



## MASTER THESIS

# Digital quality management for conducting quality checks of injection grouts

submitted in satisfaction of the requirement of the degree of  
Diplom-Ingenieur  
of the Vienna University of Technology of Civil Engineering

---

## DIPLOMARBEIT

# Digitales Qualitätsmanagement für die Durchführung von Güteprüfungen bei Injektionsmitteln

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Benjamin HASLEHNER**, BSc

Matrikelnummer: 1027019

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald GÖGER**

Dipl.-Ing. **Leopold WINKLER**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

Forschungsbereich Baubetrieb

Technische Universität Wien

Karlsplatz 13/234-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Oktober 2017

.....  
(Benjamin Haslehner)

---

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit und während meines Studiums begleitet und unterstützt haben.

Mein Dank gilt dabei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, der es mir ermöglicht hat meine Diplomarbeit am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement zu verfassen. Weiters möchte ich mich bei meinem Betreuer Dipl.-Ing. Leopold Winkler für seine hervorragende Unterstützung bedanken.

Weiterer Dank gilt Dipl.-Ing. Adrian Kainrath für seine Unterstützung. Ich möchte mich darüber hinaus bei Ing. Andreas Hausenberger und Proj.MA. Mohammad Mahjoub vom Erdbaulabor des Instituts für Geotechnik bedanken. Auch Dipl.-Ing. Helmut Wannbacher und allen Mitarbeitern bei der Firma eguana GmbH sei für Ihre Unterstützung gedankt.

Ganz besonderer Dank gebührt meinen beiden Mitbewohnern Rene Dünkner und Gerold Dürnle, die mir während der Erstellung dieser Diplomarbeit und während meines Studiums stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Freunden und Studienkollegen Stephan Berger, Peter Pamminer, Kathrina Rieger und Mathias Schmidt für die gemeinsame Zeit und die Unterstützung bedanken. Allen meinen anderen Freunden abseits des Studiums sei hiermit gedankt.

Meine größte Dankbarkeit gilt meiner Familie, meinen Eltern und meinen Brüdern, ohne die mein Studium nicht möglich gewesen wäre und die mich immer nach besten Kräften unterstützt haben.

---

## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Qualitätsmanagement bei der Dokumentation von Injektionsarbeiten. Ziel ist es die Grundlage für ein geschlossenes digitales Qualitätsmanagement von der Grundsatzprüfung bis zur Güteprüfung zu erstellen. Es soll dadurch erreicht werden, dass alle relevanten Daten, für die Durchführung von Injektionsarbeiten und für deren Qualitätsmanagement, in einer einheitlichen und für alle Projektbeteiligten einsehbaren Datenbank erfasst werden.

Das digitale Baustellenmanagement soll dazu dienen die auf der Baustelle gesammelten Qualitäts- und Leistungsdaten erfassen und verwalten zu können. Durch die Auswertung dieser Daten soll die konstante Qualität und die Sicherheit während der Durchführung von Baumaßnahmen gesichert und dokumentiert werden.

Im ersten Teil der Arbeit werden die verschiedenen in der Praxis zur Anwendung kommenden Injektionsverfahren und Injektionsmittel erläutert. Anschließend werden die verschiedenen Prüfungsarten gemäß ÖNORM B 4454 und die gängigsten Prüfverfahren beschrieben.

Im Hauptteil dieser Arbeit wird eine Materialdatenbank für die Erfassung von zementbasierten und chemischen Injektionsmitteln vorgestellt. Sie enthält die Materialien, aus denen die Injektionsmittel bestehen und deren Zusammensetzung, für die einzelnen Injektionsmittel. Die Materialdatenbank dient auch der Abrechnung. Darauf aufbauend werden Erweiterungsmöglichkeiten für diese Materialdatenbank, wie z.B. die Erfassung der Ergebnisse der Grundsatzprüfung, aufgezeigt. Dabei wird auch die Möglichkeit gegeben Toleranzen und ein Prüfintervall für die Güteprüfungen zu wählen.

Als nächstes werden Prüfanweisungen für die Durchführung der Güteprüfung im Baustellenlabor dargestellt. Es wurde dabei für jedes der gängigsten Prüfverfahren eine eigene Anweisung erstellt. Diese Prüfanweisungen sollen als Grundlage für ein standardisiertes Qualitätsmanagement dienen.

Abschließend wird eine Eingabemaske für ein digitales Qualitätsmanagement für die Güteprüfung von zementbasierten und chemischen Injektionsmittel erstellt. In diese Eingabemaske werden die durchgeführten Versuchsergebnisse auf Basis der zuvor erstellten Prüfanweisungen eingetragen. Diese Ergebnisse werden dann mit den Ergebnissen der Grundsatzprüfung in der Materialdatenbank verglichen. Unter Berücksichtigung der zulässigen Toleranzen kann somit festgestellt werden, ob das injizierte Material die Anforderungen erfüllt.

---

## Abstract

This thesis deals with quality management in the documentation of injection procedures. The aim is to create the basis for a closed digital quality management from the principle check to the quality check. It is to be achieved in that all relevant data, for carrying out injection work and for their quality management, are recorded in a uniform database which can be viewed by all project participants.

Digital construction site management is designed to capture and manage the quality and performance data collected at the construction site. By evaluating these data, the constant quality and safety is to be ensured and documented during construction work.

In the first part of the thesis, the various injection methods and injection grouts used in practice will be explained. The various types of tests according to ÖNORM B 4454 and the most common test methods are then described.

In the main part of this thesis, a material database for the recording of cement-based and chemical injection grouts is presented. It contains the materials that make up the injection and the composition of the individual injection products. The material database is also used for accounting purposes. Further expansion possibilities for this material database, e.g. the recording of the results of the principle test, will be shown. At the same time the possibility of selecting tolerances and a test interval for the quality tests will be given.

Next, test instructions for the performance of the quality inspection in the construction site laboratory are displayed. A separate instruction has been created for each of the most common test methods. These test instructions are intended as a basis for a standardized quality management.

Finally, an input mask for a digital quality management is prepared for the quality check of cement-based and chemical injection grouts. The results of the tests carried out using the previously established test instructions are entered into this input mask. These results are then compared with the results of the principle check in the material database. In consideration of the permissible tolerances, it can thus be determined whether the injected material meets the requirements.

*"They say a little knowledge is a dangerous thing, but it is not half as bad as a lot of ignorance" <sup>1</sup>*

*"Don't Panic" <sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup>Terry Pratchett

<sup>2</sup>Douglas Adams

---

## Begriffe und Definitionen

**Bentonit:** Ton, der hauptsächlich aus Mineralien der Montmorillonit-Gruppe besteht. Verfügt über eine sehr hohe Wasseraufnahmefähigkeit (mehr als 500 %) und erfährt eine sehr große Volumenänderung bei Sättigung oder Austrocknen. Es wird unterschieden zwischen natürlichen, natrium- oder kalziumhaltigen, modifizierten und aktivierten Bentoniten [28].

**Fließgrenze:** Besitzt eine Flüssigkeit eine Fließgrenze, geht diese erst in den Fließzustand über wenn eine Mindestschubspannung  $\tau_0$  überschritten wird. Diese Mindestschubspannung wird als Fließgrenze bezeichnet [25].

**Gel:** Jener Zustand, in dem flüssige Injektionsmittel anfangen eine messbare Scherfestigkeit zu zeigen. Die dispergierten Substanzen bilden ein kontinuierliches, kohäsives, verzweigtes Netz. Es kann einen Flüssigkeitsanteil enthalten, besitzt aber auch Eigenschaften eines Feststoffes [28].

**Hohlraum:** Siehe Trennfläche.

**Kluft:** Siehe Trennfläche.

**Mischbehälter:** Behälter in dem das Injektionsmittel gemischt wird.

**Porosität:** Das im Allgemeinen in Prozent angegebene Verhältnis des Volumens der Poren von Lockerböden oder Fels zum Gesamtvolumen [28].

**Rheologische Eigenschaften:** Jene Eigenschaften, welche das Fließen von Flüssigkeiten oder plastischen Feststoffen bestimmen [28].

**Rückstellprobe:** Probe, die zum Zweck einer späteren Prüfungsdurchführung hergestellt wird. Üblicherweise für die Durchführung von einaxialen Druckversuchen.

**Suspension:** Mischung von flüssigen und festen Stoffen. Sie besitzen sowohl Viskosität als auch Kohäsion, ihr Fließverhalten entspricht dem einer Bingham-Flüssigkeit [28].

**Synärese:** Abgabe von Flüssigkeit aus dem unbelasteten, abgebundenen Gel, die über den Zeitraum einiger Monate auftritt. Wird von einem Schrumpfen des Gelkörpers begleitet [28].

**Trennfläche:** Im Allgemeinen vollständige flächig ausgedehnte Unterbrechung des mechanischen Zusammenhalts im Gestein. Können sedimentären, tektonischen oder anderen mechanischen Ursprungs sein [25].

---

**Viskosität:** Innerer Widerstand eines Fluids, der einer Substanz gegenüber der Neigung zum Fließen Widerstand verleiht. Eine größere Viskosität bedeutet dabei, dass das Fluid dickflüssiger, daher weniger fließfähig ist. Ein niedrigere Viskosität, dass das Fluid dünnflüssiger und damit fließfähiger ist [28].

**Vorratsbehälter:** Behälter in dem das Injektionsmittel nach dem Mischen bis zum Injizieren zwischengelagert wird.

**Wasserbindemittelwert (W/B-Wert):** Beschreibt das Massenverhältnis von Wasser zu Bindemittel in einer Mischung [25].

**Wasserzementwert (W/Z-Wert):** Beschreibt das Massenverhältnis von Wasser zu Zement in einer Mischung [25].

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Forschungsfragen . . . . .	1
1.3	Methodik . . . . .	2
1.4	Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Injektionsverfahren</b>	<b>4</b>
2.1	Allgemeines . . . . .	4
2.2	Injektion ohne Baugrundverdrängung . . . . .	6
2.2.1	Poren- oder Durchdringungsinjektionen . . . . .	6
2.2.2	Kluft- und Kontaktinjektion . . . . .	6
2.2.3	Hohlraumverfüllung . . . . .	6
2.3	Injektion mit Baugrundverdrängung . . . . .	7
2.3.1	Verdrängungs- bzw. Verdichtungsinjektion . . . . .	7
2.3.2	Aufbrech- bzw. Hebungsinjektion . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Injektionsmittel</b>	<b>9</b>
3.1	Allgemein . . . . .	9
3.2	Zementsuspensionen . . . . .	11
3.3	Silikatgele . . . . .	11
3.4	Andere chemische Injektionsmittel . . . . .	12
3.4.1	Polyacrylate . . . . .	12
3.4.2	Kunstharze . . . . .	12
3.4.3	Schaumstoffe . . . . .	13
3.4.4	Bitumenemulsionen . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Prüfungsarten</b>	<b>14</b>
4.1	Grundsatzprüfung . . . . .	14
4.2	Eignungsprüfung . . . . .	15
4.3	Güteprüfung (Konformitätsprüfung) . . . . .	16



<b>5</b>	<b>Prüfverfahren für Injektionsmittel</b>	<b>17</b>
5.1	Zementbasierte Injektionsmittel . . . . .	18
5.1.1	Suspensionsdichte . . . . .	18
5.1.2	Sedimentationsstabilität . . . . .	20
5.1.3	Filtrationsstabilität . . . . .	20
5.1.4	Stabilität gegenüber Auswaschen . . . . .	21
5.1.5	Viskosität . . . . .	21
5.1.6	Marshzeit . . . . .	22
5.1.7	Fließgrenze . . . . .	23
5.1.8	Erstarrungsbeginn . . . . .	25
5.1.9	Früh- und Endfestigkeit . . . . .	27
5.2	Chemische Injektionsmittel . . . . .	28
5.2.1	Dichte . . . . .	28
5.2.2	Volumenbeständigkeit (Synäreswasser) . . . . .	29
5.2.3	Viskosität . . . . .	29
5.2.4	Gelzeit, Kippzeit . . . . .	30
5.2.5	Scherfestigkeit . . . . .	31
5.2.6	Früh- und Endfestigkeit . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Stand der Technik im Qualitätsmanagement</b>	<b>33</b>
6.1	Aktuelle Vorgehensweise im Qualitätsmanagement . . . . .	33
6.2	Innovationen zum Stand der Technik . . . . .	36
<b>7</b>	<b>Materialdatenbank</b>	<b>37</b>
7.1	Allgemeines . . . . .	37
7.2	Zementbasierte Injektionsmittel . . . . .	38
7.3	Chemische Injektionsmittel . . . . .	40
7.4	Berechnung der Dichte durch die Materialdatenbank . . . . .	41
7.5	Erweiterungsmöglichkeiten für die Materialdatenbank . . . . .	42
7.5.1	Zementbasierte Injektionsmittel . . . . .	43
7.5.2	Chemische Injektionsmittel . . . . .	47
<b>8</b>	<b>Prüfanweisung für die Baustellenprüfung</b>	<b>49</b>
8.1	Allgemeines . . . . .	49
8.2	Prüfanweisungen für zementbasierte Injektionen . . . . .	50
8.2.1	Dichte . . . . .	51
8.2.2	Marshzeit . . . . .	52
8.2.3	Absetzmaß . . . . .	53

8.2.4	Filtratwasser . . . . .	54
8.2.5	Viskosimeter - Bestimmung der Fließgrenze und der plastischen Viskosität . . . . .	56
8.2.6	Rückstellproben für die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit .	58
8.3	Prüfanweisungen für chemische Injektionen . . . . .	60
8.3.1	Dichte . . . . .	61
8.3.2	Kippzeit . . . . .	62
8.3.3	Synäresewasser . . . . .	63
8.3.4	Viskosimeter - Bestimmung der plastischen Viskosität . . . . .	64
<b>9</b>	<b>Eingabemaske für digitales Qualitätsmanagement</b>	<b>66</b>
9.1	Allgemein . . . . .	66
9.2	Zementbasierte Injektionsmittel . . . . .	67
9.3	Chemische Injektionsmittel . . . . .	72
<b>10</b>	<b>Fazit</b>	<b>76</b>
10.1	Beantwortung der Frage 1 . . . . .	76
10.2	Beantwortung der Frage 2 . . . . .	77
10.3	Beantwortung der Frage 3 . . . . .	77
10.4	Zusammenfassung . . . . .	78
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>83</b>
<b>12</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>100</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Grundlage für ein digitales Qualitätsmanagement für die Dokumentation von Injektionsarbeiten zu schaffen. Es spannt sich dabei von der Erfassung der Ergebnisse der Grundsatzprüfung über die Durchführung der Versuche der Güteprüfung und der Erfassung von deren Ergebnissen, bis zum Vergleich der Ergebnisse der beiden Prüfungen miteinander. Dadurch sollen alle relevanten Daten digital erfasst und allen Projektbeteiligten zugänglich gemacht werden. Es soll die Möglichkeit geschaffen werden, die Ergebnisse der Grundsatzprüfung mit jenen der Güteprüfung vergleichen zu können. Durch die zeitliche und räumliche Zuordnung der Güteprüfung soll so die Fähigkeit geschaffen werden bei Abweichungen der Güteprüfung von der Grundsatzprüfung mögliche Schadstellen, auch nach Abschluss der Injektionsarbeiten, erkennen zu können. Des Weiteren sollen Arbeitsanweisungen für die Durchführung der Güteprüfung erstellt werden. Dadurch soll die korrekte Durchführung dieser Versuche durch gewerbliches Personal ermöglicht werden.

## 1.2 Forschungsfragen

- **Frage 1:** Wie können die Ergebnisse der Grundsatzprüfung von Injektionsmitteln im Rahmen eines digitalen Qualitätsmanagement in einer Materialdatenbank erfasst werden?
- **Frage 2:** Wie können die Ergebnisse der Güteprüfung von Injektionsmitteln im Rahmen eines digitalen Qualitätsmanagements erfasst und mit den Herstellparametern verknüpft werden?
- **Frage 3:** Wie können die Ergebnisse der Güteprüfung mit jenen der Grundsatzprüfung in Bezug gesetzt werden um feststellen zu können, ob das injizierte Material den Anforderungen entspricht?

## 1.3 Methodik

Für die Ausarbeitung des allgemeinen Teils dieser Arbeit, in dem die Injektionsverfahren, die Injektionsmittel, die Prüfverfahren sowie die Prüfungsarten erläutert werden, wurde eine Recherche der facheinschlägigen Literatur durchgeführt. Für die Erstellung der Eingabemas-ken für die Datenbank wurden Gespräche mit den Programmierern der Firma **eguana GmbH** in denen der Aufbau und die Funktionsweise ihrer bestehenden Materialdatenbank erklärt und mögliche zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten diskutiert wurden. Für die Erstellung der Prüfanweisungen wurden Gespräche mit erfahrenen Laboranten im Bereich der Durch-führung von Prüfungen an Injektionsmitteln geführt und gemeinsame Durchführungen der verschiedenen Prüfverfahren im **Erdbaulabor der TU Wien des Institut für Geotechnik** vor-genommen. Aus den Inhaltsanalysen und den Anforderungen der Fachexperten sowie den praktischen Ausführungen, konnte ein standardisierter Ablauf für ein digitales Qualitätsma-nagement erarbeitet werden.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn dieser Arbeit wird ein Überblick über die gängigsten Injektionsverfahren, die in der Praxis angewendet werden, dargestellt. Es wird dabei zwischen Verfahren ohne Baugrund-verdrängung und Verfahren mit Baugrundverdrängung unterschieden. Im Anschluss werden die verschiedenen (in der Praxis zur Anwendung kommenden) Injektionsmittel erläutert. Es werden deren Zusammensetzung und Anwendungsbereiche aufgezeigt. Die gängigsten In-jektionsmittel sind dabei Zementsuspensionen und Silikatgele. Nach der Erläuterung der Injektionsverfahren und Injektionsmittel werden die verschiedenen Arten der Prüfung ge-mäß **ÖNORM B 4454 - "Erd- und Grundbau, Injektionen in Fest- und Lockergestein, Prüfungen"** aufgezeigt. Anschließend daran werden die gängigsten Prüfverfahren für die Prüfung von zementbasierten und chemischen Injektionsmittel dargestellt.

Im Hauptteil dieser Arbeit wird die Materialdatenbank der Firma **eguana GmbH** erläutert. Es wird dabei zwischen der Eingabe von zementbasierten Injektionsmitteln und chemischen Injektionsmitteln unterschieden. Es werden Möglichkeiten für die Erweiterung dieser Daten-bank aufgezeigt. Eine davon stellt die Eingabemöglichkeit der Ergebnisse der Eignungsprü-fungen dar. Im Anschluss werden Prüfanweisungen für die Durchführung der Versuche im Rahmen der Güteprüfungen vorgestellt. Dabei wurde für jedes Prüfverfahren, getrennt nach zementbasierten Injektionsmitteln und chemischen Injektionsmitteln, eine eigene Anweisung erstellt.

Anschließend wird eine Eingabemaske für ein digitales Qualitätsmanagement für die Güteprüfung erstellt. In diese Eingabemaske werden die Ergebnisse der Güteprüfung eingetragen. Die Ergebnisse können dann unter Berücksichtigung der Toleranzen mit jenen Werten der Grundsatzprüfung verglichen werden. Es kann somit festgestellt werden, ob das injizierte Material den Anforderungen entspricht.

Zum Abschluss werden die drei Eingangs gestellten Forschungsfragen beantwortet und es wird der Datenfluss innerhalb der Datenbank zusammengefasst und schematisch dargestellt.

# 2 Injektionsverfahren

## 2.1 Allgemeines

Unter Injektionen versteht man das Verpressen von pumpfähigen, abbindenden Flüssigkeiten wie z.B. Zementsuspensionen in den Untergrund. Das Verpressen erfolgt dabei mittels einer Injektionslanze oder eines Manschettenrohres. Es wird bei der Injektion von Böden unterschieden in Injektionen mit oder ohne Baugrundverdrängung. In Abbildung 2.1 sind die verschiedenen Injektionsverfahren dargestellt [28].

