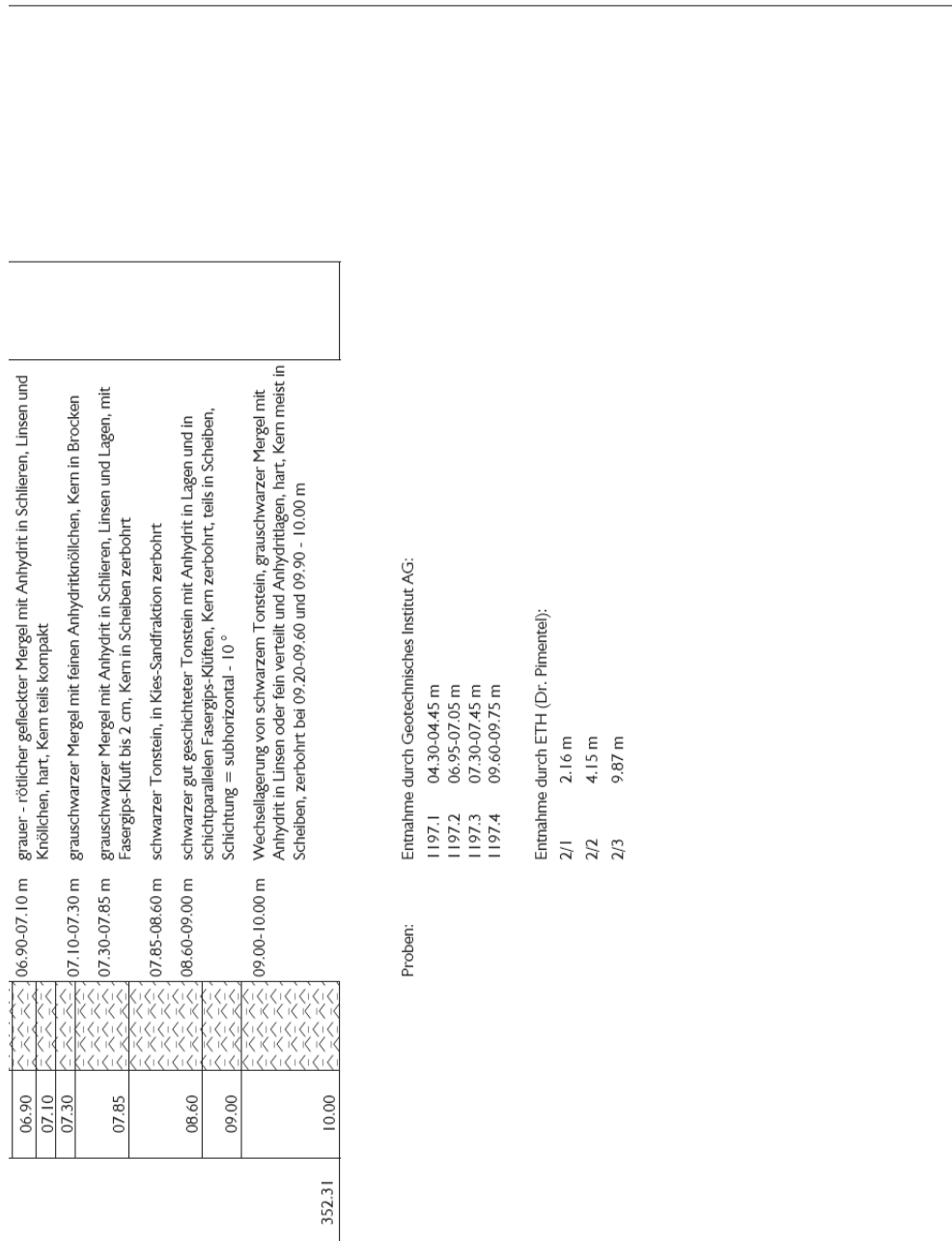


Abb. 0.6 Bohrung TM 1194.5 – Teil 2.

Geotechnisches Institut Hochstrasse 48 Postfach 4002 Basel www.ggs-online.com		Bohrung Tm 2040 06		Beilage	
Telefon 061 365 28 00 Fax 061 365 23 79 info.bs@ggs-online.com		Objekt: <b>Sissach, Chienbergtunnel, Untersuchung Gipskeuperproben</b> (OK-Fahrtbahn= 379.37 m üüM.)		M = 1:50	
Höhe in m ü.M.: 375.15 Koordinaten: 629142 / 257329 Aufnahme: M. Meyer		Unternehmung: Bohrmelster: Datum:		Stump ForaTec AG Ch. Faggi 2.11.-6.11.2006	
Höhe m ü.M.	Tiefe ab OKT	Profil	Geologische Beschreibung	Geologie	Bohrloch verfüllt mit sulfat- beständigem Zement
374.75	00.40		00.00-00.40 m Betonsohle	Sohle	Probenahme (P):
	00.60		00.40-00.60 m rötlicher Mergel mit Fasergips-Klüften und Anhydrit in Linsen und Knollen, Kern in Brocken		1 00.60-00.90 m
	01.00		00.60-01.00 m rötlicher Mergel mit Anhydrit in Knöllchen und Linsen sowie fein verteilt, mit subhorizontalen Fasergips-Klüften, Kern kompakt		2 00.90-01.22 m
			01.00-02.52 m graubrauner teils rötlicher Anhydrit in Knollen, Knöllchen und fein verteilt mit grauschwarzem Mergel/Tonstein in Lagen, Schlieren und Zwickeln, hart, Kern kompakt		3 01.22-01.68 m
	02.52		02.52-03.00 m grauschwarzer Mergel / onstein mit ausgeprägtem Fasergips-Kluttnetz, bröckelige Struktur, Kern in Kies-Sandfraktion zerbohrt		4 01.68-01.90 m
	03.00		03.00-03.20 m graubrauner Anhydrit in Knöllchen mit Mergel/Tonstein in Schlieren und Zwickeln		5 02.00-02.20 m
	03.20		03.20-03.40 m grauschwarzer Mergel mit Anhydritlage und ausgeprägtes Fasergips-Kluttnetz, hart, Kern kompakt		6 02.20-02.55 m
	03.40		03.40-06.80 m graubrauner Anhydrit in Knöllchen und Mergel in Schlieren und Zwickeln, hart, Kern kompakt		7 03.04-03.21 m
	03.54		03.40-06.80 m graubrauner Anhydrit in Knöllchen und Mergel in Schlieren und Zwickeln, hart, Kern kompakt		8 03.33-03.43 m
			06.80-07.10 m grauschwarzer - schwarzer Tonstein/Mergel mit Fasergips-Klüften, bröckelige Struktur, Kern in Brocken		9 03.43-03.70 m
	06.80		07.10-07.45 m Wechsellagerung von grauschwarzem Tonstein/Mergel, Mergel mit Anhydrit in Linsen und Knöllchen und Anhydrit in Lagen, Kern in Scheiben		10 04.34-04.72 m
	07.10		07.45-08.35 m graubrauner - rötlicher Anhydrit in Knollen, Knöllchen und Linsen mit schwarzem Mergel/Tonstein in Schlieren und Zwickeln, hart, Kern teils kompakt		11 04.72-04.85 m
	07.45		08.35-08.75 m grauschwarzer Mergel mit wenig Anhydrit in Knollen und mit Fasergips-Klüften, bröckelige Struktur, Kern in Kies-Sandfraktion		12 05.04-05.25 m
				<b>Gipskeuper</b>	13 06.04-06.50 m
					14 06.55-06.77 m
					15 07.16-07.21 m
					16 07.25-07.30 m
					17 07.33-07.40 m
					18 07.57-07.78 m

Abb. 0.7 Bohrung TM 2040 – Teil 1.