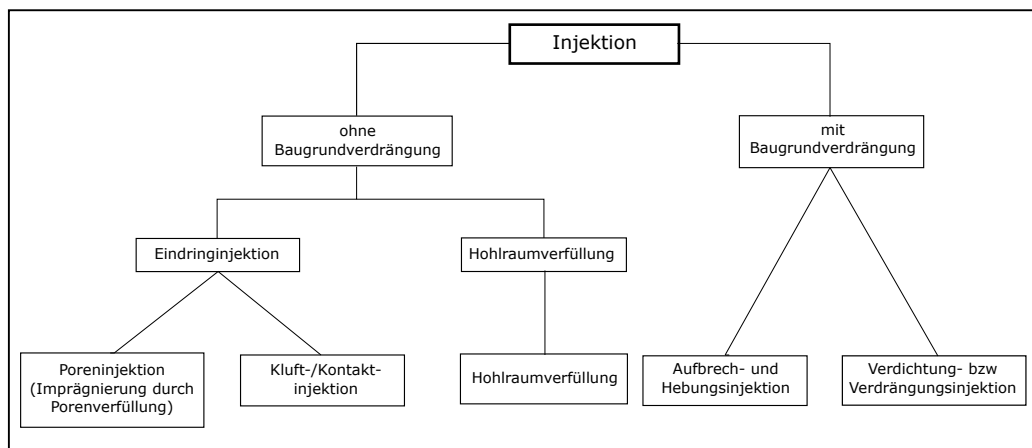


Abbildung 2.1: Injektionsprinzipien und -verfahren (Adaptiert nach EN 12715 [28])

Ziel der Injektion ist es, dass das Injektionsmittel in die Poren (Lockergestein) bzw. die Klüfte (Festgestein) eindringt und diese möglichst vollständig ausfüllt. Eine Ausnahme davon stellen die Aufbruch- bzw. Hebungsinjektion dar. Bei diesen Verfahren wird der Porenraum eines feinkörnigen Bodens nicht verfüllt, sondern durch hohen Druck aufgesprengt. Mit Ausnahme der Aufbruch- bzw. Hebungsinjektion ist das Vorhandensein von Hohlräumen oder Poren bzw. Klüften im Boden eine Voraussetzung für die Durchführung von Injektionsarbeiten. In Abhängigkeit von Bodendurchlässigkeit, der Viskosität des Injektionsguts, der Fördermenge und des Förderdrucks entstehen verschiedene Muster der Eindringung in den Untergrund.

Nach dem Einbringen des Injektionsmittels erhärtet dieses im Untergrund und führt so zu einer dauerhaften Veränderung des Untergrundes [7] [8].

Die Herstellung von Injektionen erfolgt in der Regel in den folgenden Schritten [7]:

1. Herstellen einer verrohrten oder unverrohrten, wasser- oder luftgespülten Bohrung
2. Einfüllen der Sperrflüssigkeit
3. Einbau des Ventilrohres bzw. der Injektionslanze und der Packer
4. Aufsprengen des Sperrmittels und Einbringen des Injektionsgutes in den Untergrund
5. Lösen der Packer und Wiederholung der Schritte 3-5 auf der nächsten Tiefenstufe

In der Regel kommen für die Durchführung von Injektionen Manschettenrohre mit einem Durchmesser von 30 – 60 *mm* (siehe Abbildung 2.2) zum Einsatz. Diese werden in ringförmige Bohrungen mit einem Abstand von ca. 33 – 50 *cm* eingebracht und mittels einer Gummimanschette verschlossen. Um ein Zufallen des Ringraums zwischen Manschettenrohr und Bohrlochwand zu verhindern wird dieser z.B. mit einem Ton-Zement-Gel als Stützkörper ausgefüllt. Dadurch wird verhindert, dass das Injektionsgut entlang des Rohres an die Oberfläche dringt. Innerhalb des Manschettenrohres kann die Injektionslanze verschoben und mittels Packern festgehalten werden. Der Injektionsvorgang kann so auf verschiedenen Tiefenstufen durchgeführt werden [7].

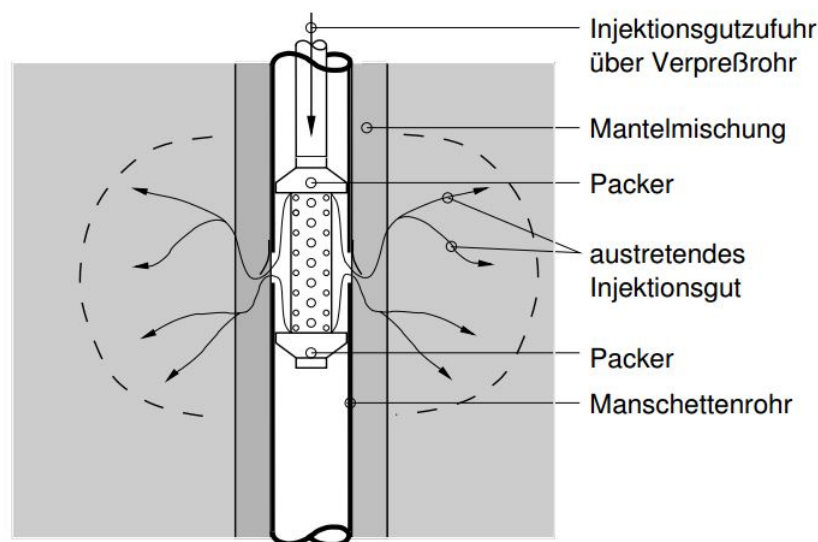


Abbildung 2.2: Manschettenrohr und Doppelpacker [8]

## 2.2 Injektion ohne Baugrundverdrängung

### 2.2.1 Poren- oder Durchdringungsinjektionen

Bei diesem Verfahren kommt es aufgrund des geringen Injektionsdrucks zu keiner nennenswerten Beeinträchtigung des Korngerüsts. Das Injektionsgut breitet sich im Porenraum des Bodens aus. Es verdrängt dabei das in den Poren enthaltene Wasser bzw. in den Poren enthaltene Gase. Dies führt zu einer Verkitzung des Korngerüsts. Dadurch verringert sich die Durchlässigkeit des Bodens und die Festigkeit und Dichte erhöht sich im Allgemeinen [28].

### 2.2.2 Kluft- und Kontaktinjektion

Die Kluft- und Kontaktinjektion kommt im Unterschied zu der Poren- oder Durchdringungsinjektion im Festgestein zur Anwendung. Das Injektionsgut wird in offene Klüfte, Risse und Spalten in den Fels eingebracht, ohne dass diese vergrößert werden oder neue entstehen. Die Durchlässigkeit des Baugrundes verringert sich und die Festigkeit wird erhöht [28].

### 2.2.3 Hohlraumverfüllung

Dient der Verfüllung großer natürlicher (z.B. Karsthöhlen) oder künstlicher (Bergbaustollen) Hohlräume. Das Verpressen erfolgt dabei drucklos oder unter geringem Druck. Es werden große Mengen an Injektionsgut verarbeitet [28].

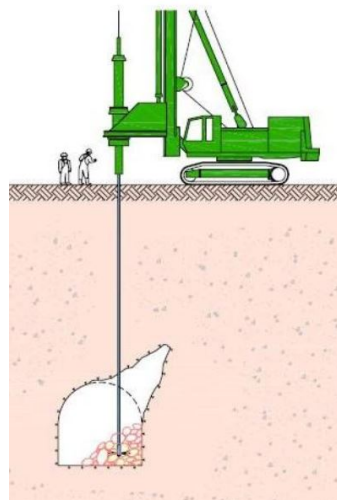


Abbildung 2.3: Hohlraumverfüllung [21]



## 2.3 Injektion mit Baugrundverdrängung

Bei diesen Verfahren wird das Injektionsgut mit ausreichend großem Druck (bis zu 50bar) eingebracht, um den Baugrund aufzubrechen oder räumlich zu verdrängen.

### 2.3.1 Verdrängungs- bzw. Verdichtungsinjektion

Das Einpressen des Injektionsguts erfolgt mit einem Druck von bis zu 50 bar. Es wird im Vergleich zu den anderen Verfahren steifes, sprich viskoses Injektionsgut (z.B. sandreiche Pasten bzw. Mörtel) eingebracht. Dabei dringt das Injektionsgut nicht in den Boden ein, sondern verdrängt diesen, jedoch ohne ihn aufzubrechen. Üblicherweise wird das Injektionsgut über unten offene Injektionsrohre in den Boden eingebracht. Das Injektionsgut verfüllt dabei zuerst den Bohrlochhohlraum und danach wird der Boden aufgrund des sich einstellenden Überdrucks seitlich verdrängt und verdichtet. Die Konsistenz des Injektionsguts sollte so gewählt werde, dass es homogen bleibt und der Baugrund weder durchdrungen noch aufgerissen wird. Das Verfahren ist vor allem für die Verdichtung von sandigen und schluffigen Böden geeignet. Am häufigsten wird das Verfahren angewendet um lockeren Baugrund zu verdichten und um Bauwerke die Setzungen erfahren haben, zu sichern [7] [8] [13] [21].

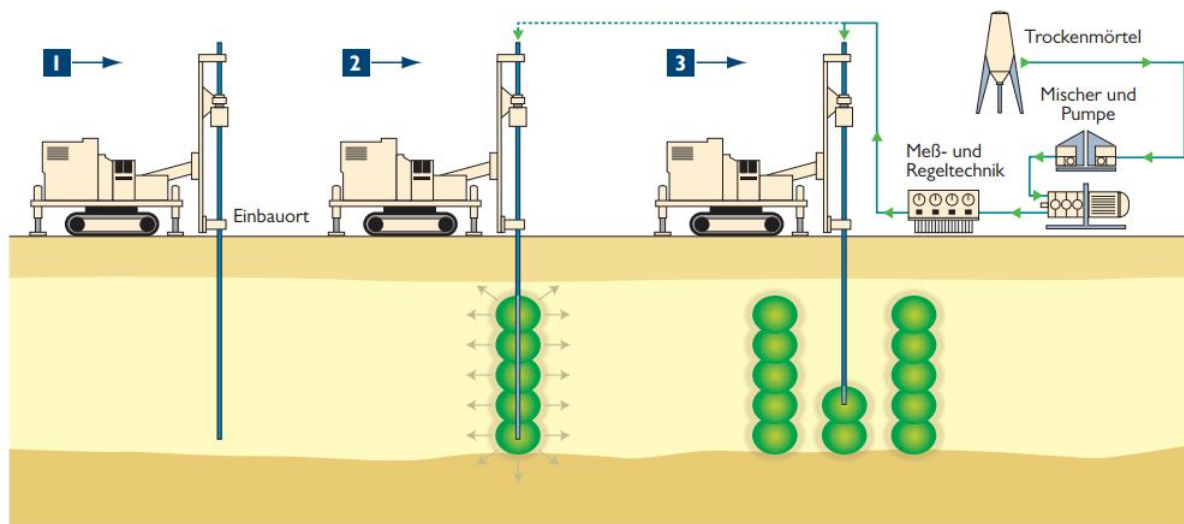


Abbildung 2.4: Verdrängungsinjektion [23]

### 2.3.2 Aufbrech- bzw. Hebungsinjektion

Durch das Einpressen des Injektionsguts kommt es zu einem kontrollierten Aufsprengen der Poren. Die Poren werden dabei zwar aufgeweitet, der Boden wird im Injektionsbereich jedoch nicht vollständig verdrängt. Es bilden sich zufolge des aufgebrauchten Druckes Risse und Spalten, in denen sich Injektionsmittel absetzt. Bei weiterer Erhöhung des Drucks bricht das Injektionsgut den Boden normal zur kleinsten Normalspannung auf. Das Injektionsgut dringt darauf in Form von Lamellen in den Boden ein. Durch das Verfahren kommt es zu einer Konsolidierung bzw. Verdichtung des umliegenden Bodens. Das Verfahren wird verwendet, um den Baugrund (Lockergestein oder Fels) zu stabilisieren oder zu verfestigen und für die Erzeugung einer kontrollierten Hebung von Bauwerken. Des Weiteren kann durch das Verfahren eine Abdichtungswirkung durch die Herstellung von Abschottungen im Baugrund erzielt werden. Das Verfahren eignet sich besonders für feinkörnige, bindige Böden (Tone und Schluffe), in die das Injektionsgut aufgrund des geringen Porendurchmessers nicht mehr eindringen kann [7] [13] [21].

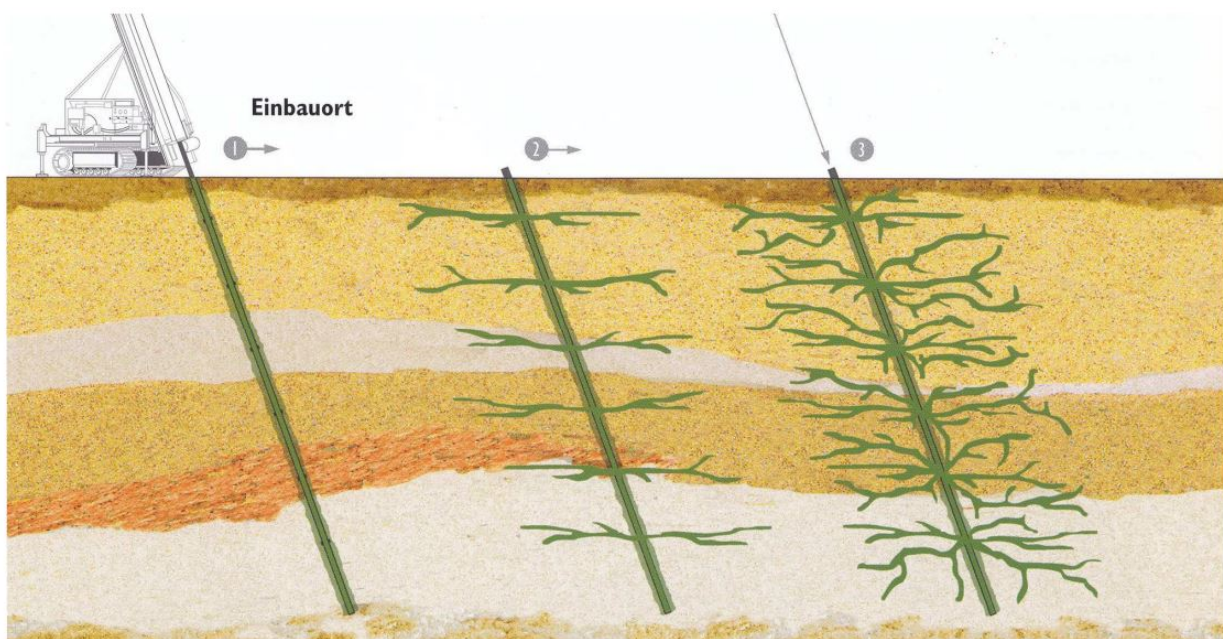


Abbildung 2.5: Hebungsinjektion [23]

# 3 Injektionsmittel

## 3.1 Allgemein

Injektionsmittel sind pumpbare Materialien, die in Porenräume, Klüfte und Hohlräume im Untergrund eingepresst werden oder diese ausfüllen. Ihre rheologischen bzw. physikalischen Eigenschaften ändern sich durch den Übergang von einer flüssigen, pumpfähigen Phase zu einem festen Zustand. In Abhängigkeit des gewählten Injektionsmittels entwickeln diese die gewünschten Eigenschaften für sich allein (z.B. Zementsuspensionen) oder nur gemeinsam mit dem Untergrund (z.B. chemische Injektionsmittel) [4] [6].

Ideale Injektionsmittel verfügen im flüssigen Zustand über ein ausreichendes Fließvermögen, werden nicht ausgewaschen und gehen nach dem Einbringen in den Untergrund in den festen Zustand über. Neben den mechanischen Eigenschaften spielen dabei auch die Haftung am Injektionskörper und die Dauerhaftigkeit eine entscheidende Rolle [6].

Die Wahl eines geeigneten Injektionsmittels hängt neben dessen rheologischen und physikalischen Eigenschaften auch von der Größe der Porenräume bzw. der Klüfte und dem möglichen Vorhandensein von Hohlräumen im Untergrund ab. Die Abbildung 3.1 zeigt den Anwendungsbereich der verschiedenen Injektionsmittel in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften (Korngrößenverteilung, Porenanteil, Durchlässigkeit). So lassen sich zum Beispiel Zementsuspensionen nur in Kiesen und groben Sanden einbringen, während für darunter liegende Kornbereiche chemische Injektionsmittel zum Einsatz kommen. Die Kompatibilität von Boden, Gestein und Grundwasser mit dem Injektionsmittel sowie dessen Umweltverträglichkeit stellen weitere Kriterien für die Anwendbarkeit dar [6] [13].

Im Wesentlichen kommen für Injektionen Zementsuspensionen und Silikatgele zur Anwendung. Darüber hinaus kommen auch noch andere chemische Injektionsmittel wie Harze und Schaumstoffe zum Einsatz. Im Anschluss wird ein Überblick über die verschiedenen zur Anwendung kommenden Injektionsmittel gegeben. Für eine ausführlichere Beschreibung der Injektionsmittel wird hier auf Kutzner [4] verwiesen.

Des weiteren lassen sich Injektionsmittel je nach verwendeten Ausgangsstoffen und Rezepturen unterscheiden in Mörtel und Pasten, Suspensionen, Lösungen und Emulsionen (siehe Tabelle 3.1) [6].

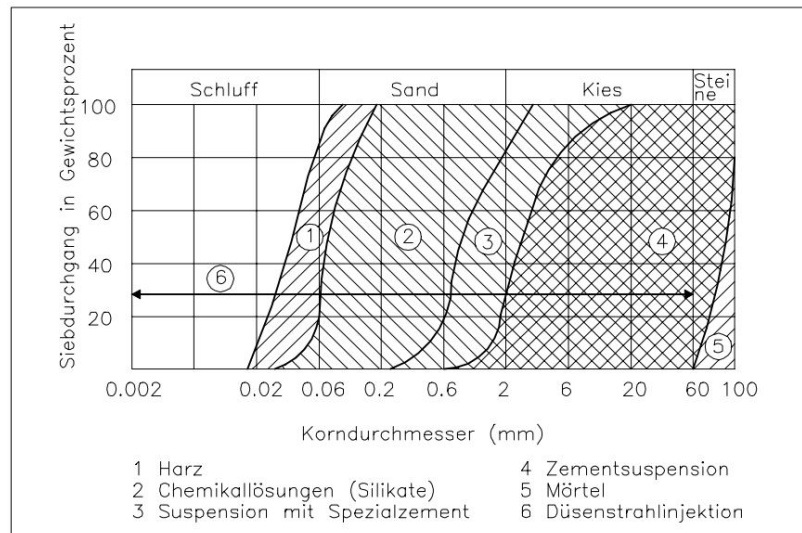


Abbildung 3.1: Anwendungsbereiche von Injektionsmitteln nach Kutzner [4]

Art	Mörtel und Pasten	Suspensionen	Lösungen	Emulsionen
Begriffsbestimmung	Suspensionen mit sehr hohem Feststoffanteil	Feine Verteilung eines nicht gelösten Stoffes in einer Trägerflüssigkeit	Auflösung von festen Stoffen in Lösungsmittel	Fein verteiltes Gemisch zweier Flüssigkeiten, meist mit Stabilisatoren
Zusammensetzung	Mischung aus: Wasser, Zement, Sand, ggf. spezielle Zusätzen, W/Z-Wert i.A. kleiner 1	Mischung aus: Wasser, Zement, Feinstbindemittel, ggf. Bentonit, Flugasche o.ä. Stoffe, W/Z-Wert i.A größer 1	Mischungen aus: Wasser, Wasserglas, Härter, Kunstharze, Kunststoffe	Mischungen aus: Wasser, Bitumen, Emulgatoren, wasserunlösliche Wasserglashärter
Anwendung	Verfüllen von Hohlräumen und Spalten, Injektionsbeton, Verdichtung des Baugrunds	Abdichten und Verfestigen von Kies- und Sandböden, Klüften u. Spalten im Fels	Abdichten und Verfestigen von Sand- und Feinkiesböden	Abdichten von Feinsandböden

Tabelle 3.1: Arten und Anwendung von Injektionsmitteln [6]

## 3.2 Zementsuspensionen

Zementsuspensionen zählen zu den am meisten verwendeten Injektionsmitteln. Sie sind im Vergleich zu chemischen Injektionsmitteln einfach zu verarbeiten und kostengünstig. Die Suspension besteht in der einfachsten Form aus Wasser und Zement mit einem W/Z-Wert zwischen 0,5 und 5. Alle Normalzemente sind grundsätzlich für Einpressungen geeignet, jedoch lassen sich mit Normalzement keine Rissbreiten unter 0,3 mm injizieren. Für kleinere Rissweiten kommen daher Feinstzemente zur Anwendung deren untere Grenze bei 0,1 mm liegt. Um Sedimentation zu verhindern, wird der Suspension Bentonit beigegeben. Dies vermindert die Festigkeit geringfügig, erhöht jedoch die abdichtende Wirkung. Um größere Poren ausfüllen zu können, können Zementsuspensionen auch Füllstoffe wie Sand, Flugasche oder ähnliches zugegeben werden. Dadurch lassen sich auch Böden mit hoher Durchlässigkeit wirtschaftlich abdichten. Für Zementsuspensionen werden die üblichen Zusatzstoffe wie z.B. Abbindebeschleuniger beigegeben. Besteht die Gefahr, dass der Injektionskörper mit Chloriden, Sulfaten oder Braunkohle in Kontakt kommt, ist die Widerstandsfähigkeit des Zements gegenüber diesen zu beachten [6] [8] [13].