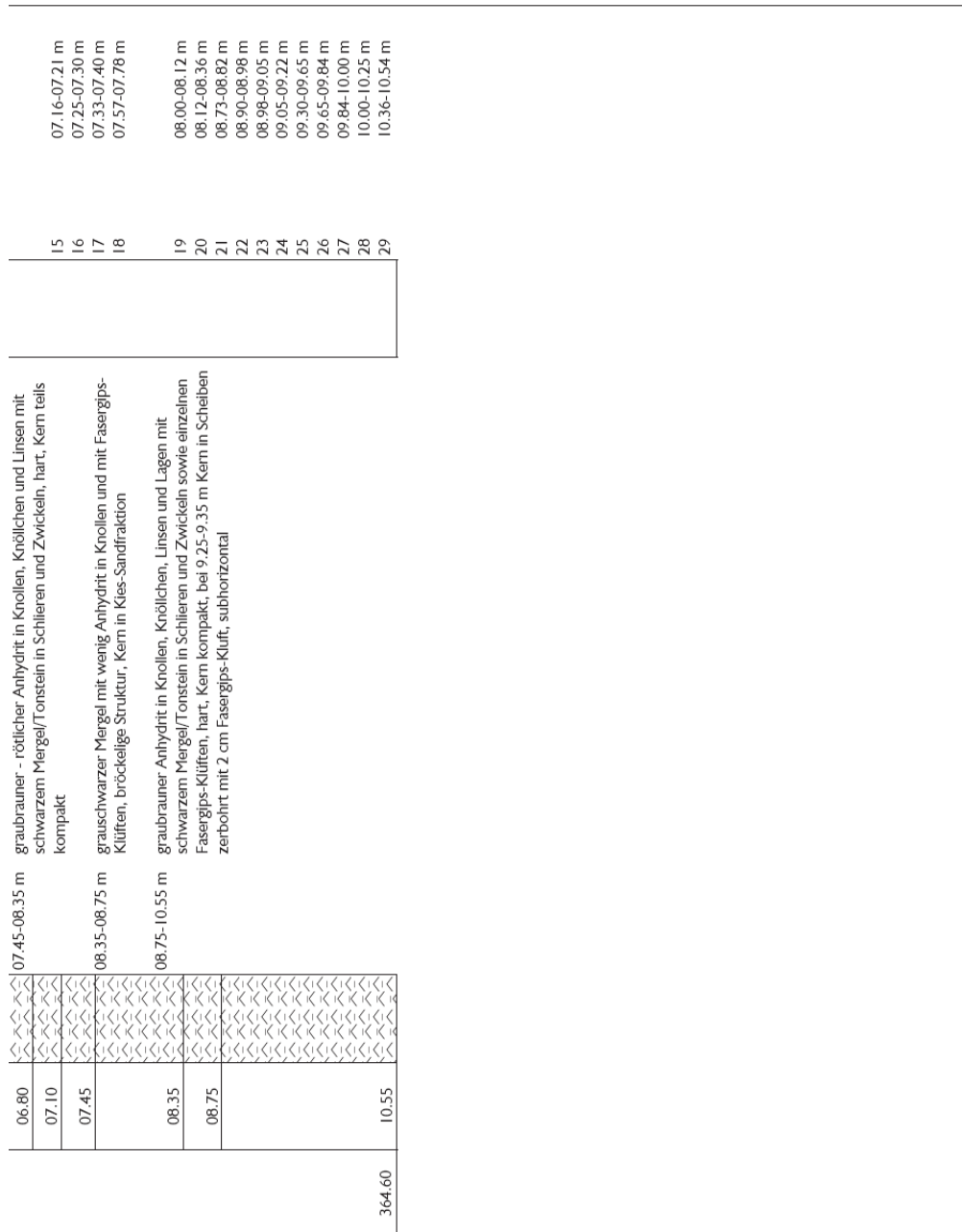


Abb. 0.8 Bohrung TM 2040 – Teil 2.