## 3.3 Silikatgele

Silikatgele kommen vorwiegend für das Verpressen von Sanden mit geringem Grobschluffanteil (< 10%) zur Anwendung (siehe Bereich 2 in Abbildung 3.1). Sie gehören zu den Lösungen. Ausgangsstoff für Silikatgele ist Wasserglas (Natriumsilikat), welches zur Gelbildung mit einem anorganischen oder organischen Härter gemischt werden muss. Das Gel weist im Endzustand ein "flüssig-festes" Verhalten auf und befinden sich somit zwischen Flüssigkeit und Festkörper. Die Festigkeit von Gelen ist im Vergleich zu Zement gering. Sie verfügen jedoch über die Fähigkeit, dem injizierten Boden eine hohe Festigkeit und geringe Durchlässigkeit zu verleihen. Silikatgele werden in Abhängigkeit des Gehalts an Wasserglas in Hart- und Weichgele eingeteilt. Hartgele werden dabei vorwiegend für Verfestigungsinjektionen, Weichgele für Abdichtungsinjektionen verwendet. Für die Injektion von Silikatgelen wird zwischen dem Zweiphasenverfahren und Einphasenverfahren unterschieden. Im Zweiphasenverfahren wird zuerst konzentriertes Wasserglas (Natrium-Silikat), danach Chlorkalzium als Härter eingepresst, woraufhin es zu einer schlagartigen Abbindereaktion kommt. Beim Einphasenverfahren wird das Wasserglas gemeinsam mit dem Härter injiziert. Das Abbinden läuft unter einer allmählichen Erhöhung der Viskosität ab, beginnt langsam und wird zum Ende hin schneller (siehe Abb. 3.2) [4] [6] [8] [13].

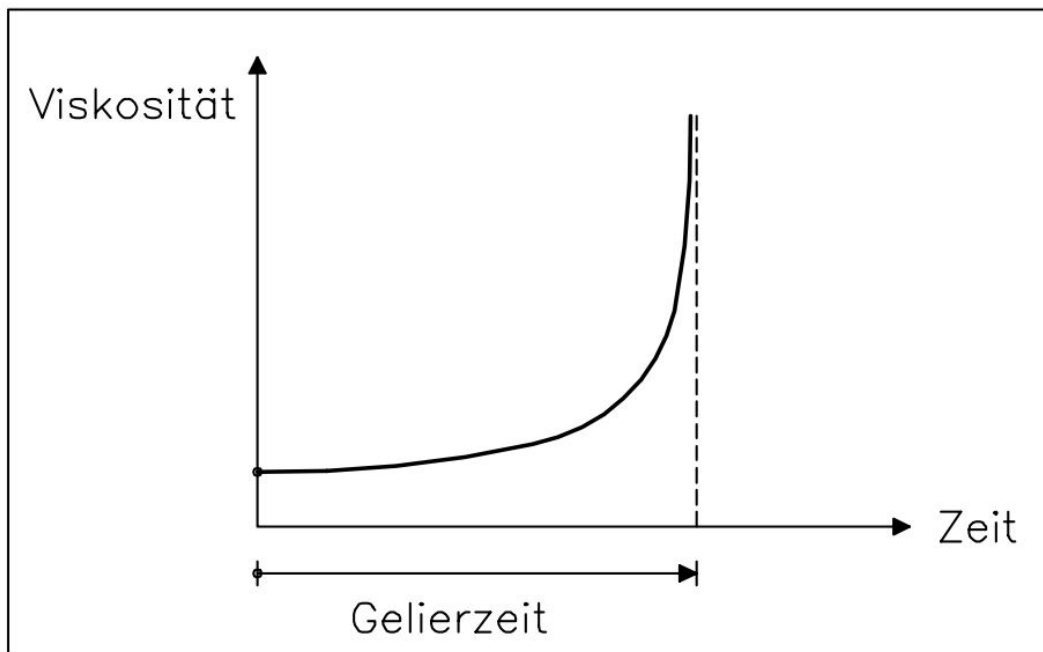


Abbildung 3.2: Viskositätsentwicklung von Silikatlösungen [8]

## 3.4 Andere chemische Injektionsmittel

Zu den anderen chemischen Injektionsmitteln zählen Polyacrylate, Kunstharze, Schaumstoffe und Bitumenemulsionen [8].

### 3.4.1 Polyacrylate

Diese Art von Injektionsmitteln zeichnen sich durch ihre im flüssigen Zustand sehr geringe Viskosität aus. Diese geringe Viskosität bleibt über 20 bis 30 Minuten nahezu konstant und steigt dann schlagartig an. Dadurch kann das Injektionsgut in kohäsionslosen Schluff mit einer Korngröße von 0,01 bis 0,06 *mm* eindringen. Des weiteren kann es gegen fließendes Wasser verwendet werden. Die erreichbare Festigkeit stellt sich bereits sehr rasch, etwa nach 48 Stunden, ein. Sie ist mit 0,3 bis 0,8  $MN/m^2$  jedoch gering. Polyacrylate gehören zu den Lösungen [4].

### 3.4.2 Kunstharze

Harze kennzeichnen sich durch ihre hohe Druckfestigkeit. Sie gehören zu den Lösungen. Bei injizierten Sanden liegt sie in derselben Größenordnung wie bei konzentrierten Silikatgelen.

Des Weiteren haben sie eine wesentlich weniger stark ausgeprägte Kriechtendenz als alle anderen chemischen Injektionsmitteln. Die Viskosität ist ähnlich gering wie die der Polyacrylate. Aufgrund der hohen Kosten und einer möglichen Umweltgefährdung ist der Einsatz von Kunstharzen auf Sonderfälle beschränkt [4] [13].

#### **3.4.3 Schaumstoffe**

Bei den Schaumstoffen kommt es als einziges von allen Injektionsmitteln zu einer unter Gasentwicklung auftretenden Reaktion des Aufschäumens. Es kommt aufgrund dieser Reaktion zu einer beträchtlichen Volumenzunahme unter Druckentwicklung und dadurch zu einer selbstständigen Injektion von feinen Rissen und Poren. Manche Schaumstoffe haben eine so kurze Reaktionszeit, dass die Komponenten getrennt verpresst werden müssen und erst im Injektionsrohr miteinander in Berührung kommen [6].

#### **3.4.4 Bitumenemulsionen**

Bei der Anwendung von Bitumenemulsionen werden im Wasser emulgierte Bitumentropfen zusammen mit dem Wasser unter Druck in das zu injizierende Medium eingebracht. Durch die Zugabe eines Zusatzmittels zum richtigen Zeitpunkt kommt es zu einem Zusammenballen der Bitumenteilchen und dadurch zu einem Verstopfen der Poren bzw. Klüfte. Da die Anwendung der Verfahren zur Injektion von Bitumenemulsionen ein großes Maß an Erfahrung verlangt, sind diese in der Baupraxis wenig üblich [4].

# 4 Prüfungsarten

Die ÖNORM B 4454 - "Erd- und Grundbau, Injektionen in Fest- und Lockergestein, Prüfungen" [27] unterscheidet grundsätzlich drei Arten von Prüfungen: die Grundsatzprüfung, die Eignungsprüfung und die Güte- bzw. Konformitätsprüfung. Sie kommen in unterschiedlichen Phasen während der Planung und der Ausführung von Injektionsarbeiten zur Anwendung.

## 4.1 Grundsatzprüfung

Die Grundsatzprüfung wird durchgeführt, wenn ein noch nicht erprobtes Injektionsgut zur Anwendung kommen soll. Sie dient der Feststellung, ob ein Injektionsgut grundsätzlich zur Verfestigung bzw. Abdichtung von Untergrund aus Locker- und Festgestein und im Übergangsbereich zu Bauwerken geeignet ist.

Im Ergebnis der Grundsatzprüfung müssen alle Kennwerte enthalten sein, die für die Beurteilung der Anwendbarkeit durch einen Fachmann erforderlich sind. Es sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Ausgangsstoffe, der Injektionsmischung und deren grundsätzliche Anwendbarkeit als Injektionsgut, die Wasserbelastung und die Lagerungs- und Verarbeitungsvorschriften zu untersuchen [27].

Anhaltspunkte für die Untersuchung der Ausgangsstoffe sind:

- Chemismus der Ausgangsstoffe
- Veränderung des Chemismus des Wassers bei Kontakt mit den Ausgangsstoffen
- Lagerungsbedingungen (z.B. Temperatur)
- Mahlfeinheit
- Quellverhalten



Anhaltspunkte für die Untersuchung von Mischungen der Ausgangsstoffe sind:

- Verarbeitbarkeit (Temperatur, Verarbeitungsdauer, Kippzeit, u.dgl.)
- Stabilität (Absetzmaß, Filterwasserabgabe, u.dgl.)
- Ausflockung (Koagulation)
- Chemismus (auch bezüglich des Synäresewassers und möglicher Eluate)
- Veränderung des Wasserchemismus in Folge von Synäresewasser und möglicher Eluate
- Dichte

Anhaltspunkte für die Untersuchung der Anwendbarkeit des Injektionsgutes sind:

- Injizierbarkeit
- Aggressivität
- Brennbarkeit
- Toxizität
- Volumenbeständigkeit
- Erhärtungs-, Verformungs-, Kriech- und Dichtheitseigenschaften
- Langzeitverhalten (z.B. Erosionsbeständigkeit)

## 4.2 Eignungsprüfung

Für die Feststellung, ob ein Injektionsgut für eine bestimmte projektbezogene Aufgabe unter Anwendung des gewählten Injektionsverfahrens geeignet ist, wird eine Eignungsprüfung durchgeführt. Sie ist unter Berücksichtigung des anstehenden Untergrunds und unter Aufsicht eines Fachmannes für jedes Bauvorhaben rechtzeitig durchzuführen. Als Eignungsprüfungen dürfen Injektionsversuche durchgeführt werden, es ist dabei jedoch auf die Auswirkungen auf das Wasser im Untergrund zu achten.

Sind ausreichende, projektmäßig vergleichbare Erfahrungen für Injektionsgut und -verfahren vorhanden, darf die Eignungsprüfung entfallen. Die Vergleichbarkeit und Anerkennung dieser Erfahrungen ist von einem Fachmann zu beurteilen [27].

### 4.3 Güteprüfung (Konformitätsprüfung)

Güteprüfungen werden durchgeführt um festzustellen, ob der injizierte Untergrund die festgelegten Eigenschaften erreicht hat. Es soll im Zuge dieser Prüfungen festgestellt werden, ob die Ausgangsstoffe und das Injektionsgut während der Ausführung die bei der Grundsatzzprüfung ermittelten Eigenschaften eingehalten haben. Dafür werden die Ergebnisse der Güteprüfung mit den Ergebnissen der Eignungsprüfung verglichen. Für diesen Vergleich sind für die zu untersuchenden Parameter Toleranzbereiche festzulegen, in denen sich die Ergebnisse der Güteprüfung befinden müssen. Es können für die Güteprüfungen Prüfverfahren, die während oder nach den Injektionsarbeiten durchgeführt werden, herangezogen werden. Besonders zu berücksichtigen ist dabei die Auswertung der Aufzeichnungen über die Injektionsmenge und über den Injektionsdruck.

Die im Rahmen der Güteprüfung durchzuführenden Prüfungen sowie die Häufigkeit dieser Prüfungen sind projektspezifisch festzulegen. Der Prüfumfang fällt dabei wesentlich geringer aus als bei der Eignungsprüfung und beschränkt sich auf einfache Verfahren. In Kapitel 5 werden einige der gängigsten Verfahren für die Durchführung von Eignungs- bzw. Güteprüfungen beschrieben [27].

## 5 Prüfverfahren für Injektionsmittel

Im gegenständlichen Kapitel werden einige der in der Praxis am häufigsten verwendeten Verfahren für die Prüfung von zementbasierten und chemischen Injektionsmitteln beschrieben. Dabei werden vor allem jene Verfahren beschrieben, die während der laufenden Kontrolle des Injektionsguts auf der Baustelle im Rahmen der Güte- bzw. Konformitätsprüfung zur Anwendung kommen.

Die Entnahme der Proben für die Güteprüfung sollte aus dem Vorratsbehälter und nicht aus dem Mischbehälter erfolgen. Zeitpunkt und Ort der Entnahme sowie Mischungsalter und Zusammensetzung sind zu notieren. Des Weiteren sind die Temperatur der Umgebung, des Anmachwassers und der Suspension zu notieren. Um den Einfluss des Wasserchemismus zu erfassen, sollten auch die Leitfähigkeit und der pH-Wert des Anmachwassers gemessen werden. Rheologische Prüfungen sollen unmittelbar nach der Entnahme durchgeführt werden. Für Rückstellproben für die spätere Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit werden zylindrische Probeformen oder Rohre mit einem Verhältnis von Höhe zu Durchmesser größer als 2 : 1 empfohlen. Die Lagerung der Proben sollte (wenn möglich) ähnlich den in-situ herrschenden Bedingungen des injizierten Untergrunds (Temperatur, Feuchtigkeit und Wasserchemismus) erfolgen. Ist dies nicht möglich, sind die Werte auf in-situ Werte in Bezug zu bringen. Die Lagerungsbedingungen sind jedenfalls zu dokumentieren. In den ersten Tagen sind Erschütterungen durch Transporte zu vermeiden [25].

## 5.1 Zementbasierte Injektionsmittel

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Kennwerte und die für ihre Prüfung empfohlenen Prüfverfahren für die Gütekontrolle von zementbasierten Injektionsmitteln beschrieben. Tabelle 5.1 liefert eine übersichtliche Darstellung dieser Kennwerte und der dazugehörigen Verfahren.

Parameter		Empfohlenes Prüfverfahren
<b>Zusammensetzung</b>	Dichte	Messzylinder
<b>Stabilität</b>	Sedimentation	Absetzversuch im Messzylinder
	Filtration	Filterpresse
	Auswaschen	Auswaschversuch
<b>Rheologische Kennwerte</b>	Viskosität	Viskosimeter
	Marshzeit	Marshtrichter
	Fließgrenze	Kugelharfe
		Viskosimeter mit Messflügel
<b>Festigkeitsentwicklung</b>	Erstarrungsbeginn	Viskosimeter mit Messflügel
	Frühfestigkeit (24h)	einaxiale Druckprüfung
	Endfestigkeit (28d)	einaxiale Druckprüfung

Tabelle 5.1: Prüfverfahren für zementbasierte Injektionsmittel (adaptiert nach ÖGG - Kommentar zur EN 12175 [25])

### 5.1.1 Suspensionsdichte

Die Dichte von Suspensionen wird ermittelt, um festzustellen, ob die Mischungsverhältnisse den Mischvorgaben entsprechen. Die Bestimmung der Suspensionsdichte kann mittels Messzylinder, eines Aräometers oder einer Spülungswaage erfolgen. In der Praxis erfolgt die Bestimmung der Suspensionsdichte meist durch Wägung eines 1000 ml Messzylinders (siehe Abbildung 5.1a), gemäß EN 12715 [28]. Dabei wird zuerst der leere Messzylinder gewogen (Tara). Anschließend wird der mit Suspension gefüllte Messzylinder gewogen (Brutto). Das Netto-Gewicht wird durch Subtraktion des Tara-Gewichts vom Brutto-Gewicht ermittelt. Die Dichte ergibt sich durch Division des Netto-Gewichts durch das Suspensionsvolumen.

Für die Bestimmung der Dichte mittels Aräometer (siehe Abbildung 5.1b) wird die zu prüfende Suspension in ein definiertes Messgefäß (z.B. 250 ml Standzylinder) gefüllt. In Abhängigkeit der zu erwartenden Dichte wird ein Aräometer mit passendem Messbereich ausgewählt. Der Aräometer wird mit einer Drehbewegung so in die Flüssigkeit eingetaucht, dass er den Rand des Messzylinders nicht berührt. Wenn der Aräometer zum Stillstand gekommen ist, wird an der Stelle der Skala die Dichte abgelesen, an der die Spindel die Oberfläche der Flüssigkeit berührt. Bei der Bestimmung der Dichte mittels Spülungswaage (siehe Abbildung 5.1c) wird die zu prüfende Flüssigkeit in den Probebecher an dem einen Armende des Waagebalkens eingefüllt. Mittels des Laufgewichts am anderen Arm der Spülungswaage wird die Waage ausbalanciert. Bei Erreichen der Balance wird an der Position des Laufgewichts an der Skala die Dichte abgelesen. Die Bestimmung der Dichte sollte jedenfalls direkt nach dem Anmischen der Suspension erfolgen [1] [16] [19].



(a) Messzylinder [22]



(b) Aräometer [16]



(c) Spülungswaage [19]

Abbildung 5.1: Verschiedene Messgeräte für die Bestimmung der Dichte

### 5.1.2 Sedimentationsstabilität

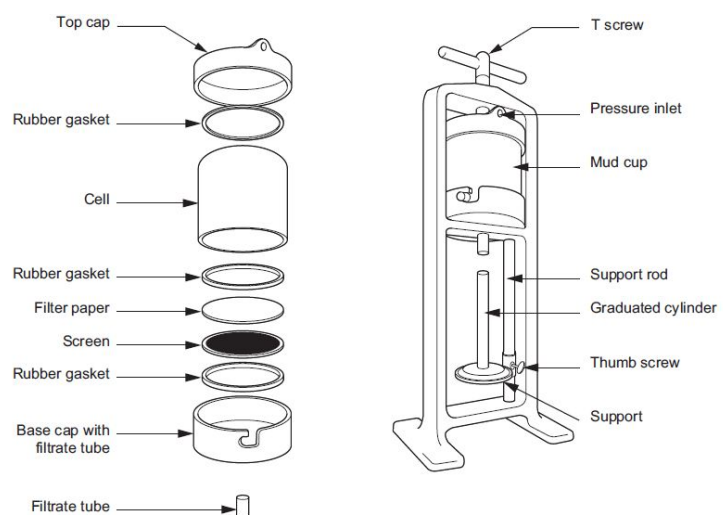
Die Prüfung erfolgt in der Regel nach EN 12715 [28] mit Hilfe eines 1000 ml Messzylinders mit einem Durchmesser von 60 mm. Die Temperatur sollte dabei 20°C betragen. Zwei Stunden nach dem Einfüllen der Suspension wird die Höhe des freien Wassers abgelesen. Diese Höhe wird dann als Prozentsatz, bezogen auf die Gesamthöhe des Zylinders, angegeben. Suspensionen, die nach zwei Stunden bei einer Temperatur von 20°C ein Wasserabsetzmaß von 5% unterschreiten, gelten dabei als stabil [1] [25].

### 5.1.3 Filtrationsstabilität

Die Prüfung der Filtrationsstabilität wird mit einer Filterpresse nach DIN 4126 [9] (siehe Abbildung 5.2) durchgeführt. Der zur Anwendung kommende Prüfzylinder verfügt über einen Innendurchmesser von 76,2 mm, eine Höhe von  $\geq 63,5$  mm und eine freie Filterfläche von 45,1 cm<sup>2</sup>. Nach dem Befüllen wird der Zylinder mit  $7 \pm 0,35$  bar beaufschlagt. Es wird die Menge an Filtratwasser in Gramm *g* gemessen die nach 7,5 Minuten nach Beginn der Druckaufbringung ausgepresst wurde. Des Weiteren wird die Dicke des gebildeten Filterkuchens gemessen. Zur Kontrolle wird der Wassergehalt des Filterkuchens im Trockenschrank bei 105°C ermittelt. Filtratwasserabgaben von 80 bis 160 ml sind üblich und können als stabil angesehen werden. Allgemein gilt, je geringer die Filtratwassermenge, umso stabiler ist die Suspension unter hohen Drücken. Eine höhere Stabilität wirkt sich positiv auf die Reichweite und die Injizierbarkeit aus [1] [5] [11].



(a) Foto Filterpresse [22]



(b) Schematischer Aufbau Filterpresse [15]

Abbildung 5.2: Filterpresse

### 5.1.4 Stabilität gegenüber Auswaschen

Die Prüfung der Stabilität gegenüber Auswaschen wird nach Yahia [2] durch eine adaptierte Version der von der US. Army Corps of Engineers entwickelten Tests für Beton durchgeführt. Bei der Prüfung werden 500 ml der Suspension in einen verschlossenen Trichter gefüllt. Die Öffnung des Trichters befindet sich 10 mm über einem mit Wasser gefüllten Behälter. Nach Öffnen des Auslaufs fließt die Suspension in das Wasser und verdünnt sich dabei. Der für die Auswertung herangezogene Wert ergibt sich aus der Differenz der Ausgangsmasse und der im Wasserbehälter verbleibenden Menge an Suspension. Diese wird dabei auf die Ausgangsmasse bezogen. Der schematische Versuchsaufbau ist in Abbildung 5.3 dargestellt [1].

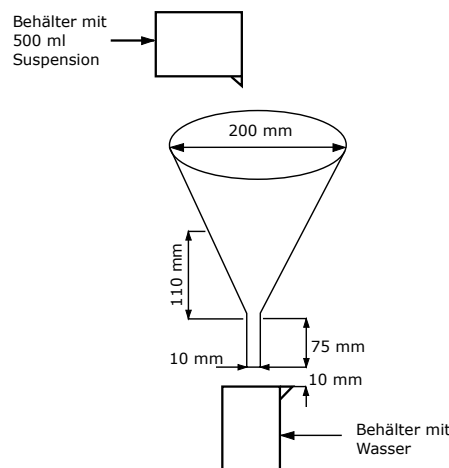
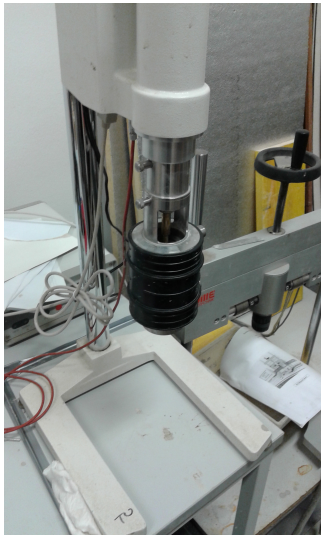


Abbildung 5.3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus [2]

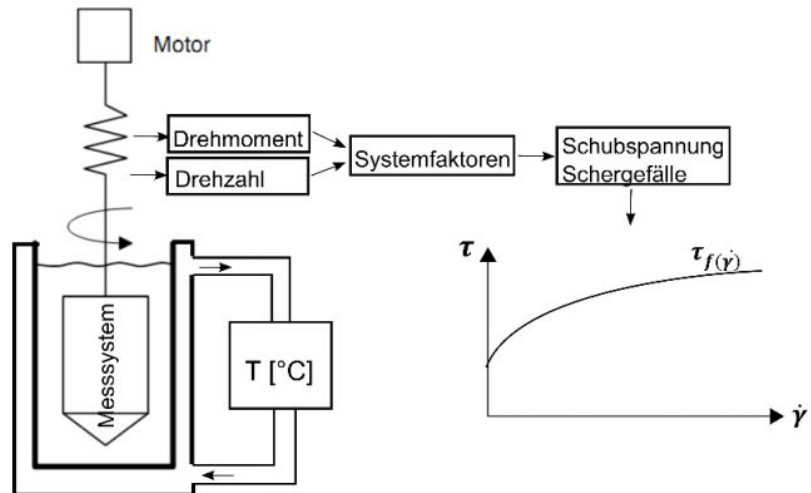
### 5.1.5 Viskosität

Die Messung der Viskosität  $\eta$  erfolgt in der Regel mittels Rotationsviskosimeter in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 3219 [30] und DIN 53019 [10]. Dabei wird ein Messkörper in dem zu messenden Fluid bei vorgegebener Drehzahl rotiert und das dafür benötigte Drehmoment gemessen. In der Regel kommen koaxiale Zylindersysteme zur Anwendung. Es wird unterschieden in Systeme, bei denen der innere Zylinder (SEARLE-System) oder der äußere Zylinder (COUETTE-Systeme) rotiert. Bei der Messung wird das Fluid im Ringspalt zwischen innerem und äußerem Zylinder einer definierten Scherung ausgesetzt. Dabei ist es wichtig, dass der Ringspalt vollständig mit Suspension gefüllt ist. Gemessen wird das Schergefälle und das benötigte Drehmoment. Das Schergefälle wird dabei von der Drehgeschwindigkeit vorgegeben. Unter Berücksichtigung der geometrischen Systemfaktoren kann die Viskosität

$\eta$  bzw. die scheinbare Viskosität  $\eta'$  ermittelt werden. Die Steuerung des Viskosimeters erfolgt über einen Computer, auf dem auch die Auswertung und die grafische Darstellung der Daten erfolgt. Zusätzlich zur dynamischen Viskosität können auch noch der Einfluss der Temperatur und die zeitliche Veränderung der Viskosität erfasst werden [1] [5].



(a) Foto Viskosimeter [22]



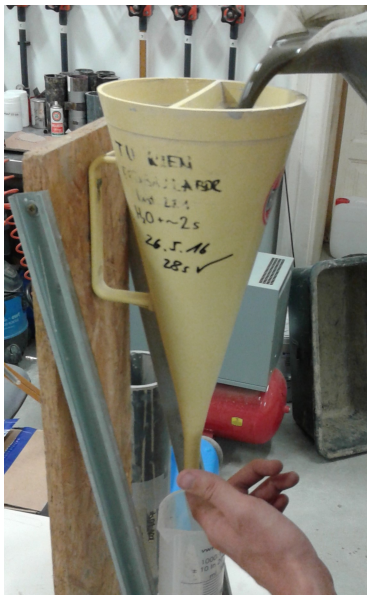
(b) Systemprinzip Viskosimeter [1]

Abbildung 5.4: Viskosimeter

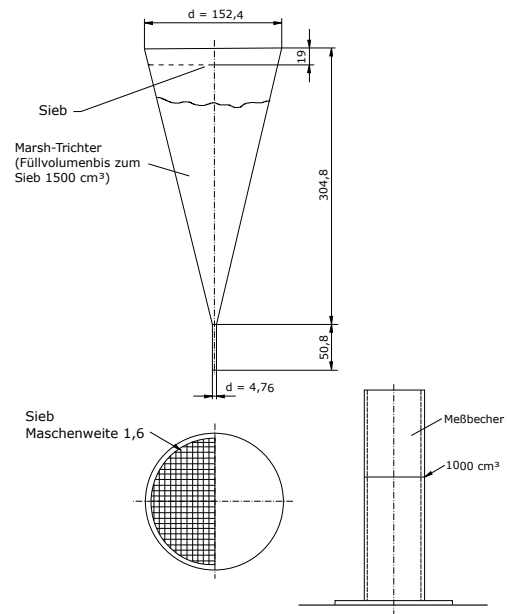
### 5.1.6 Marshzeit

Mit Hilfe eines Marshtrichters können auf einfache und schnelle Art und Weise die rheologischen Eigenschaften von Suspensionen geprüft werden. Dabei ist die Marshzeit jene Zeit in Sekunden, die ein vorgegebenes Volumen einer Suspension zum Auslaufen aus dem Trichter benötigt. In Europa ist der Einsatz des Trichters nach DIN 4126 [9] gebräuchlich. Dieser verfügt über einen Innendurchmesser der Düse von  $4,76 \text{ mm}$  und einer Auslaufzeit von Wasser von  $28 \pm 0,5$  Sekunden bei einer Referenztemperatur von  $20 \pm 0,3^\circ\text{C}$ . Die genauen Abmessungen des Marshtrichters sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Üblicherweise wird die Auslaufzeit von  $1500 \text{ cm}^3$ , bezeichnet als  $t_{M1500}$ , in Sekunden  $s$  gemessen. Für die Durchführung des Versuch wird ein Stativ für den Marshtrichter, ein Messbecher mit mindestens  $1600 \text{ cm}^3$ , eine Stoppuhr und ein Thermometer mit  $0,1^\circ\text{C}$ -Teilung benötigt. Die Temperatur sollte bei der Versuchsdurchführung  $20^\circ\text{C}$  betragen um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten [1] [11].





(a) Foto Marsh-Trichter [22]



(b) Abmessungen nach DIN 4126 [9]

Abbildung 5.5: Marshtrichter

### 5.1.7 Fließgrenze

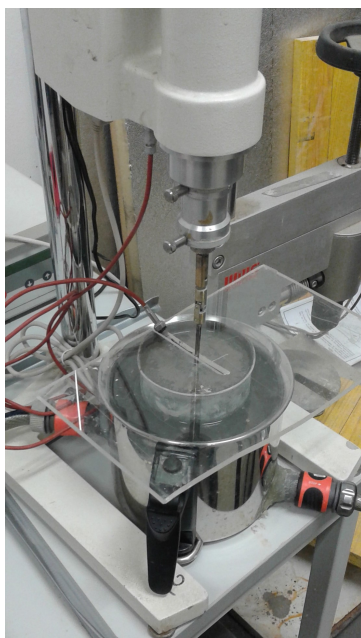
Die Bestimmung der Fließgrenze  $\tau_0$  kann mittels einer Kugelharfe nach DIN 4126 [9] (siehe Abbildung 5.6) oder mittels Rotationsviskosimeter mit Messflügel (siehe Abbildung 5.7) erfolgen.

Bei der Bestimmung der Fließgrenze mittels Kugelharfe werden 10 Glas- bzw. Stahlkugeln mit unterschiedlichen Durchmessern gleichzeitig in die zu untersuchende Suspension getaucht. Jeder Kugel ist eine andere, kritische wirksame Fließgrenze zugeordnet, bei der sie in der Schwebe bleibt. Ist die kritische Fließgrenze der Kugel kleiner als die der Suspension, schwimmt sie, ist sie größer taucht sie unter. Die Fließgrenze der Suspension liegt zwischen der Kugel mit der größten kritischen Fließgrenze, die noch schwimmt und jener Kugel mit der kleinsten kritischen Fließgrenze, die bereits eingetaucht ist [18].

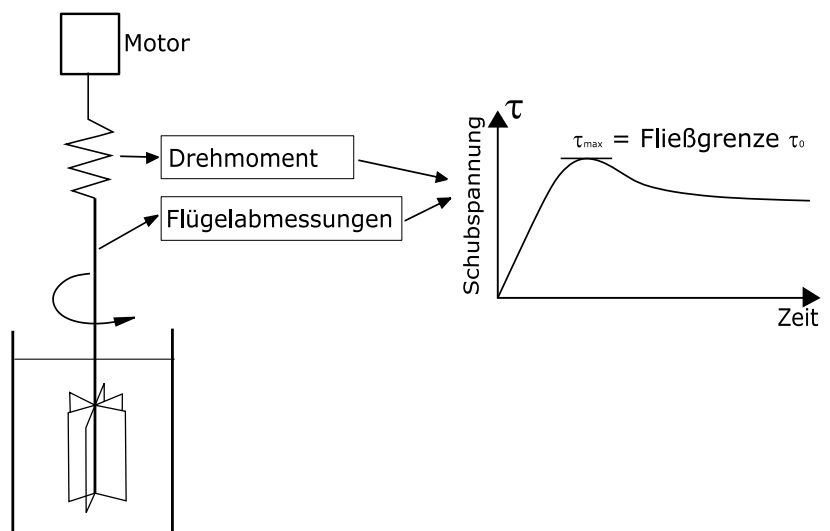
Bei der Bestimmung der Fließgrenze mittels Rotationsviskosimeter mit Messflügel wird der Messflügel vollständig in die Suspension eingetaucht und mit geringer Umdrehungsgeschwindigkeit (ca. 0,9-1,0 Umdrehungen pro Minute) gedreht. Es wird dabei das für die Aufrechterhaltung der Umdrehungsgeschwindigkeit benötigte Drehmoment gemessen. Die aufgebrachte Schubspannung wird über die Abmessung der Flügel und des gemessenen Drehmomentes ermittelt. Erreicht die Schubspannung einen Maximalwert beginnt, der Übergang vom Ruhezustand zum Fließen. Dieser Wert wird für die Fließgrenze herangezogen [1] [5].



Abbildung 5.6: Kugelharfe [18]



(a) Foto Viskosimeter mit Messflügel [22]



(b) Systemprinzip Viskosimeter mit Messflügel [1]

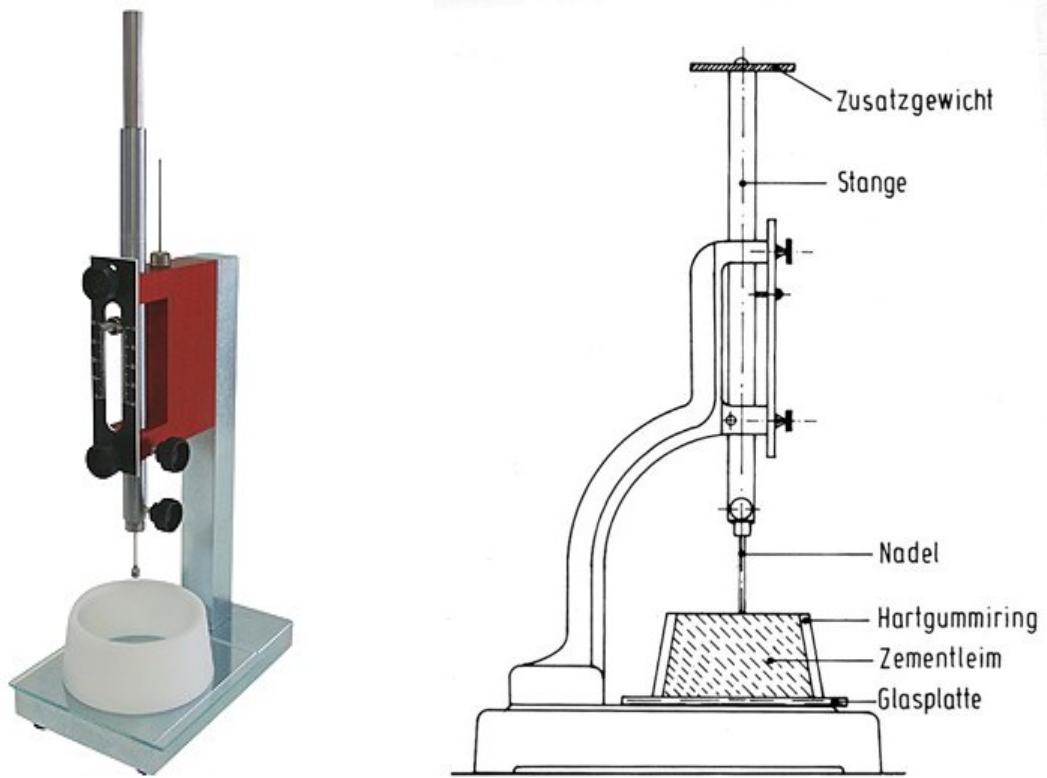
Abbildung 5.7: Fließgrenzbestimmung mittels Viskosimeter mit Messflügel

### 5.1.8 Erstarrungsbeginn

Die Prüfung des Erstarrungsbeginns kann mittels Vicat-Nadel oder in Anlehnung an die Fließgrenzbestimmung mittels Messflügel erfolgen.

Die Prüfung mit dem Nadelgerät von VICAT (siehe Abbildung 5.8) erfolgt mittels einer zylindrischen Stahlnadel und ist nach ÖNORM EN 196-3 [29] geregelt. Der Hartgummiring wird mit der zu prüfenden Suspension gefüllt und mit einer Glasplatte als Grundplatte in den Prüfbehälter eingebaut. Der Prüfbehälter wird soweit mit Wasser befüllt, bis die Oberfläche der Probe mindestens 5 mm überdeckt ist. Danach wird der Prüfbehälter bei  $20,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  für eine bestimmte Zeit gelagert. Als Nullzeit für den Versuch gilt der Mischbeginn. Dann wird der Prüfbehälter unter das Vicat-Gerät gestellt. Nach einer kurzen Ruhephase wird die zementberührende Nadel losgelassen. Die Eindringtiefe wird an der Skala abgelesen, wenn die Nadel nicht mehr tiefer in die Suspension eindringt oder spätestens 30 Sekunden nach Loslassen der Nadel. Der abgelesene Wert ist gemeinsam mit der Nullzeit zu notieren. Anschließend wird der Versuch an der gleichen Probe in passend gewählten Zeitabständen (z.B. 10 Minuten) an einer anderen Stelle wiederholt. Zwischen den Versuchen ist die Probe in einem Lagerschrank zu lagern. Die Zeit die von der Nullzeit bis zum Ablesezeitpunkt vergeht, gilt als Erstarrungsbeginn. Der Ablesezeitpunkt ist erreicht, wenn der Abstand zwischen Nadel und Grundplatte  $6 \pm 3 \text{ mm}$  beträgt [11] [29].

Bei der Prüfung des Erstarrungsbeginns mittels Messflügel erfolgt die Scherung im Unterschied zur Fließgrenzbestimmung zeitlich intermittierend bei äußerst geringen Umdrehungsgeschwindigkeiten (ca. 0,05 Umdrehungen pro Minute). Das Prinzip der Untersuchung ist in Abbildung 5.9 dargestellt. Aufgrund der geringen Deformation und der kurzen Scherdauer (10 Sekunden) kommt es nur zu elastischen Verformungen, jedoch zu keiner Störung der Struktur der erhärtenden Suspension. Durch den Versuch kann vollständig automatisch und zuverlässig der zeitliche Verlauf der Scherfestigkeit bestimmt werden. Der Suspensionsbehälter wird mittels Wasserkühlung auf  $20^\circ\text{C}$  gekühlt. Die Temperatur der Suspension wird laufend überprüft. Wird eine Schubspannung von über 130 Pa erreicht, wird der Versuch abgebrochen. Im Allgemeinen wird der Zeitpunkt des Erstarrungsbeginns bei einer gemessenen Schubspannung von 100 Pa angenommen [1] [5].