Geotechnisches Institut Hochstrasse 48 Postfach 4002 Basel www.gee-online.com		Bohrung Tm 2042_06		Beilage	
Telefon 061 365 28 00 Fax 061 365 23 79 info.bs@gee-online.com		Objekt: <b>Sissach, Chienbergtunnel, Untersuchung Gipskeuperproben</b>		M = 1:50	
Höhe in m ü.M.: 374.80 Koordinaten: 629143 / 257327 Aufnahme: Hr. M. Meyer		Unternehmung: Stump ForATec AG Bohrmeister: Ch. Faggi Datum: 27.10.-1.11.06			
Höhe m ü.M.	Tiefe ab OKT	Profil	Geologische Beschreibung	Geologie	Bohrloch verfüllt mit sulfat- beständigem Zement
374.80	00.35		Betonsohle	Sohle	Probenentnahme (P):
			weinroter - grau gefleckter dolomitischer Mergel mit Anhydrit in Knöllchen, Knollen und Linsen, mit teils faserigen Fasergips-Klüften, hart, Kern kompakt, Bohrdurchmesser = 146 mm		1 01.66-01.93 m
	01.10		schwarzer Tonstein mit müriben Fasergips-Klüften, feucht, stark bröckelige Struktur		
	01.60		grauschwarzer Mergel/Tonsteinmatrix mit verschiedenen Komponenten bis ca. 1 cm, bröckelige Struktur, bergfeucht, Kern kompakt (evtl. tektonische Brekzie?, zerbohrt ?)		
	01.80				
	02.00				
	02.30		graubrauner Anhydrit und grauschwarzer Mergel, Kern in Brocken zerbohrt		2 02.32-02.60 m
	02.60				3 02.67-02.80 m
	02.80		grauschwarzer Mergel/Tonstein mit teils rötlichem Anhydrit in Knöllchen und Linsen, mit Fasergips-Klüften, Kern kompakt		
	01.80-02.00 m		graubrauner massiger - knolliger Anhydrit mit schwarzen Mergelzwischenlagen, hart, Kern kompakt		
	03.65		grauschwarzer Mergel mit rötlichem Anhydrit und Fasergips-Klüften, Kern in Brocken		4 03.70-03.77 m
	04.00				5 03.77-04.00 m
	04.20		graubrauner Anhydrit in Knöllchen und Knollen mit schwarzem Mergel/Tonstein in Zwickeln und Schlieren, teils mit Fasergips-Klüften		6 04.25-04.32 m
	04.35		grauschwarzer Mergel, Kern in Brocken		7 04.45-04.50 m
			grauschwarzer Mergel, Kern in Brocken		8 04.55-04.90 m
	05.40		Mergel/Tonstein in Zwickeln und Schlieren		9 04.90-05.12 m
	05.80		grauschwarzer Mergel/Tonstein mit zahlreichen Fasergips-Klüften, ab 3.40 m mit Anhydrit in Lagen und Knöllchen, teils stark bröckelige Struktur, Kern in Brocken und in Kies-Sandfraktion zerbohrt, Schichtung = subhorizontal		10 05.15-05.40 m
	06.00				11 05.85-06.00 m
	06.50		graubrauner Anhydrit in Knöllchen mit viel schwarzem Mergel/Tonstein in Schlieren und Zwickeln, mit vertikalen Fasergips-Klüften		12 06.00-06.25 m
			grauschwarzer Mergel/Tonstein mit Fasergips-Klüften, Kern in Brocken zerbohrt		13 06.25-06.51 m
	07.15		graubrauner kompakter Anhydrit, hart, Kern in Brocken		14 07.17-07.21 m
			graubrauner Anhydrit in Knöllchen, Knollen, Lagen und Linsen mit schwarzem Mergel/Tonstein in Zwickeln, Schlieren und in Lagen, teils mit Fasergips-Klüften bis 1 cm, hart, Kern kompakt, Schichtung =		15 07.45-07.49 m*
					16 07.55-07.59 m
					17 07.92-08.00 m
					18 08.00-08.08 m
					19 08.12-08.17 m*

Abb. 0.9 Bohrung TM 2042 – Teil 1.



06.00			Schichtung = subhorizontal			13	06.25-06.51 m
06.50		03.65-04.00 m	graubrauner Anhydrit in Knöllchen mit viel schwarzem Mergel/Tonstein in Schlieren und Zwickeln, mit vertikalen Fasergips-Klüften				
07.15		04.00-04.20 m	grauschwarzer Mergel/Tonstein mit Fasergips-Klüften, Kern in Brocken zerbohrt				
		04.20-04.35 m	graubrauner kompakter Anhydrit, hart, Kern in Brocken			14	07.17-07.21 m
		04.35-05.40 m	graubrauner Anhydrit in Knöllchen, Knollen, Lagen und Linsen mit schwarzem Mergel/Tonstein in Zwickeln, Schlieren und in Lagen, teils mit Fasergips-Klüften bis 1 cm, hart, Kern kompakt, Schichtung = subhorizontal			15	07.45-07.49 m*
		05.40-05.80 m	grauschwarzer Mergel mit Anhydrit in Lagen, teils stark bröckelige Struktur, Kern in Brocken und Kies-Sandfraktion zerbohrt			16	07.55-07.59 m
		05.80-06.00 m	Wechsellagerung grauer - grauschwarzer Mergel / Tonstein und Anhydrit in Lagen, teils in Lagen mit Knöllchen,			17	07.92-08.00 m
		06.00-06.50 m	bei 5.90 m Fasergips-Kluft 1 cm, Kern kompakt			18	08.00-08.08 m
		06.50-07.15 m	graubrauner Anhydrit mit grauschwarzem Mergel/Tonstein in Schlieren und Zwickeln, hart, Kern kompakt			19	08.12-08.17 m*
10.35		07.15-08.50 m	grauschwarzer Mergel/Tonstein mit ausgeprägtem Klufnetz und einzelnen Anhydritknollen, stark bröckelige Struktur, Kern teils in Brocken zerbohrt			20	08.17-08.26 m
		08.50-09.00 m	Wechsellagerung im mm-cm Bereich von graubraunem teils knolligem Anhydrit in Lagen, grauschwarzem Mergel/Ton mit Anhydrit in Knöllchen und fein verteilt, mit subhorizontalen Fasergips-Klüften, Kern teils kompakt, teils in Scheiben			21	08.37-08.47 m
11.70		09.00-10.35 m	grauschwarzer bis rötlicher Mergel/Tonstein in Fasergips-Klüften, Kern in Kies-Sandfraktion			22	09.11-09.20 m
12.00		10.35-11.70 m	graubrauner Anhydrit in Knöllchen, Knollen und Linsen, teils massig mit schwarzem Mergel/Tonstein in Zwickeln und Schlieren, hart, Kern kompakt			23	09.23-09.31 m
			graubrauner Anhydrit in Knollen, Knöllchen und knolligen Lagen mit schwarzem Mergel/Tonstein in Zwickeln und Schlieren,			24	09.34-09.49 m
			bei 10.35 - 10.50 m mit schwarzem Mergel/Tonstein mit zahlreichen Fasergips-Klüften, Fasergips-Kluft bis 2 cm bei 11.10 m, Kern meist kompakt, Schichtung = subhorizontal			25	09.51-09.60 m
		11.70-12.00 m	grauschwarzer Mergel/Tonstein mit Fasergips-Klüften, stark bröckelig, Kern in Kies-Sandfraktion zerbohrt			26	09.68-09.77 m
		12.00-13.00 m	wie 10.35-11.70 m, mit zerbohrten Mergel/Tonsteinlagen, bei 12.20-12.38, 12.50-12.80 m, Kern in Brocken und Scheiben			27	09.77-10.00 m
362.15						28	10.00-10.36 m
						29	10.55-10.80 m
						30	10.95-11.10 m
						31	11.20-11.29 m
						32	11.38-11.46 m
						33	12.39-12.48 m

\* Probe zerfallen

Abb. 0.10 Bohrung TM 2042 – Teil 2.

## Fotodokumentation der Bohrungen

<p>Geotechnisches Institut                  Telefon 061 365 28 00                  Fax 061 365 23 79                  info.bw@geo-online.com                  www.geo-online.com</p>	<p>Bohrung Tm 845<sup>os</sup> (SB I)</p>	<p>Beilage</p>
<p>Objekt: Sissach, Chienbergtunnel                  Höhe in m ü.M.: ca. 358,13                  Koordinaten:                  Aufnahme: Hr. M. Meyer</p>	<p>M = 1:50                  Unternehmung: Stump ForATec AG                  Bohrmeister:                  Datum: 11.6.06</p>	



Abb. 0.11 Bohrung TM 845.