(a) Foto Nadelgerät von VICAT [20]

(b) System Nadelgerät von VICAT [17]

Abbildung 5.8: Nadelgerät von VICAT zur Bestimmung der Erstarrungszeit

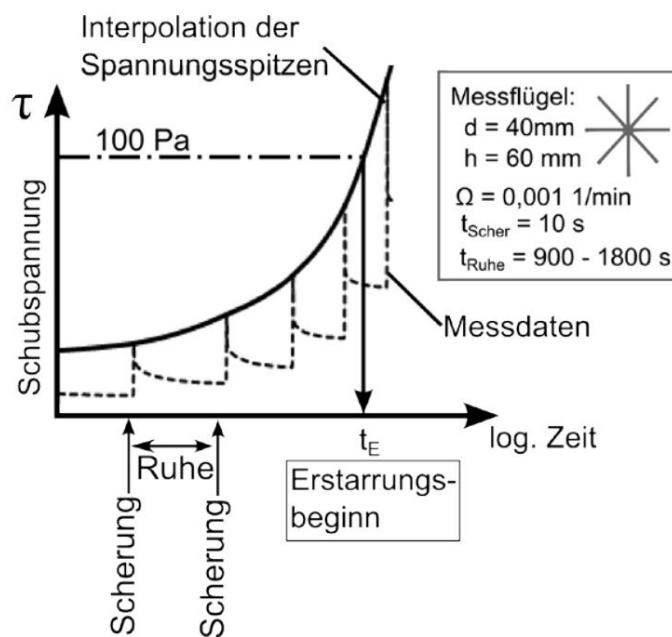


Abbildung 5.9: Prinzip zur Ermittlung des Erstarrungsbeginns mittels Messflügel[1]

### 5.1.9 Früh- und Endfestigkeit

Die Prüfung der Früh- und Endfestigkeit erfolgt mittels einaxialem Druckversuch nach ÖNORM B 4415 [26]. Der Prüfkörper sollte einen kreisförmigen oder quadratischen Querschnitt aufweisen. Die Höhe soll das 2 bis 2,5-fache des Durchmessers bzw. der Kantenlänge betragen. Der Durchmesser bzw. die Kantenlänge soll mindestens das 6-fache des Größtkorndurchmessers betragen und sollte eine Länge von 36 mm nicht unterschreiten. Ist eine Bruchstauchung von weniger als 4% zu erwarten, soll eine Verformungsgeschwindigkeit von 0,2% der Anfangshöhe der Probe eingehalten werden, ansonsten 1%. Wenn bei einer Stauchung von 20% kein Größtwert erreicht wird, gilt die einaxiale Druckspannung bei einer Stauchung von 20% als maßgeblicher Wert. Die Prüfung erfolgt jeweils an 2 Proben nach 24 Stunden für die Frühfestigkeit und nach 28 Tagen für die Endfestigkeit. Die Proben werden bis zur Versuchsdurchführung in einem Wasserbad gelagert [11].



Abbildung 5.10: Einaxiale Druckprüfung [22]

## 5.2 Chemische Injektionsmittel

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Kennwerte und die für ihre Prüfung empfohlenen Prüfverfahren für die Gütekontrolle von chemischen Injektionsmitteln beschrieben. Tabelle 5.2 liefert eine übersichtliche Darstellung dieser Kennwerte und der dazugehörigen Verfahren.

Parameter		Empfohlenes Prüfverfahren
<b>Zusammensetzung</b>	Dichte	Messzylinder
<b>Stabilität</b>	Synaräse	Messzylinder
<b>Rheologische Kennwerte</b>	Viskosität	Viskosimeter
<b>Festigkeitsentwicklung</b>	Gel-/Kippzeit	visuelle Kontrolle
		Kipptest
		Viskosimeter mit Messflügel
	Scherfestigkeit	Kegelfallgerät
	Frühfestigkeit (24h)	einaxiale Druckprüfung
	Endfestigkeit (28d)	einaxiale Druckprüfung

Tabelle 5.2: Prüfverfahren für chemische Injektionsmittel [3]

### 5.2.1 Dichte

Die Bestimmung der Dichte von chemischen Injektionsmitteln erfolgt analog zur Dichtebestimmung von zementbasierten Injektionsmitteln mittels Messzylinder, Spülungswaage oder Aräometer, siehe Kapitel 5.1.1. Bei der Bestimmung mittels Messzylinder wird dabei aber im Gegensatz zur Dichtebestimmung von zementbasierten Injektionsmittel ein Messbecher mit 250 ml verwendet.



Abbildung 5.11: Dichtebestimmung mittels 250 ml Messbecher [22]

### 5.2.2 Volumenbeständigkeit (Synäresewasser)

Für die Beurteilung der Volumenbeständigkeit bzw. der Abgabe von Synäresewasser wird ein Standzylinder mit einem Volumen von 1000 ml verwendet. Der Zylinder wird mit 500 ml flüssigem Gel gefüllt. Nach dem Erreichen der Kippzeit wird der Zylinder mit 500 ml Wasser aufgefüllt und luftdicht verschlossen, um Verdunstungsverluste zu vermeiden. Der so gefüllte Zylinder wird für 28 Tage bei 10°C gelagert. Danach wird die Volumenänderung des Gels gemessen und die abgegebene bzw. aufgenommene Wassermenge ermittelt [5] [24].

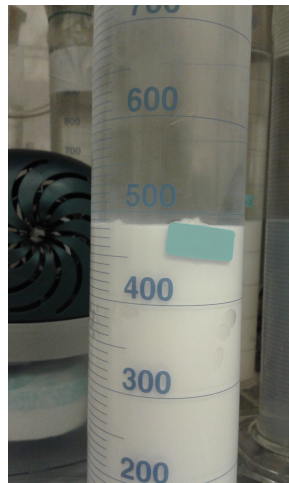


Abbildung 5.12: Bestimmung des Synäresewassers im Standzylinder [22]

### 5.2.3 Viskosität

Die Viskosität von chemischen Injektionsmitteln wird wie für zementbasierte Injektionsmittel mittels Rotationsviskosimeter gemessen, siehe Kapitel 5.1.5.

### 5.2.4 Gelzeit, Kippzeit

Die Gelzeit kann mittels visueller Kontrolle (siehe Abbildung 5.13) bestimmt werden. Für den Versuch kommt ein Messzylinder mit einem Volumen von 250 ml zur Anwendung. Startzeitpunkt für den Versuch mittels visueller Kontrolle ist der Zeitpunkt an dem sich alle Komponenten vermischt haben. Uhrzeit und Temperatur sind zu notieren und der pH-Wert und die Dichte zu messen. Um die visuelle Beurteilung zu Erleichtern, ist es von Vorteil eine Vergleichsflüssigkeit zur Verfügung zu haben. Diese besteht aus Wasser und Natriumaluminat, um dem Wasser einen Gelbstich zu verleihen. Der Zeitpunkt der Gelbildung ist erreicht, wenn die Flüssigkeit von einer klaren, leicht gelblichen zu einer trüben, milchig weißen, so wie in Abbildung 5.13c dargestellt, geworden ist [24].

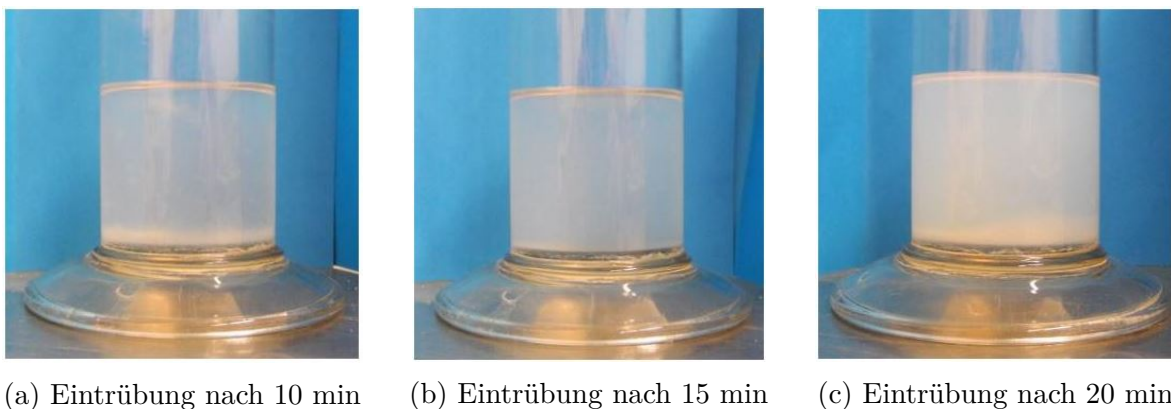
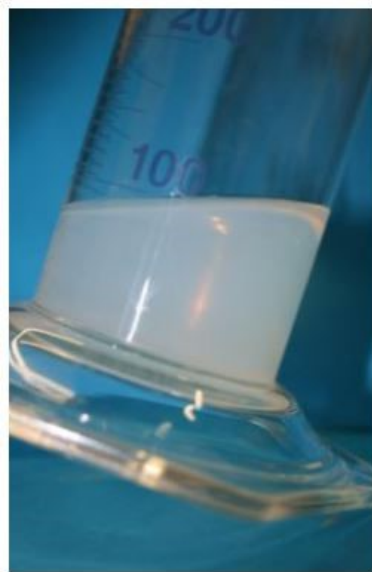


Abbildung 5.13: Zeitlicher Verlauf der Eintrübung [24]

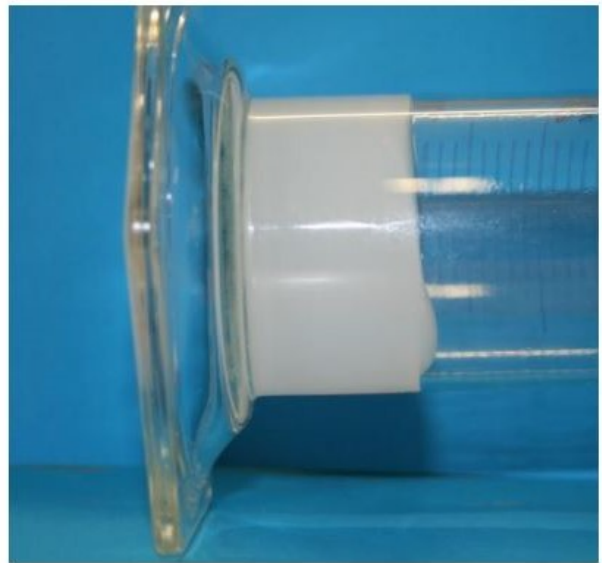
Die Kippzeit kann mittels Kipptest (siehe Abbildung 5.14) ermittelt werden. Es kommt ein Messzylinder mit einem Volumen von 250 ml zum Einsatz. In Abbildung 5.14a ist die Kippzeit noch nicht erreicht. Das ist daran zu erkennen, dass sich die Oberfläche der Flüssigkeit bei Drehung der Probe noch neigt. Die Kippzeit ist erreicht, wenn die Probe, wie in Abbildung 5.14b dargestellt, um 90° gedreht werden kann und keine Flüssigkeit mehr ausfließt. Aufgrund der hohen Ungenauigkeit dieser Verfahren wird empfohlen, die Gelzeit und die Kippzeit, wie im Anschluss beschrieben, mittels Viskosimeter zu ermitteln [24].

Die Gelzeit und die Kippzeit können auch mittels Rotationsviskosimeter bestimmt werden. Die Bestimmung erfolgt dabei anhand der Viskositätsentwicklung über die Zeit. Der Versuch erfolgt analog zur Bestimmung der Viskosität wie in Kapitel 5.1.5 beschrieben. Als Gelzeit wird dabei der Zeitpunkt des Anstiegs der Viskosität herangezogen. Die Messung erfolgt solange bis die Viskosität einen Maximalwert erreicht, dieser Zeitpunkt stellt die Kippzeit dar [5] [24].





(a) Vor Erreichen der Kippzeit



(b) Nach Erreichen der Kippzeit

Abbildung 5.14: Kipptest [24]

### 5.2.5 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit kann mittels Kegelfallgerät (siehe Abbildung 5.15a) bestimmt werden. Die Probe wird dabei so unter den Fallkegel platziert, dass die Spitze des Kegels die Probe berührt. Dann wird der Fallkegel gelöst und die Eindringtiefe wird gemessen. Aus der Eindringtiefe, der Kegelgeometrie und dem Kegelgewicht lässt sich die Scherfestigkeit mittels Formel 5.1 errechnen. Der Versuch wird dabei zweimal durchgeführt, einmal unmittelbar nach Erreichen der Kippzeit und einmal 24 Stunden nach dem Kippunkt [14] [24].

$$\tau = K * \frac{P}{s^2} \quad (5.1)$$

- K ... abhängig vom Öffnungswinkel des Kegels
- P ... vertikale Kraft des Kegels
- s ... Eindringtiefe des Kegels

Für die schnelle Ermittlung von Werten für die Scherfestigkeit kann auch ein Taschenscherfestigkeitsmesser (siehe Abbildung 5.15b) verwendet werden. Für die Messung muss erst der Schleppzeiger auf Null gestellt werden. Dann wird der Taschenscherfestigkeitsmesser so weit in das zu messende Gel eingedrückt, bis die Flügel vollständig eingetaucht sind. Danach wird der Kopf des Taschenscherfestigkeitsmessers so weit verdreht, bis das Gel abscherft. An dem Schleppzeiger lässt sich nun die Scherfestigkeit in  $kg/cm^2$  ablesen.



(a) Kegelfallgerät [14]



(b) Taschenscherfestigkeitsmesser [3]

Abbildung 5.15: Geräte zur Bestimmung der Scherfestigkeit

### 5.2.6 Früh- und Endfestigkeit

Die Früh- und Endfestigkeit von chemischen Injektionsmitteln wird analog zu den zementbasierten Injektionsmitteln mittels einaxialer Druckprüfung nach ÖNORM B 4415 [26] geprüft, siehe Kapitel 5.1.9.

# 6 Stand der Technik im Qualitätsmanagement

## 6.1 Aktuelle Vorgehensweise im Qualitätsmanagement

Im Zuge der Gespräche mit erfahrenen Laboranten im Bereich der Durchführung von Prüfungen an Injektionsmitteln wurde ersichtlich, dass es derzeit keine einheitliche Vorgehensweise für die Durchführung und die Dokumentation von Grundsatz-, Eignungs- und Güteprüfungen von Injektionsmitteln gibt. Die Durchführung und Dokumentation der Prüfungen hängt somit stark von der prüfenden Institution bzw. den prüfenden Personen ab. Im Regelfall kommen dabei von den jeweiligen Prüfern selbst erstellte Handzettel und Formulare zur Anwendung. Ein Beispiel für so ein Formular ist in den Abbildungen 6.1 und 6.2 dargestellt. In diese werden von der prüfenden Person die Ergebnisse der verschiedenen Prüfverfahren händisch eingetragen. Die Dokumentation der Prüfungen erfolgt somit überwiegend in Papierform. Abgesehen von den allgemeinen Beschreibungen in den jeweiligen Normen gibt es für die einzelnen, in Kapitel 5 beschriebenen Prüfverfahren keine einheitlichen Anweisungen, in denen die korrekte Durchführung dieser Verfahren beschrieben wird. Die Durchführung der Versuche ist somit stark von der Erfahrung der prüfenden Personen abhängig.

Projekt: DA <del>70-2-1</del>		Projektnummer: 70-2-1		Mape Fluid N200	
Datum: 11.05.2017					
Suspensionsversuche (zementbasiert)					
PROBENDATEN					
Probennummer		DA 70-2-1			
Anmischdatum		11.05.2017	W/Z = 13 + 0	% Bentonit	
Raumtemperatur	22,8 °C		Verflüssiger: 1,5 % d. ZM		
Temperatur Anmachwasser	17,5 °C		Soll: 12 ± 2 °		
Leitfähigkeit Anmachwasser	µS/cm		Charge:		
Zeit bei Ende d. Zementzugabe	[hh:mm]	13:38			
Anmischende (Zeit)	[hh:mm]	13:42			
Suspensionstemperatur	°	21,9 °C			
Viskosität					
Plast. Viskosität		$\eta_{pi}$ : 24,8 mPa.s	$\tau_0$ : 8,8 Pa	$\nu$ :	/ [1/s]
Dichte					
Tara Messzylinder	[g]	612			
Messzylinder + Susp (1000ml)	[g]	1958			
Dichte	[g/cm³]	1,346 0			
Marshzeit, Kontrolle (täglich): Marshzeit (Wasser) = 28 sek					
Tara Messzylinder	[g]				
Auslaufzeit für 1L Suspension	sek	37			
$m_{Susp}$ + Tara (Versuchsende)	[g]				
Kugelharfe, Kugelsatznr:					
Kugel taucht gerade nicht ein	Kugelnr.				
Kugel taucht gerade ein	Kugelnr.				
Filtratwasserabgabe, Probenmenge 300ml, Messzeit: 7,5 min					
Einfüllzeitpunkt	Zeit				
eingefüllte Suspension	$m_{Susp}$	[g]	461,969 - 69 = 392,969		
Filtratwasser	$m_{Susp+T}$	[g]	163,4		
Messbecher Tara	[g]	54,2 32,6			
Filterkuchenhöhe (Foto)	[cm]	3,0			
Wassergehalt	$m_f+T$	[g]			
	$m_d+T$	[g]			
	T	[g]			

Abbildung 6.1: Beispiel für die Dokumentation in Papierform [3]

PROBENDATEN			
Probennummer			
Anmischdatum			
Raumtemperatur			
Temperatur Anmachwasser	12'± 12'		
Zeit bei Zementzugabe			
Anmischende			
Temperatur	°		
Absetzmaß (Höhendifferenz Δh/h), Zeitkorrekturen anführen			
Zylinder	Tara	[g]	
Zylindermasse	m <sub>Susp</sub> +Tara	[g]	
Einfüllzeitpunkt		Zeit	13:53
Absetzmaß 10 min	14:03		0,2%
Absetzmaß 30 min	14:23		0,5%
Absetzmaß 1h	14:53		1,0%
Absetzmaß 2h	15:53		1,1%
Absetzmaß 4h	17:53		1,1%
Fließgrenze/Erstarrungsbeginn mit Messflügel			
Einbauzeit		Zeit	
Fließgrenze		Pa	
Temperatur		°	
Anmerkungen			

Abbildung 6.2: Beispiel für die Dokumentation in Papierform [3]

## 6.2 Innovationen zum Stand der Technik

Wie in Kapitel 1 beschrieben, ist es das Ziel dieser Arbeit die Grundlage für ein standardisiertes, digitales Qualitätsmanagements zu schaffen. Ausgangspunkt dafür ist die von **eguana** entwickelte Plattform für die Erfassung von Injektionsmitteln und von Injektionsvorgängen. Die von **eguana** entwickelte Plattform wurde als Ausgangspunkt gewählt, da sie zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit die einzige Plattform ihrer Art darstellte. Aufbauend auf dieser Plattform wird in den folgenden Kapiteln aufgezeigt, wie ein in sich geschlossenes, digitales Qualitätsmanagement aussehen könnte.

Die wesentlichste Neuerung dieses digitalen Qualitätsmanagements im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik ist, dass sämtliche Daten unmittelbar in digitaler Form erfasst und keine Formulare oder ähnliche Hilfsmittel in Papierform mehr benötigt werden. Es werden dabei alle zur Anwendung kommenden Materialien samt der Ergebnisse der zugehörigen Eignungsprüfung in digitaler Form in einer Materialdatenbank erfasst (siehe Kapitel 7).

Eine weitere Neuerung stellen die in Kapitel 8 erstellten Prüfanweisungen für die in Kapitel 5 beschriebenen Prüfverfahren dar. Durch diese Prüfanweisungen soll ein einheitlicher Ablauf der im Rahmen der Güteprüfungen auf der Baustelle durchgeführten Prüfungen sichergestellt werden. Die Ergebnisse, die mittels dieser Prüfanweisungen zustande kommen, werden wieder unmittelbar in die in Kapitel 9 dargestellten Eingabemasken eingetragen. Somit sind die Ergebnisse aller Prüfungen in digitaler Form vorhanden. Die Eingabemasken für die Materialdatenbank wurden von der Software von **eguana** übernommen. Diese sind durch den Literaturverweis [12] gekennzeichnet. Die anknüpfenden Ausarbeitungen des Autors, wie die Eingabemasken, die Prüfanweisungen und die Verknüpfung des Datenflusses, sind durch den Literaturverweis [3] ersichtlich. Dadurch sind diese klar von den bestehenden Lösungen abgegrenzt.