Geotechnisches Institut Telefon 061 365 28 00 Fax 061 365 23 79 info@gee-online.com www.gee-online.com	Hochschule 48 Postfach 4002 Basel	<b>Bohrung Tm 935<sub>06</sub> (SB 3)</b>		Beilage
		<b>M = 1:50</b>		
GLN: 151.1104.010    Objekt: <b>Sissach, Chienbergtunnel</b>		Unternehmung: Stump ForATec AG Bohrmeister: 15.6.06 Datum:		
Höhe in m ü.M.: ca. 357.10 Koordinaten: Aufnahme: Hr. M. Meyer				

Abb. 0.12 Bohrung TM 935.

Geotechnisches Institut Telefon 061 365 28 00 Fax 061 365 23 79 info.br@geo-online.com www.geo-online.com Hochstrasse 48 Postfach 4002 Basel		Bohrung Tm 1194.5 <sub>06</sub> (SB 2)		Beilage
GI-Nr.: 151.1104.010		Objekt: Sissach, Chienbergtunnel		M = 1:50
Höhe in m ü.M.: 362.31		Unternehmung: Stump ForATec AG		
Koordinaten:		Bohrmeister:		
Aufnahme: Hr. M. Meyer		Datum: 11.6.06		



Abb. 0.13 Bohrung TM 1194.5.



Abb. 0.14 Bohrung TM 2040.



Abb. 0.15 Bohrung TM 2042.

## Literaturverzeichnis

Amstad, Ch., & Kovári, K. (2001): *Untertagbau in quellfähigem Fels*. ETHZ Forschungsauftrag 52/94 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA).

Anagnostou, G. (2007): *Zur Problematik des Tunnelbaus in quellfähigem Gebirge*. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, 154, 1-10.

Hofer, R., Chiaverio, F. & Kovári, K. (2007): *Chienbergtunnel Sissach – Tunnelhebung infolge Quellen*. Proc. Swiss Tunnel Congress 2007, Luzern, D 0222, Band 6, 95-100.

Ingenieurgesellschaft Aegerter & Bosshardt AG / Gruner AG (2006): *Chienbergtunnel Überwachung – Statusbericht Teil 1*, Stand März 2006, erstatt an das Tiefbauamt, Bau- und Umweltschutzdirektion Kanton Basel-Landschaft.

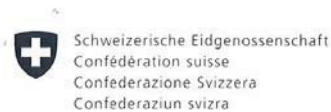
ISRM (1989): *Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks*. Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech., Vol. 26, No. 5, 414-426.

Pimentel, E. (2007): *Quellverhalten von Gesteinen – Erkenntnisse aus Laboruntersuchungen*. Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, 154, 11-20.





# Projektabschluss



Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am:

#### Grunddaten

Projekt-Nr.:

Projekttitel:

Enddatum:

#### Projektleiter

Name:  Vorname:

Amt, Firma, Institut:

Strasse, Nr.:

PLZ:  Email:

Ort:  Telefon:

Kanton, Land:  Fax:



#### Texte:

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Zielerreichung:

Folgerungen und Empfehlungen:

Publikationen:

**Beurteilung der Begleitkommission:**

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:

Die Entwicklung einer Methodik zur Prüfkörpervorbereitung und der Bau einer Prüfeinrichtung, welche die kontrollierte und lang andauernde Prüfung von quellfähigen Gesteinen erlauben werden, konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Seit dem Einbau der Proben ist erst eine geringe Zeit verstrichen, weshalb über das Langzeitverhalten noch nichts ausgesagt werden kann. Die bisherigen Erkenntnisse sind aber positiv.

Umsetzung:

Die Umsetzung erfolgte gemäss dem Projektplan und war erfolgreich.



weitergehender  
Forschungsbedarf:

Der Forschungsbedarf liegt nun bei der Anwendung der entwickelten Prüfeinrichtung.

Einfluss auf  
Normenwerk:

Zur Zeit ist kein Einfluss absehbar.