Damit ein digitales Qualitätsmanagement erfolgreich umgesetzt werden kann, ist es wichtig, dass alle Projektbeteiligten immer alle notwendigen Daten unmittelbar in die Datenbank eintragen. Nur wenn alle Daten konsequent eingegeben werden, kann ein automatisiertes Datenmanagement diese auch auswerten und auf mögliche Abweichungen vom gewünschten Ergebnis hinweisen.

# 7 Materialdatenbank

## 7.1 Allgemeines

Grundlage für dieses Kapitel stellt die von der Firma **eguana GmbH** entwickelte Online Plattform zur Erfassung von Injektionsarbeiten dar. Es wird auf die aktuelle Funktionsweise der Plattform eingegangen. Im Anschluss daran werden zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten erörtert.

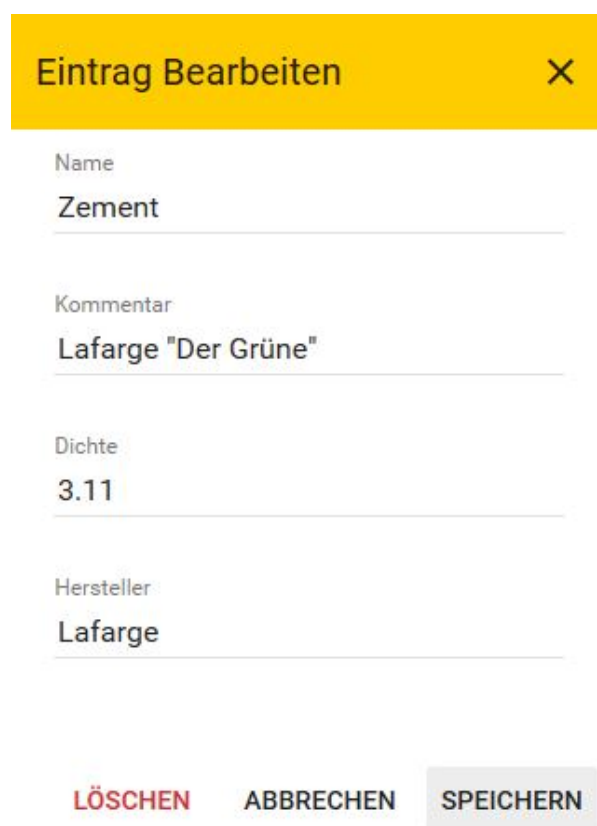
Die Materialdatenbank stellt die Grundlage für das digitale Qualitätsmanagement dar. In ihr werden die in den Eignungsprüfungen untersuchten chemischen und zementbasierten Injektionsmittel eingetragen. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, die im Zuge der Bauausführung durchgeführten Güteprüfungen, den im Vorfeld der Bauausführung durchgeführten Eignungsprüfungen zuordnen zu können. Ziel ist es, jeden Injektionsvorgang zeitlich und räumlich zu erfassen und über das eingegebene Injektionsmittel der zugehörigen Güte- und Eignungsprüfung zuordnen zu können.

Darüber hinaus dient die Materialdatenbank der Abrechnung, indem über das injizierte Volumen gemeinsam mit der Dichte der Injektionsmittel bzw. der Dichte derer Bestandteile die Masse des injizierten Materials erfasst werden kann. Die Abrechnung erfolgt somit nach der ideellen Zusammensetzung, die in der Datenbank festgelegt wurde und nicht nach der tatsächlichen Zusammensetzung des injizierten Materials.

In den beiden anschließenden Kapiteln wird der Eingabeablauf in die Materialdatenbank von **eguana** für je ein zementbasiertes Injektionsmittel sowie für ein chemisches Injektionsmittel exemplarisch erklärt. Im Anschluss werden im Unterkapitel 7.5 Erweiterungsmöglichkeiten für die Materialdatenbank beschrieben und deren mögliche Umsetzung in Form von mehreren Eingabemasken dargestellt.

## 7.2 Zementbasierte Injektionsmittel

Im ersten Schritt werden die Materialien eingegeben. Aus diesen Materialien können dann im nächsten Schritt die Mischungen erstellt werden. Das für die Eingabe verwendete Fenster ist in Abbildung 7.1 dargestellt. Darin werden der Name des Produkts, ein möglicher Kommentar, die Dichte in *kg pro Liter* und der Hersteller eingetragen. Das Kommentar-Feld ermöglicht, zusätzliche Informationen zu dem Produkt einzutragen. Die Dichte muss für die Abrechnung eingetragen werden. In Zukunft sollte die Materialeingabe um die Möglichkeit erweitert werden, Produktdatenblätter (z.B. als Pdf-Datei) anhängen zu können.



**Eintrag Bearbeiten** ✕

Name  
Zement

Kommentar  
Lafarge "Der Grüne"

Dichte  
3.11

Hersteller  
Lafarge

**LÖSCHEN**   **ABBRECHEN**   **SPEICHERN**

Abbildung 7.1: Eingabefenster für Materialien [12]

Im nächsten Schritt werden aus den eingegebenen Materialien die Injektionsmittel gemäß den Angaben der Eignungsprüfungen erstellt. In Abbildung 7.2 ist das Fenster für die Eingabe von zementbasierten Injektionsmitteln dargestellt. In der ersten Zeile wird darin der W/B-Wert eingegeben. Danach wird der Name des Injektionsmittels definiert und die Bezeichnung der zugehörigen Eignungsprüfung eingetragen. Für die Zusammensetzung sollte ein einheitliches Schema für alle Injektionsmittel der selben Art (zementbasiert oder chemisch) bzw. mit dem selben Basismaterial gewählt werden. Das Kommentar-Feld ermöglicht wieder die Eingabe zusätzlicher Information zu dem Injektionsmittel.



Im Anschluss an die Eingabe dieser grundlegenden Daten des Injektionsmittels wird die Zusammensetzung von diesem definiert. Als erstes wird dafür das Basismaterial definiert. Für zementbasierte Injektionsmittel ist dies im Regelfall Zement. Nach der Definition des Basismaterials können weitere Zutaten (z.B. Wasser, Zusatzmittel, Bentonit, etc.) eingegeben werden. Die Eingabe erfolgt dabei als prozentueller Anteil der Masse des Basismaterials. Die Auswahl der Materialien erfolgt für alle Zutaten mittels eines Drop-down Menüs in dem die zuvor definierten Materialien ausgewählt werden können. Das Programm ermittelt aus der Dichte der Zutaten und deren prozentuellem Anteil automatisch die Dichte des Injektionsmittels (siehe Kapitel 7.4).

**Eintrag Bearbeiten** ✕

Zement  Chemisch

W/B  
1.5

Name  
FB-Suspension

Eignungsprüfung  
10\_1\_1

Zusammensetzung  
1,5-0-1

Kommentar

Basismaterial  
Ultrafin12 ▼

Zutaten ▼ Prozentueller Anteil +

Sikament 12S - 1 ✕

**LÖSCHEN**      **ABBRECHEN**      **SPEICHERN**

Abbildung 7.2: Eingabefenster für zementbasierte Injektionsmittel [12]

## 7.3 Chemische Injektionsmittel

Im ersten Schritt werden analog zur in Kapitel 7.2 beschriebenen Vorgehensweise die Materialien definiert. Es werden wieder der Name des Injektionsmittels definiert und die zugehörige Eignungsprüfung eingetragen. Wie für die zementbasierten Injektionsmittel sollte wieder ein einheitliches Schema für die Zusammensetzung verwendet werden. Im Kommentar-Feld können wieder zusätzliche Information eingetragen werden.

Anschließend wird wieder beginnend mit dem Basismaterial die Zusammensetzung definiert. Für Silikatgele stellt im Regelfall Silikat das Basismaterial dar. In Abbildung 7.3 ist das Fenster für die Eingabe von chemischen Injektionsmittel dargestellt. Nach Eingabe des Basismaterials können wieder weitere Zutaten (z.B. Härter) hinzugefügt werden. Wie für die zementbasierten Injektionsmittel erfolgt die Eingabe wieder als prozentueller Anteil der Masse des Basismaterials. Nach der Eingabe des Basismaterials und der weiteren Zutaten ermittelt das Programm wieder automatisch die Dichte des Injektionsmittels (siehe Kapitel 7.4).

Eintrag Bearbeiten ✕

Zement  Chemisch

Name  
Silikat-Gel

Eignungsprüfung  
200\_1\_1

Zusammensetzung  
1,0-0-12,5

Kommentar

Basismaterial  
Silikat ▼

Zutaten ▼ Prozentueller Anteil +

Härter - 13 ✕

LÖSCHEN    ABBRECHEN    SPEICHERN

Abbildung 7.3: Eingabefenster für chemische Injektionsmittel [12]

## 7.4 Berechnung der Dichte durch die Materialdatenbank

Für ein besseres Verständnis der Funktionsweise der Materialdatenbank wird die automatische Berechnung der Dichte beispielhaft für je ein zementbasiertes Injektionsmittel und ein chemisches Injektionsmittel durchgeführt. Es werden die in den Abbildungen 7.2 und 7.3 dargestellten Zusammensetzung verwendet. Die für die Berechnung benötigten Werte sind in den Tabellen 7.1 und 7.2 eingetragen.

### Bestimmung der Dichte für ein zementbasiertes Injektionsmittel:

Bestandteil	Prozentueller Anteil [%]	Dichte [ $kg/l$ ]
Zement	100	3,10
Wasser	150	1,00
Sikament 12S	1	1,07

Tabelle 7.1: Beispielhafte Zusammensetzung für ein zementbasiertes Injektionsmittel [3]

$$\rho_{zem.Inj.} = \frac{100 * 3,10 + 150 * 1,00 + 1 * 1,07}{100 + 150 + 1} = 1,84 \text{ kg/l} \quad (7.1)$$

### Bestimmung der Dichte für ein chemisches Injektionsmittel:

Bestandteil	Prozentueller Anteil [%]	Dichte [ $kg/l$ ]
Silikat	100	1,10
Wasser	100	1,00
Härter	12,5	1,07

Tabelle 7.2: Beispielhafte Zusammensetzung für ein chemisches Injektionsmittel [3]

$$\rho_{chem.Inj.} = \frac{100 * 1,10 + 100 * 1,00 + 12,5 * 1,07}{100 + 100 + 12,5} = 1,05 \text{ kg/l} \quad (7.2)$$

## 7.5 Erweiterungsmöglichkeiten für die Materialdatenbank

In diesem Kapitel werden einige Funktionen erläutert, um welche die Materialdatenbank in Zukunft erweitert werden könnte. Ziel dieser Erweiterungen ist es, vor allem einen Abgleich der Ergebnisse der Güteprüfungen mit den Ergebnissen der Eignungsprüfung des betreffenden Materials und somit ein automatisiertes Qualitätsmanagement zu ermöglichen.

Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die Eingabe des Materials in die Datenbank um die Möglichkeit erweitert werden, die Ergebnisse aus der Eignungsprüfung für das Material eintragen zu können. Diese Eingabe könnte in ähnlicher Weise wie die Eingabe der Ergebnisse der Güteprüfungen, wie in Kapitel 9 beschrieben, erfolgen. Zusätzlich ist dabei jedoch die Option zu schaffen, einen Toleranzbereich festzulegen, um gewisse Abweichungen von der Eignungsprüfung zu berücksichtigen. Die Definition des Toleranzbereiches sollte in Prozent erfolgen. Es sollte also angegeben werden, um wie viel Prozent der in der Eignungsprüfung erreichte Wert über- bzw. unterschritten werden darf. Dabei müssen der Prozentsatz für die Unter- bzw. Überschreitung jedoch nicht identisch sein. Dadurch kann berücksichtigt werden, dass der Toleranzbereich nicht gleich groß in beide Richtungen sein muss. Der Toleranzbereich sollte projektspezifisch festgelegt werden. Nach erfolgter Eingabe der Ergebnisse der Eignungsprüfung und des Toleranzbereiches sollten diese nur mehr von ausgewählten Personen geändert werden dürfen. Alle Änderungen sollten vom Programm protokolliert werden. Dabei sollte vor allem gespeichert werden, wer die Änderung durchgeführt hat, wann sie durchgeführt wurde und was geändert wurde.

Da nicht alle Parameter des Injektionsmittels bei jeder Güteprüfung kontrolliert werden müssen, könnte bei der Eingabe der Eignungsprüfung auch der Intervall, in welchem der jeweilige Parameter geprüft werden muss, definiert werden. Das Programm könnte dadurch, gemeinsam mit der Information über das injizierte Volumen, bei der Eingabe der Güteprüfung automatisch anzeigen, welche Werte einzutragen sind.

In den beiden anschließenden Unterkapiteln sind mögliche Masken für die Eingabe der Ergebnisse der Eignungsprüfungen der zuvor eingegebenen Injektionsmittel getrennt für zementbasierte und chemische Injektionsmittel dargestellt. Diese Masken sollten direkt im Anschluss an die Eingabe der Materialzusammensetzung, wie in Abbildung 7.2 bzw. Abbildung 7.3 dargestellt, aufscheinen. Des Weiteren werden Masken für die Eingabe der Toleranzen und der Prüfintervalle für die Güteprüfungen dargestellt.

### 7.5.1 Zementbasierte Injektionsmittel

Abbildung 7.4 zeigt die Maske für die Eingabe der Ergebnisse der Eignungsprüfung von zementbasierten Injektionsmitteln. Es wurden hier nur die Ergebnisse für die gängigsten Prüfverfahren im Zuge der Eignungs- und Güteprüfung berücksichtigt. Es handelt sich dabei auch um jene Prüfverfahren, für die in Kapitel 8 Prüfanweisungen erstellt wurden und die in Kapitel 9 in der Eingabe der Ergebnisse der Güteprüfungen berücksichtigt wurden. Neben dem Ergebnis, das eingetragen werden soll, ist immer auch die Einheit angegeben, in der die Werte eingetragen werden müssen. Diese ist identisch mit der Einheit die in Kapitel 9 für die Eingabe verwendet wird, um einen Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen. Der einzige Wert der hier nicht händisch eingetragen werden muss, ist die Dichte, da diese, wie bereits beschrieben, automatisch durch das Programm aus der Zusammensetzung ermittelt wird.

Ergebnisse der Eignungsprüfung ×

Dichte [ g/cm<sup>3</sup> ]

Marshzeit [ sek ]

Absetzmaß nach 2 h [ % ]

Filtratwassermenge [ g ]

Fließgrenze nach Bingham [ Pa ]

plastische Viskosität [ mPa\*s ]

einaxiale Druckfestigkeit 24h [ kN/m<sup>2</sup> ]

einaxiale Druckfestigkeit 28d [ kN/m<sup>2</sup> ]

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Die Dichte muss nicht eingetragen werden, da diese aus der Dichte und der Zusammensetzung des Materials automatisch vom Programm ermittelt wird.

Abbildung 7.4: Eingabefenster für die Ergebnisse der Eignungsprüfung für zementbasierte Injektionsmittel [3]

Nach der Eingabe der Ergebnisse der Eignungsprüfung sind in Abbildung 7.5 und Abbildung 7.6 die Toleranzen und die Prüfintervalle für die Durchführung der Güteprüfungen einzutragen. Die Eingabe erfolgt dabei getrennt für jeden der zu prüfenden Werte. Als erstes ist dabei die Toleranz einzugeben. Es gibt dabei eine getrennte Eingabe für die Toleranz nach oben und nach unten um, es zu ermöglichen, dass die Toleranz in beide Richtungen nicht gleich groß sein muss. Als nächstes ist über ein Dropdown-Menü die Art des Intervalls auszuwählen. Die Auswahlmöglichkeiten sind dabei "*Zeitliches Intervall*", "*Mengenintervall*", "*Zeit- und Mengenintervall*", und "*Muss immer geprüft werden*". Je nach der im Dropdown Menü getroffenen Auswahl müssen im nächsten Schritt ein zeitliches Intervall in Tagen seit der letzten Prüfung und/oder ein Mengenintervall in Abhängigkeit der seit der letzten Prüfung injizierten Menge Injektionsmittel in Kilogramm eingetragen werden. Wurde die Option "*Muss immer geprüft werden*" ausgewählt, ist kein Intervall eintragbar.

Nach dem Betätigen der Speichern-Taste in Abbildung 7.6 ist eine Änderung der zuvor eingegebenen Werte nur mehr durch dafür autorisierte Personen möglich. Sollten Änderungen durchgeführt werden, sind diese zu speichern. Dabei ist festzuhalten, wer die Änderungen wann durchgeführt hat und was geändert wurde.

Toleranzen und Intervalle für Güteprüfungen 1
×

Dichte

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

Marshzeit

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

Absetzmaß nach 2 h

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

Filtratwassermenge

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

ABBRECHEN   ZURÜCK   WEITER

Abbildung 7.5: Eingabefenster für die Toleranzen und Intervalle in der Güteprüfung [3]

Toleranzen und Intervalle für Güteprüfungen 2
×

Fließgrenze

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 8px;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

plastische Viskosität

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 8px;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

einaxiale Druckfestigkeit nach 24h

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 8px;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

einaxiale Druckfestigkeit nach 28d

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 8px;">                     Dropdown Menü:                      Zeitliches Intervall                      Mengenintervall                      Zeit- und Mengenintervall                      Muss immer geprüft werden                 </div>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

ABBRECHEN   ZURÜCK   SPEICHERN

Abbildung 7.6: Eingabefenster für die Toleranzen und Intervalle in der Güteprüfung [3]



## 7.5.2 Chemische Injektionsmittel

Die Eingabe der Ergebnisse der Eignungsprüfung für chemische Injektionsmittel erfolgt analog wie im Unterkapitel 7.5.1 beschrieben. Es wurden nur die Ergebnisse der gängigsten Prüfverfahren für die Eignungs- und Güteprüfung berücksichtigt. Dies sind jene Verfahren, für die in Kapitel 8 Prüfanweisungen erstellt wurden und die in Kapitel 9 berücksichtigt wurden. Neben dem einzutragenden Wert ist die Einheit, in der dieser Wert einzutragen ist, dargestellt. Die Dichte muss nicht händisch eingegeben werden, da sie vom Programm automatisch ermittelt wird.

Ergebnisse der Eignungsprüfung ×

Dichte [ g/cm<sup>3</sup> ]

Kippzeit [ min ]

Synäreswasser [ g ]

plastische Viskosität [ mPa\*s ]

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Die Dichte muss nicht eingetragen werden, da diese aus der Dichte und der Zusammensetzung des Materials automatisch vom Program ermittelt wird.

Abbildung 7.7: Eingabefenster für die Ergebnisse der Eignungsprüfung für chemische Injektionsmittel [3]

Nach der Eingabe der Ergebnisse der Eignungsprüfung sind in Abbildung 7.8 die Toleranzen und Prüfintervalle einzutragen. Als erstes sind die Toleranzen getrennt nach oben und unten einzugeben. Im nächsten Schritt ist über ein Dropdown-Menü die Art des Intervalls auszuwählen. Die Auswahlmöglichkeiten sind dabei "*Zeitliches Intervall*", "*Mengenintervall*", "*Zeit- und Mengenintervall*", und "*Muss immer geprüft werden*". Je nach getroffener Auswahl müssen im nächsten Schritt ein zeitliches Intervall in Tagen seit der letzten Prüfung und/oder ein Mengenintervall in Abhängigkeit der seit der letzten Prüfung injizierten Menge Injektionsmittel in Kilogramm eingetragen werden. Wurde die Option "*Muss immer geprüft werden*" gewählt, ist kein Intervall eintragbar.

Nach dem Betätigen der Speichern-Taste in Abbildung 7.8 ist eine Änderung der zuvor eingegebenen Werte nur mehr durch dafür autorisierte Personen möglich. Sollten Änderungen durchgeführt werden, sind diese zu speichern. Dabei ist festzuhalten, wer die Änderungen wann durchgeführt hat und was geändert wurde.