**Präsident Begleitkommission:**

Name:

Amberg

Vorname:

Felix

Amt, Firma, Institut:

Amberg Engineering AG

Strasse, Nr.:

Rheinstrasse 4

PLZ:

7320

Email:

amberg@amberg.ch

Ort:

Sargans

Telefon:

041 81 725 31 13

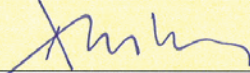
Kanton, Land:

St Gallen

Fax:

041 81 725 31 02

**Unterschrift Präsident Begleitkommission:**

17.9.2020 

## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Jahr
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten <i>Appréciation et critères d'acceptation des risques dus aux actions extraordinaires pour les ouvrages d'art</i> <i>Assessment of residual risks and acceptance criteria for accidental loading for infrastructural facilities</i>	2009
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung <i>Bases d'une méthode pour une appréciation comparative des risques</i> <i>Methodological basis for comparative risk assessment</i>	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen <i>Efficacité et efficience des interventions</i> <i>Effectiveness and efficiency of interventions</i>	2009
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten <i>Sécurité structurale des ouvrages d'art existants</i> <i>Structural safety of existing highway structures</i>	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten <i>Efficacité et efficience des interventions sur les ouvrages d'art</i> <i>Effectiveness and efficiency of interventions on highway structures</i>	2009
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten <i>Sécurité sur les chantiers d'ouvrages d'art</i> <i>Safety on constructions sites off highway structures</i>	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers <i>Bemessung und Nachweis der Fahrbahnplatten von Strassenbrücken</i> <i>Design and verification of bridge deck slabs for highway bridges</i>	2009
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar <i>Georadar zur Auffindung von Chloriden</i> <i>Detection of chlorides using ground penetrating radar</i>	2009
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 / Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i> <i>Durable components in bituminous layers</i>	2009
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz <i>Bases pour eCall en Suisse</i> <i>Technical and organisational basis for eCall in Switzerland</i>	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen <i>Bases de dimensionnement pour le renforcement par géosynthétiques</i> <i>Design of reinforcement with geosynthetics</i>	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion: Résultats et analyse de l'enquête en Suisse <i>Stau auf Strassen: Resultate und Analysen von Untersuchungen in der Schweiz</i> <i>Acceptance of road pricing: results and analysis of surveys carried out in Switzerland</i>	2009
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests <i>Amélioration des informations fournies par l'essai d'orniérage LCPC</i> <i>Improving information on materials behaviour obtained from the LCPC wheel tracking test</i>	2009

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert <i>Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage</i> <i>Influences and interactions of the surface quality and the bearing capaci- ty on the intrinsic value and the user value</i>	2009
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen <i>Exigences à l'équipement routier pour l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence</i> <i>Requirements for road side equipment by hard shoulder usage</i>	2009
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen <i>Facteurs d'influence sur la résistance au feu de structures en béton</i> <i>Influences on the fire resistance of concrete structures</i>	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE) <i>Trafic net des installations générant un trafic important (IGT)</i> <i>Net traffic induction of installations producing high traffic volumes (VE)</i>	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltra- tions sur les talus" – vérification in situ et optimisation <i>Retention der Schadstoffe des Strassenabwassers durch das "über die Schulter Versickerungs-System" – in situ Verifikation und Optimierung</i> <i>Road runoff pollutant retention by infiltration through the roadside slopes – in situ verification and optimization</i>	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in situ des sols <i>Vorfabrizierte, vertikale, thermische Entwässerungsleitungen für die in situ Konsolidierung von Böden</i> <i>Prefabricated thermal vertical drains for in situ consolidation of soils</i>	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit <i>Nouvelles méthodes pour reconnaître et faire respecter la vitesse maxi- male autorisée</i> <i>New methods to identify and enforce the authorized speed limit</i>	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Ver- kehrsüberwachung <i>Exigences de qualité posées au traitement vidéo numérique pour la surveillance du trafic routier</i> <i>Quality requirements for digital video-analysis in traffic surveillance</i>	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen – Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen <i>L'influence de l'aménagement de l'espace de la route sur le trafic</i> <i>La résistance de passage du trafic comme instrument de travail pour la conception urbaine de zone routière</i>	2009
1258	VSS 2005/802	Kaphaltstellen – Anforderungen und Auswirkungen <i>Arrêt en cap – exigences et effets</i> <i>Cape stops – requirements and impacts</i>	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserfüh- renden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der messdaten des Lötschberg Basistunnels <i>Test de la méthode "Prédiction indirecte de zones de venue d'eau au moyen de données thermiques" à l'aide des données du tunnel de base du Lötschberg</i> <i>Test of the method "Indirect prediction ahead of water bearing zones with temperatures data" with the measured data from the Lötschberg Base Tunnel</i>	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für be- schleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen <i>Etude de pilote pour l'évaluation d'une machine mobile à vrai grandeur qui permet de simuler le trafic sur les routes dans une manière accélérée</i> <i>Pilot-study for the evaluation of a mobile full-scale accelerated pavement testing equipment</i>	2009