Toleranzen und Intervalle für Güteprüfungen
×

Dichte

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

Kippzeit

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

Synäresewasser

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

plastische Viskosität

<input type="text" value="Toleranz + [ % ]"/>	<input type="text" value="Toleranz - [ % ]"/>
<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>	<input type="text" value="Intervall der Prüfung"/>
<input type="text" value="Intervall Zeit [ d ]"/>	<input type="text" value="Intervall Menge [ kg ]"/>

ABBRECHEN
ZURÜCK
SPEICHERN

Abbildung 7.8: Eingabefenster für die Toleranzen und Intervalle in der Güteprüfung [3]

# 8 Prüfanweisung für die Baustellenprüfung

## 8.1 Allgemeines


In diesem Kapitel werden Prüfanweisungen für die gängigsten Baustellenprüfungen dargestellt. Die Erklärung und die technische Durchführung dieser Verfahren werden in Kapitel 5 beschrieben. Diese Prüfanweisungen sollen als Behelf für die Durchführung der Güteprüfungen von zementbasierten und chemischen Injektionsmitteln dienen. Sie stellen somit, nach der Eingabe der Materialien und der Ergebnisse der Grundsatzprüfung in Kapitel 7, den nächsten Schritt im Rahmen des digitalen Qualitätsmanagements dar. Die Ergebnisse der mithilfe dieser Prüfanweisungen durchgeführten Versuche sind direkt in die zugehörigen, in Kapitel 9 beschriebenen Eingabemasken, einzutragen. Dadurch ergibt sich eine lückenlose Aufzeichnung der Ergebnisse der Güteprüfungen in digitaler Form. Es sind über die Prüfanweisungen hinaus keine weiteren Formulare oder andere Behelfe auf Papier erforderlich.

Es wurde für jedes Prüfverfahren eine eigene Anweisung erstellt. Darüber hinaus wurden noch allgemeine Anweisungen für die Durchführung der Güteprüfung erstellt, in der etwaige erforderliche Vorarbeiten enthalten sind. Die Anweisungen enthalten eine Liste der für die Durchführung benötigten Geräte und es wird angegeben welche Normen das jeweilige Verfahren regeln. Am Ende jeder Prüfanweisung finden sich noch Hinweise auf etwaige Besonderheiten, die während der Durchführung der Prüfung beachtet werden müssen. Für die bessere Verständlichkeit wurden der Beschreibung der einzelnen Schritte teilweise auch Fotos hinzugefügt. Die in den Prüfanweisungen enthaltenen Fotos wurden größtenteils vom **Erdbau-labor der TU Wien des Institut für Geotechnik** [22] bereitgestellt. Die in der Arbeitsanweisung für die Bestimmung der Kippzeit enthaltenen Fotos wurden der Diplomarbeit von **Dipl. Ing. Supanz** [24] entnommen.


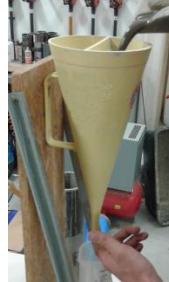
## 8.2 Prüfanweisungen für zementbasierte Injektionen

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Durchführung der Güteprüfung von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Allgemeine Vorarbeiten für die Durchführung der Güteprüfung von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3-4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Digitalwaage</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Thermometer</li> <li>• Leitfähigkeitsmessgerät</li> <li>• Marshtrichter nach DIN 4126</li> <li>• Stativ für Marshtrichter</li> <li>• Filterpresse nach DIN 4126</li> <li>• Viskosimeter</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE PRÜFANWEISUNGEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Dichte</li> <li>• Bestimmung der Marshzeit</li> <li>• Bestimmung des Absetzmaßes</li> <li>• Bestimmung der Filtratwassermenge</li> <li>• Bestimmung der Fließgrenze und der Viskosität</li> <li>• Herstellung von Probekörpern für einaxiale Druckprüfungen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Entnahme von 3-4 Litern Suspension aus dem Vorratsbehälter.		
2.	Materialbezeichnung, Datum, Zeit der Entnahme und des Mischbeginns der Charge unter allgemeine Informationen in der Eingabemaske eintragen.		
3.	Temperatur der Suspension, der Umgebung und des Anmachwassers messen und unter Temperatur + Leitfähigkeit im Eingabefenster eintragen. Sämtliche Temperaturen sind in Grad Celsius [°C] zu messen.		
4.	Elektrische Leitfähigkeit des Anmachwassers messen und unter Temperatur + Leitfähigkeit im Eingabefenster eintragen. Die Leitfähigkeit ist in Mikrosiemens pro Zentimeter [mikroS/cm] zu messen.		


## 8.2.1 Dichte

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Dichte von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Dichte von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messzylinder und Waage.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Digitalwaage</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Trockenen Zylinder abwägen und Gewicht in Gramm [g] unter Tara in das Eingabefenster eintragen.		
2.	Messzylinder bis zur 1000 ml Marke mit Suspension befüllen. Volumen der Suspension in Milliliter [ml] in das Eingabefenster eintragen.		
3.	Gefüllten Messzylinder abwägen und Gewicht in Gramm [g] unter Bruttogewicht in das Eingabefenster eintragen.		
4.	Nettogewicht der Suspension ermitteln: (automatisch durch Programm) Bruttogewicht – Tara = Nettogewicht in Gramm [g]		
5.	Dichte der Suspension ermitteln: (automatisch durch Programm) Nettogewicht / Volumen Suspension = Dichte in Gramm pro Kubikzentimeter [g/cm³]		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Dichte unmittelbar nach dem Anmischen bestimmen Alle Eingabewerte sind ohne Nachkommastelle einzutragen			


## 8.2.2 Marshzeit

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Marshzeit von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Marshzeit von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Marshtrichter.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Marstrichter nach DIN 4126</li> <li>• Stativ für Marshtrichter</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 4126 Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Marshtrichter auf Stativ aufsetzen und 1000 ml Messzylinder unter Auslaufdüse positionieren. Stoppuhr für Zeitmessung bereitlegen.		
2.	Auslaufdüse des Marshtrichters mit dem Finger verschließen. Trichter durch das Sieb bis zum Erreichen der Siebunterkante mit Suspension befüllen.		
3.	Auslaufdüse freigeben und gleichzeitig mit Zeitmessung beginnen. Bei Erreichen der 1000 ml-Marke des Messzylinders Ausfluss verschließen und Zeitmessung stoppen.		
4.	Die gemessene Zeit im Eingabefenster in Sekunden [sek] unter Marshzeit eintragen.		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen			



### 8.2.3 Absetzmaß

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung des Absetzmaßes von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung des Absetzmaßes von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messzylinder.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Messzylinder bis zur 1000 ml Marke mit Suspension befüllen. Uhrzeit des Befüllens notieren.		
2.	Absetzmaß in den festgelegten Zeitintervallen (in der Regel nach 2h und 4h) an der Skala ablesen. Die Skala ist in 10 ml Schritten angegeben. Eine Volumenreduktion von 10 ml entspricht dabei einem Absetzmaß von 1,0%. Absetzmaß in Prozent in Eingabemaske eintragen.		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen			

### 8.2.4 Filtratwasser


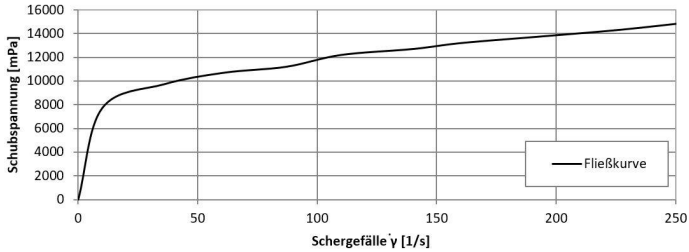
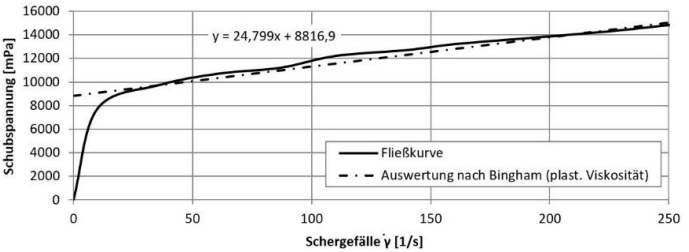
Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Filtratwassermenge von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Filtratwassermenge von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Filterpresse nach DIN 4126.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Filterpresse nach DIN 4126</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Digitalwaage</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 4126 Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Filterpresse vorbereiten. Gummidichtung, Filtersieb und Filterpapier in die Bodenplatte einbauen. Bodenplatte an Filterzylinder anbauen.		
2.	Leeren Messbecher abwägen und Gewicht in Gramm [g] unter Tara in Eingabefenster eintragen.		
3.	Ausflussöffnung mit dem Finger verschließen und Filterzylinder mit 300 ml Suspension befüllen.		
4.	Deckel mit Dichtung und Druckanschluss auf Filterzylinder festschrauben (Dichtheit kontrollieren) und in Halterung einbauen. Leeren Messbecher unter Ausflussöffnung stellen.		





PRÜFANWEISUNG	
Nummer: 2	
Datum: 17.09.2017	Bestimmung der Filtratwassermenge von zementbasierten Injektionsmitteln
Ersteller: Haslehner Benjamin	
ARBEITSANWEISUNG	
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte
5.	7 bar Druck aufbringen und mit Messung beginnen.
6.	Der Versuch ist beendet, wenn nur noch Luft aus der Ausflussöffnung austritt oder wenn 7,5 min vergangen sind.
7.	Messbecher samt Filtratwassermenge abwiegen und Gewicht in Gramm [g] unter Bruttogewicht in Eingabemaske eintragen. 
8.	Die Filtratwassermenge ermitteln: (automatisch durch das Programm) Bruttogewicht – Tara = Filtratwassermenge in Gramm [g]
9.	Filterzylinder aus Halterung ausbauen. Deckel und Bodenplatte vorsichtig abnehmen.
10.	Filterkuchen vorsichtig aus dem Filterzylinder auf ein Blatt Papier herauslösen. Höhe des Filterkuchens messen und in Zentimeter [cm] auf eine Nachkommastelle genau in die Eingabemaske eintragen. 
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Alle Gewichtseingaben sind ohne Nachkommastelle einzutragen	

## 8.2.5 Viskosimeter - Bestimmung der Fließgrenze und der plastischen Viskosität

PRÜFANWEISUNG	
Nummer: 1	
Datum: 17.09.2017	Bestimmung der Fließgrenze und der Viskosität von zementbasierten Injektionsmitteln Ersteller: Haslehner Benjamin
ANWENDUNGSBEREICH	
Bestimmung der Fließgrenze und der plastischen Viskosität von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Viskosimeter.	
BENÖTIGTE GERÄTE	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Viskosimeter</li> <li>• Innerer Messzylinder mit gewellter Oberfläche</li> </ul>	
ZUGEHÖRIGE NORMEN	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 53019 Viskosimetrie – Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern</li> <li>• EN ISO 3219 Kunststoffe – Polymere/Harze in flüssigem, emulgierten oder dispergierten Zustand – Bestimmung der Viskosität in einem Rotationsviskosimeter</li> </ul>	
ARBEITSANWEISUNG	
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte
1.	Computer und Viskosimeter miteinander verbinden und einschalten. Im Eingabefenster das verwendete Viskosimeter auswählen.
2.	Inneren Messzylinder für die Prüfung zementbasierter Injektionsmittel an Viskosimeter anbringen. <div data-bbox="1075 1420 1369 1749" data-label="Image"> </div>
3.	Äußeren Messzylinder ca. bis zur Hälfte oder bis zur Marke mit Suspension füllen und in das Viskosimeter einbauen.
4.	Äußeren Messzylinder soweit mit Suspension auffüllen, bis etwas Suspension über den Rand des inneren Messzylinders überläuft.

<p>Nummer: 2</p>		<h1>PRÜFANWEISUNG</h1>		
<p>Datum: 17.09.2017</p>		<p>Bestimmung der Fließgrenze und der Viskosität von zementbasierten Injektionsmitteln</p>		<p>Ersteller: Haslehner Benjamin</p>
<h2>ARBEITSANWEISUNG</h2>				
<p>Nr.</p>	<p>Beschreibung der einzelnen Schritte</p>			
<p>5.</p>	<p>Das zu dem Viskosimeter dazugehörige Prüfprogramm starten. Darin das Viskosimeter und den verwendeten Messzylinder auswählen. Programm starten.</p>			
<p>6.</p>	<p>Nach Abschluss des Prüfprogramms Prüfbericht abspeichern.</p>			
<p>7.</p>	<p>Fließkurve durch Auftragen der Schubspannung [mPA] gegen das Schergefälle [1/s] ermitteln.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fließkurve</b></p>  <p style="text-align: center;">Schubspannung [mPa] vs. Schergefälle <math>\dot{\gamma}</math> [1/s]</p>		
<p>8.</p>	<p>Anlegen einer Geraden an den flachen Teil der Fließkurve. Bestimmen der Geradengleichung <math>[y = k * x + d]</math> für diese Gerade. Der Wert für k entspricht dabei der plastischen Viskosität und der Wert d der Fließgrenze.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fließkurve</b></p>  <p style="text-align: center;">Schubspannung [mPa] vs. Schergefälle <math>\dot{\gamma}</math> [1/s]</p> <p style="text-align: center;"><math>y = 24,799x + 8816,9</math></p>		
<p>9.</p>	<p>Fließgrenze im Eingabefenster in Pascal [Pa] eintragen. Plastische Viskosität im Eingabefenster in Millipascalsekunden [mPa*s] eintragen</p>			
<p>Hinweise:</p>	<p>Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Der exakte Arbeitsablauf kann in Abhängigkeit des verwendeten Viskosimeters variieren. Es ist jedenfalls die Gebrauchsanleitung des verwendeten Gerätes zu beachten.</p>			

## 8.2.6 Rückstellproben für die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Herstellung von Probekörpern für einaxiale Druckversuche von zementbasierten Injektionsmitteln	
		Ersteller: Haslehner Benjamin	
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Herstellung von Probekörpern aus zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal für die Durchführung von einaxialen Druckversuchen.			
<b>GEEIGNETE BEHÄLTNISSE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosen: praktisch in der Anwendung, Nachteile: Probenausbau, H:D ~ 1,0</li> <li>• Kunststoffrohre mit Deckel: Aufwendiger in der Anwendung, Dichtheit des Deckels muss beachtet werden, Verhältnis H:D &gt; 2,0</li> <li>• Styroporbecher: H:D ~ 1,0</li> <li>• Kunststoffbehälter: H.D = 2,0, praktisch in der Anwendung</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ÖNORM B 4415 Geotechnik – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Behälter mit Datum und Probennummer beschriften.		
2.	Innenseite des Behälters gegebenenfalls mit etwas Schalöl bestreichen, um ein Anhaften des Prüfkörpers an den Behälter zu verhindern.		
3.	Probekörper mit Suspension befüllen.		
4.	Probebehälter mit Folie (z.B. mit Gefrierbeutel) luftdicht abdecken, um ein Austrocknen zu verhindern		

Nummer: 2		<b>PRÜFANWEISUNG</b>		
Datum: 17.09.2017		Herstellung von Probekörpern für einaxiale Druckversuche von zementbasierten Injektionsmitteln		Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>				
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte			
5.	Während des Erstarrens der Suspension (ca. 12-24h) sind Erschütterungen durch Transporte zu vermeiden.			
6.	Wichtig: Nach dem Erstarren Lagerung des Probekörpers im Wasserbad bei Raumtemperatur bis zur Versuchsdurchführung.			
7.	In Eingabemaske auswählen, dass eine Rückstellprobe für die einaxiale Druckprüfung nach 24 Stunden und/oder nach 28 Tagen hergestellt wurde.			
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Vor dem Befüllen sind die Probekörper auf Dichtheit zu überprüfen				

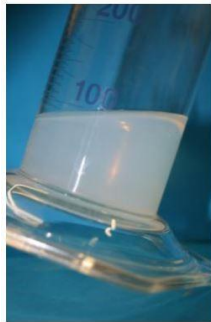
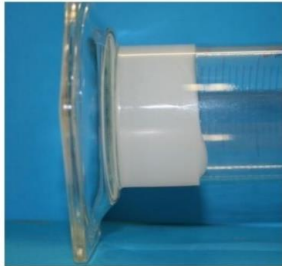
## 8.3 Prüfanweisungen für chemische Injektionen

Nummer: 1	<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017	Durchführung der Güteprüfung von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>		
Allgemeine Vorarbeiten für die Durchführung der Güteprüfung von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal.		
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3-4 Liter</li> <li>• Messbecher 250 Milliliter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Messzylinder 250 Milliliter</li> <li>• Kunststoffbecher</li> <li>• Digitalwaage</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Thermometer</li> <li>• Viskosimeter</li> </ul>		
<b>ZUGEHÖRIGE PRÜFANWEISUNGEN</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Dichte</li> <li>• Bestimmung der Kippzeit</li> <li>• Bestimmung des Synäresewassers</li> <li>• Bestimmung der Viskosität</li> </ul>		
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>		
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte	
1.	Entnahme von 3-4 Litern Injektionsgut aus dem Vorratsbehälter.	
2.	Materialbezeichnung, Datum, Zeit der Entnahme und des Mischbegins der Charge unter allgemeine Informationen in der Eingabemaske eintragen.	
3.	Temperatur der Umgebung, der Komponente A und des Gels messen und unter Temperaturen im Eingabefenster eintragen. Alle Temperaturen sind dabei in Grad Celsius [°C] einzutragen.	