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Jahr
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche <i>Caractéristiques de bruit de couches de roulement en comparaison avec des couches d'asphalte coulé (Gussasphalt) avec surface construite</i> <i>Comparison of noise characteristics of wearing courses with mastic asphalt (Gussasphalt) with designed surface</i>	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung <i>Politique de transport: la prise de décision dans la planification des transports</i> <i>Transport-policy decision-making in transport planning</i>	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung) <i>Relation entre les propriétés diélectriques des revêtements routiers et leur condition</i> <i>A relationship between the dielectric properties of asphalt pavements and the present condition of the road</i>	2009
1267	VSS 2007/902	Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik <i>Utilisation des standards d'échange de données basés modélisation pour la télématique des transports routiers à l'exemple des données de trafic</i> <i>Use of modal driven data transfer standards in the road transport telematic exemplified by traffic data</i>	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebpartikeln des Strassenverkehrs (APART) <i>PM10 emission factors of abrasion particles from road traffic</i> <i>Facteurs d'émission des particules d'abrasion dues au trafic routiers</i>	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen <i>Evaluation of road restraint systems in central reserves of motorways</i> <i>Évaluation de dispositifs de retenue de véhicule sur le terre-plein central des autoroutes</i>	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse – Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung <i>Interaction route – stabilité des versants: Monitoring et calcul à rebours</i> <i>Road-landslide interactions: Monitoring and inverse stability analysis</i>	2009
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen <i>Entretien des écrans antibruit</i> <i>Maintenance of noise reducing devices</i>	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung <i>Applications des modèles simulations dans le domaine de planification en transport marchandises</i> <i>Application of simulation tools in freight traffic and transport planning</i>	2009
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic urban origin – destination matrix – estimation methodology <i>Méthodologie pour l'estimation de matrices origine-destination dynamiques en réseau urbain</i> <i>Methode zur Ermittlung dynamischer Quell-Ziel-Matrizen für städtische Netzwerke</i>	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit – verkehrstechnischer Teilbericht <i>Influence des systèmes d'information embarqués sur le comportement de conduite et la sécurité routière – rapport partiel d'ingénierie de la circulation</i> <i>Influence of In-Vehicle Information Systems on driver behaviour and road safety – report part of traffic engineering</i>	2009
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel <i>Capacité des giratoires à deux voies de circulation</i> <i>Capacity of two-lane roundabouts</i>	2009

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Jahr
1285	VSS 2002/202	In situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen <i>Mesures in situ des propriétés acoustiques des écrans antibruit</i> <i>In situ measurement of the acoustical properties of noise barriers</i>	2009
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren <i>Procédure analytique d'estimation de la capacité et du niveau de service de carrefours sans feux complexes</i> <i>Analytic procedure to estimate capacity and level of service at complex uncontrolled intersections</i>	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos <i>Estimation du risque pour le réseau</i> <i>Estimation of the network risk</i>	2010
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten <i>Appréciation des risques pour les ouvrages d'art</i> <i>Risk assessment for highway structures</i>	2010
945	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat <i>Bases pour l'utilisation du béton de recyclage en granulats de béton</i> <i>Fundamentals for the use of recycled concrete comprised of concrete material</i>	2010
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme – behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen <i>Aménagement des feux de signalisation pour les personnes à mobilité réduite ou âgées</i> <i>Traffic control systems – handicapped and older people at signalized intersections</i>	2010
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr – Vorstudie <i>Niveaux de service multimodales de la circulation routière – études préliminaires</i> <i>Multimodal level of service of road traffic – preliminary study</i>	2010
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen <i>Coûts supplémentaires engendrés par l'exécution anticipée ou retardée des mesures d'entretien</i> <i>Additional costs caused by bringing forward or delaying of standard interventions for road maintenance</i>	2010