### 8.3.1 Dichte

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Dichte von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Dichte von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messbecher und Waage.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 250 Milliliter</li> <li>• Digitalwaage</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Trockenen Messzylinder abwiegen und Gewicht in Gramm [g] unter Tara in Eingabefenster eintragen.		
2.	Messbecher mit einer ausreichenden Menge an Injektionsgut befüllen. Volumen des Injektionsguts in Milliliter [ml] in das Eingabefenster eintragen.		
3.	Gefüllten Messbecher abwiegen und Gewicht in Gramm [g] unter Bruttogewicht im Protokoll notieren.		
4.	Nettogewicht des Gels ermitteln: (automatisch durch Programm) Bruttogewicht – Tara = Nettogewicht in Gramm [g]		
5.	Dichte des Gels ermitteln: (automatisch durch Programm) Nettogewicht / Volumen Gel = Dichte in Gramm pro Kubikzentimeter [g/cm <sup>3</sup> ]		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Dichte unmittelbar nach dem Anmischen bestimmen Alle Eingabewerte sind ohne Nachkommastelle einzutragen			

### 8.3.2 Kippzeit

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Kippzeit von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Kippzeit von chemischen Injektionsmitteln im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Kipptest.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Kunststoffbecher</li> <li>• Stoppuhr</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Leeren Kunststoffbecher mit ca. 100 Milliliter [ml] Suspension füllen.		
2.	Kunststoffbecher in regelmäßigen Zeitintervallen neigen, um festzustellen, ob die Kippzeit bereits erreicht ist.		
3.	Die Kippzeit gilt als erreicht wenn, der Kunststoffbecher um 90° verdreht werden kann und dabei keine Flüssigkeit mehr austritt (siehe Bild). Ist dieser Punkt erreicht, ist die Uhrzeit im Format [hh:mm] in die Eingabemaske unter Kippzeitpunkt einzutragen.		
4	Berechnung der Kippzeit: (automatisch durch Programm) Kippzeitpunkt – Zeitpunkt des Mischbeginns = Kippzeit		
<p>Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Die Ermittlung der Kippzeit mittels Kipptest stellt nur eine sehr ungenaue Methode zur Bestimmung der Kippzeit dar. Die Kippzeit sollte wenn möglich mittels Viskosimeter ermittelt werden.</p>			


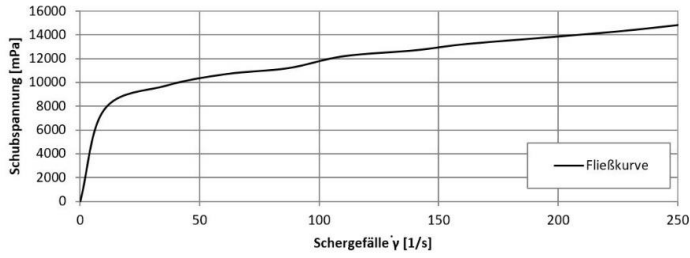
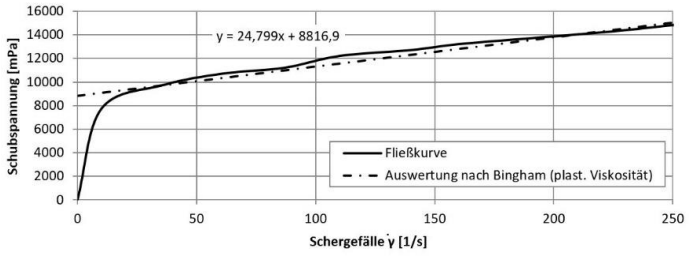


### 8.3.3 Synäresewasser

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung des Synäresewassers von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung des Synäresewassers von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messzylinder.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Stoppuhr</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Leeren Messzylinder mit 500 Milliliter [ml] Gel befüllen.		
2.	Nach dem Erreichen der Kippzeit (siehe Prüfanweisung für die Bestimmung der Kippzeit) den Zylinder mit 500 Milliliter [ml] Wasser auffüllen.		
3.	Zylinder luftdicht verschließen, um Verdunstungsverluste zu vermeiden.		
4.	In Eingabemaske auswählen, dass ein Synäreseversuch durchgeführt wurde.		
5.	Zylinder für 28 Tage bei 10°C lagern.		
6.	Nach 28 Tagen Ergebnis des Synäreseversuchs in die Eingabemaske in Prozent eintragen. Eine Wasseraufnahme ist mit einem positiven und eine Wasserabgabe mit einem negativen Vorzeichen einzutragen.		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Wasserabgabe wenn Grenze zw. Gel und Wasser unter 500 Milliliter Marke Wasseraufnahme wenn Grenze zw. Gel und Wasser über 500 Milliliter Marke			

### 8.3.4 Viskosimeter - Bestimmung der plastischen Viskosität

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der plastischen Viskosität von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der plastischen Viskosität von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Viskosimeter.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Viskosimeter</li> <li>• Innerer Messzylinder mit glatter Oberfläche</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 53019 Viskosimetrie – Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern</li> <li>• EN ISO 3219 Kunststoffe – Polymere/Harze in flüssigem, emulgierten oder dispergierten Zustand – Bestimmung der Viskosität in einem Rotationsviskosimeter</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Computer und Viskosimeter miteinander verbinden und einschalten. Im Eingabefenster das verwendete Viskosimeter auswählen.		
2.	Inneren Messzylinder für die Prüfung chemischer Injektionsmittel (glatte Oberfläche) an Viskosimeter anbringen.		
3.	Äußeren Messzylinder bis zur Marke mit Injektionsgut auffüllen und in das Viskosimeter einbauen.		

<p>Nummer: 2</p>		<h1>PRÜFANWEISUNG</h1>	
<p>Datum: 17.09.2017</p>		<p>Bestimmung der plastischen Viskosität von chemischen Injektionsmitteln</p>	<p>Ersteller: Haslehner Benjamin</p>
<h2>ARBEITSANWEISUNG</h2>			
<p>Nr.</p>	<p>Beschreibung der einzelnen Schritte</p>		
<p>4.</p>	<p>Das zu dem Viskosimeter dazugehörige Prüfprogramm starten. Darin das Viskosimeter und den verwendeten Messzylinder auswählen. Programm starten.</p>		
<p>5.</p>	<p>Nach Abschluss des Prüfprogramms Prüfbericht abspeichern.</p>		
<p>6.</p>	<p>Fließkurve durch Auftragen der Schubspannung [mPA] gegen das Schergefälle [1/s] ermitteln.</p>	<p><b>Fließkurve</b></p> 	
<p>7.</p>	<p>Anlegen einer Geraden an den flachen Teil der Fließkurve. Bestimmen der Geradengleichung <math>[y = k \cdot x + d]</math> für diese Gerade. Der Wert für k entspricht dabei der plastischen Viskosität.</p>	<p><b>Fließkurve</b></p> 	
<p>8.</p>	<p>Plastische Viskosität im Eingabefenster in Millipascalsekunden [mPa*s] eintragen</p>		
<p>Hinweise:</p>	<p>Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Der exakte Arbeitsablauf kann in Abhängigkeit des verwendeten Viskosimeters variieren. Es ist jedenfalls die Gebrauchsanleitung des verwendeten Gerätes zu beachten.</p>		

# 9 Eingabemaske für digitales Qualitätsmanagement

## 9.1 Allgemein

Im gegenständlichen Kapitel wird ein Vorschlag für ein Eingabefenster für Güteprüfungen in ein digitales Qualitätsmanagement dargestellt. Es werden hierbei nur die gängigsten Prüfverfahren der in Kapitel 5 beschriebenen Verfahren berücksichtigt. In den im Anschluss dargestellten Eingabefenstern sind daher nur Ergebnisse dieser Prüfverfahren eintragbar.

Grundlage für die Eingabe der Güteprüfungen stellen die Grundsatzprüfungen dar, da jede Güteprüfung einer Grundsatzprüfung (Material) zugeordnet werden muss. Die Eingabe der Grundsatzprüfungen in das digitale Qualitätsmanagement ist in Kapitel 7 beschrieben.

In den anschließenden Abschnitten werden die Eingabefenster, getrennt für die Eingabe von zementbasierten und chemischen Injektionsmitteln, aufgezeigt. Die Eingabe der Werte wurde dabei in mehrere Fenster aufgeteilt, um eine größere Übersichtlichkeit bei der Eingabe zu erreichen und somit die Gefahr von Fehlern zu reduzieren. Um eine weitere Fehlerquelle zu vermeiden, ist in jedem Eingabefeld das Format bzw. die Einheit in welcher die Werte einzutragen sind, angeführt.

Neben der Eingabe der Ergebnisse der Prüfungen, die mithilfe der in Kapitel 8 dargestellten Prüfanweisungen erhalten werden, sind darüber hinaus allgemeine Informationen einzutragen. Dazu zählen unter anderem das Datum, die Uhrzeit und die Temperatur (z.B. Umgebung, Wasser, etc.).

Der Zusammenhang zwischen den in Kapitel 8 dargestellten Prüfanweisungen und den in diesem Kapitel beschriebenen Eingabemasken wird in Kapitel 10, insbesondere durch die Abbildung 10.1, erläutert.

## 9.2 Zementbasierte Injektionsmittel

In Abbildung 9.1 ist das erste Eingabefenster dargestellt. In diesem werden allgemeine Informationen zu der Güteprüfung eingetragen. Im ersten Schritt wird dabei ausgewählt, ob es sich um ein zementbasiertes oder chemisches Injektionsmittel handelt. Im Feld "Materialbezeichnung" wird mittels Dropdown-Menü das Material ausgewählt, welches im Zuge dieser Güteprüfung untersucht wurde. Die Auswahlmöglichkeiten im Dropdown-Menü ergeben sich dabei aus den in die Materialdatenbank (Eingabe siehe Kapitel 7) eingegebenen Materialien. Es werden dabei, je nachdem was im ersten Schritt ausgewählt wurde, entweder nur zementbasierte oder chemische Injektionsmittel zur Auswahl angezeigt. Als nächstes werden das Datum der Durchführung der Güteprüfung, die Uhrzeit der Entnahme des Prüfguts aus dem Vorratsbehälter und die Uhrzeit des Mischbeginns der Charge eingetragen. Das Datum ist dabei im Format [YYMMDD] und die beiden Uhrzeiten im Format [hh : mm] zu erfassen.

**Allgemeine Informationen** ✕

Zement  Chemisch

Materialbezeichnung

Datum [ YYMMDD ]

Entnahmezeit [ hh:mm ]

Mischbegin Charge [ hh:mm ]

ABBRECHEN WEITER

Dropdown-Menü:  
Auswahl der vorher  
eingegebenen Materialien bzw.  
Grundsatzprüfungen getrennt  
nach zementbasierten und  
chemischen Injektionsmitteln.

Abbildung 9.1: Eingabefenster für Allgemeine Informationen (zementbasiert) [3]

Im nächsten Fenster (siehe Abbildung 9.2) werden diverse Temperaturen und die elektrische Leitfähigkeit des Anmachwassers erfasst. Die zu erfassenden Temperaturen sind dabei die Umgebungstemperatur, die Wassertemperatur sowie die Suspensionstemperatur. Alle Temperaturen sind dabei in Grad Celsius [°C] und auf eine Stelle nach dem Komma genau einzutragen. Die elektrische Leitfähigkeit ist in Mikro-Siemens pro Meter [ $\mu S/m$ ] und ohne Nachkommastelle zu erfassen.

The image shows a yellow header bar with the text "Temperaturen + Leitfähigkeit" and a close button (X). Below the header are four input fields with the following labels: "Umgebungstemperatur [ °C ]", "Wassertemperatur [ °C ]", "Leitfähigkeit Anmachwasser [ mikroS/cm ]", and "Suspensionstemperatur [ °C ]". At the bottom of the form are three buttons: "ABBRECHEN", "ZURÜCK", and "WEITER".

Abbildung 9.2: Eingabefenster für Temperatur und Leitfähigkeit (zementbasiert) [3]

Im Anschluss an die Eingabe der Temperaturen und der elektrischen Leitfähigkeit des Anmachwassers erfolgt die Eingabe der Ergebnisse aus der Güteprüfung. Diese ist aus Gründen der Übersichtlichkeit in mehrere Fenster geteilt.

Im ersten Fenster (siehe Abbildung 9.3) werden die für die Bestimmung der Dichte erforderlichen Werte eingetragen. Dabei handelt es sich um das Tara (Gewicht des Messzylinders), das Bruttogewicht (Gewicht Suspension + Tara) und das Volumen der Suspension (normalerweise 1000 ml). Sämtliche Gewichte sind dabei in Gramm [g] ohne Nachkommastelle einzutragen. Das Volumen der Suspension ist in Milliliter [ml] bzw. Kubikzentimeter [cm<sup>3</sup>], ebenfalls ohne Nachkommastelle, zu erfassen. Das Programm ermittelt daraufhin automatisch das Nettogewicht der Suspension, indem es vom Bruttogewicht das Tara subtrahiert. Zusammen mit dem Volumen ermittelt das Programm daraufhin automatisch die Dichte der Suspension in [g/ml] bzw. [g/cm<sup>3</sup>].

**Dichte** x

Tara [ g ]

Bruttogewicht [ g ]

Volumen Suspension [ ml ]

Normalerweise 1000 ml

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Abbildung 9.3: Eingabefenster für die Dichte (zementbasiert) [3]

In Abbildung 9.4 sind die Marshzeit in ganzen Sekunden [*sek*] und das Absetzmaß als Prozentsatz [%] des freien Wassers über der Suspension bezogen auf die Gesamthöhe einzutragen.

**Marshzeit und Absetzmaß** x

Marshzeit [ sek ]

Absetzmaß nach 2h [ % ]

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Abbildung 9.4: Eingabefenster für die Marshzeit und das Absetzmaß [3]

Im Anschluss an die Eingabe der Marshzeit und des Absetzmaßes werden in Abbildung 9.5 alle Werte für die Ermittlung der Filtratwassermenge und die Höhe des Filterkuchens erfasst. Für die Bestimmung der Filtratwassermenge werden dabei das Tara (Gewicht des Messbechers) und das Bruttogewicht (Gewicht Suspension + Tara) eingetragen. Sämtliche Gewichte sind dabei in Gramm [*g*] ohne Nachkommastelle einzutragen. Durch Subtraktion des Taras von dem Bruttogewicht ermittelt das Programm automatisch die Filtratwassermenge in Gramm [*g*]. Die Eingabe der Höhe des Filterkuchens erfolgt in Zentimeter [*cm*], gerundet auf eine Stelle nach dem Komma.

Filtratwassermenge X

Tara [ g ]

Bruttogewicht [ g ]

Höhe des Filterkuchens [ cm ]

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Abbildung 9.5: Eingabefenster für die Filtratwassermenge [3]

Im nächsten Fenster (siehe Abbildung 9.6) wird festgehalten, ob Rückstellproben hergestellt wurden. Die Eingabe, ob Rückstellproben hergestellt wurden, erfolgt mittels Dropdown-Menüs getrennt für Proben für eine Prüfung nach 24 Stunden (Frühfestigkeit) oder nach 28 Tagen (Endfestigkeit). In den Dropdown-Menüs kann zwischen "Ja" oder "Nein" ausgewählt werden, je nachdem ob eine Rückstellprobe hergestellt wurde oder nicht. Wurde für zumindest eine der beiden Möglichkeiten "Ja" im Dropdown-Menü ausgewählt, sind zu einem späteren Zeitpunkt die Ergebnisse der einaxialen Druckprüfungen in ein gesondertes Fenster einzutragen (siehe Abbildung 9.8). In Abbildung 9.8 werden dabei immer nur jene Prüfungen zur Eingabe angezeigt, bei denen im Dropdown-Menü "Ja" ausgewählt wurde.

Rückstellproben X

Rückstellprobe 24h

Rückstellprobe 28d

Dropdown-Menü:  
Ja oder Nein

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Abbildung 9.6: Eingabefenster für die Rückstellproben [3]



In Abbildung 9.7 wird die Fließgrenze und die plastische Viskosität eingetragen. In einem Dropdown-Menü muss ausgewählt werden, welches Viskosimeter für die Bestimmung der Fließgrenze und der plastischen Viskosität verwendet wurde. Sollte nur ein Viskosimeter zur Verfügung stehen, kann diese Eingabe entfallen. Im Anschluss werden die Fließgrenze  $\tau_0$  in Pascal [ $Pa$ ] und die plastische Viskosität  $\eta_{pl}$  in Millipascalsekunden [ $mPa \cdot s$ ] eingetragen.

Abbildung 9.7: Eingabefenster für die Fließgrenze und Viskosität [3]

Abbildung 9.8 zeigt das Fenster für die Eingabe der Ergebnisse der einaxialen Druckprüfungen. Dieses Fenster scheint nur auf, wenn in Abbildung 9.6 für mindestens eine der beiden Rückstellproben im Dropdown-Menü die Option "Ja" ausgewählt wurde. Es sind dabei nur Werte für die Druckfestigkeiten eintragbar, für die in Abbildung 9.6 im Dropdown-Menü die Option "Ja" ausgewählt wurde. Das Programm sollte, wenn Rückstellproben hergestellt wurden, nach 24 Stunden bzw. nach 28 Tagen eine Erinnerung ausgeben, dass die Werte für die einaxialen Druckfestigkeiten eingetragen werden müssen.

Abbildung 9.8: Eingabefenster für Ergebnisse der Druckprüfung (zementbasiert) [3]

### 9.3 Chemische Injektionsmittel

Analog zur Eingabe der zementbasierte Injektionsmittel werden im ersten Eingabefenster (siehe 9.9) allgemeine Informationen zu der Güteprüfung eingetragen. Dabei wird wieder über ein Dropdown-Menü das Material ausgewählt, welches im Zuge der Güteprüfung untersucht wurde. Die Auswahl im Dropdown-Menü erfolgt aus den in Kapitel 7 eingegebenen chemischen Injektionsmitteln. Nach der Auswahl des Materials werden das Datum der Prüfungsdurchführung, die Uhrzeit der Entnahme aus dem Vorratsbehälter und die Uhrzeit des Mischbeginns eingetragen. Das Datum ist dabei im Format [YYMMDD] und die beiden Uhrzeiten im Format [hh : mm] zu erfassen.

**Allgemeine Informationen** ✕

Zement  Chemisch

Materialbezeichnung

Datum [ YYMMDD ]

Entnahmezeit [ hh:mm ]

Mischbegin Charge [ hh:mm ]

ABBRECHEN WEITER

Dropdown-Menü:  
Auswahl der vorher  
eingegebenen Materialien bzw.  
Grundsatzprüfungen getrennt  
nach zementbasierten und  
chemischen Injektionsmitteln.

Abbildung 9.9: Eingabefenster für Allgemeine Informationen (chemisch) [3]

Im zweiten Eingabefenster (siehe Abbildung 9.10) werden die Umgebungstemperatur, die Temperatur der Hauptkomponente des Injektionsmittels und die Temperatur des Gels eingetragen. Alle Temperaturen werden dabei in [°C] auf eine Stelle nach dem Komma genau erfasst.

Nach der Eingabe der Temperaturen erfolgt die Eingabe der Ergebnisse der Güteprüfung. Die Eingabe ist dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit in mehrere Fenster aufgeteilt.

**Temperaturen** X

Umgebungstemperatur [ °C ]

Temperatur Komponente A [ °C ]

Geltemperatur [ °C ]

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Abbildung 9.10: Eingabefenster für Temperatur und Leitfähigkeit (chemisch) [3]

In Abbildung 9.11 werden die für die Ermittlung der Dichte erforderlichen Werte eingegeben. Dabei handelt es sich um das Tara (Gewicht des Messzylinders), das Bruttogewicht (Gewicht Suspension + Tara) und das Gelvolumen. Sämtliche Gewichte sind dabei in Gramm [g] ohne Nachkommastelle einzutragen. Das Volumen des Gels ist in Milliliter [ml] bzw. Kubikzentimeter [cm<sup>3</sup>], ebenfalls ohne Nachkommastelle, zu erfassen. Das Programm ermittelt daraufhin analog wie bei den zementbasierten Injektionen automatisch die Dichte.

**Dichte** X

Tara [ g ]

Bruttogewicht [ g ]

Volumen Gel [ ml ]

ABBRECHEN ZURÜCK WEITER

Abbildung 9.11: Eingabefenster für die Dichte (chemisch) [3]

Im nächsten Eingabefenster (siehe Abbildung 9.12) wird die Kippzeit eingetragen und es wird festgehalten, ob ein Synäreseversuch durchgeführt wurde. Für die Kippzeit wird die Uhrzeit des Erreichens des Kipppunkts im Format  $[hh : mm]$  eingetragen. Aus der Differenz zwischen dieser Uhrzeit und dem Zeitpunkt des Mischbeginns ermittelt das Programm automatisch die Kippzeit. Die Eingabe, ob ein Synäreseversuch durchgeführt wird, erfolgt mittels Dropdown-Menü. In diesem kann zwischen "Ja" oder "Nein" ausgewählt werden. Wurde "Ja" ausgewählt, ist nach 28 Tagen das Ergebnis des Synäreseversuchs in das in Abbildung 9.14 dargestellte Fenster einzutragen.

The screenshot shows a yellow header bar with the title 'Kippzeit und Synäresewasser' and a close button (X). Below the header are two input fields: 'Kippzeitpunkt [ hh:mm ]' and 'Synäresewasser'. The 'Synäresewasser' field is a dropdown menu, indicated by a callout box with an arrow pointing to it. The callout box contains the text 'Dropdown-Menü: Ja oder Nein'. At the bottom of the form are three buttons: 'ABBRECHEN', 'ZURÜCK', and 'WEITER'.


Abbildung 9.12: Eingabefenster für die Kippzeit und das Synäresewasser (chemisch) [3]

Im letzten Eingabefenster (siehe Abbildung 9.13) wird die plastische Viskosität eingetragen. Dabei wird mittels Dropdown-Menü ausgewählt, welches Viskosimeter für die Versuchsdurchführung verwendet wurde, sofern mehrere Viskosimeter für die Versuchsdurchführung zur Verfügung stehen. Im Anschluss wird die plastische Viskosität  $\eta_{pl}$  in Millipascalsekunden  $[mPa \cdot s]$  eingetragen.

The screenshot shows a yellow header bar with the title 'Viskosimeter' and a close button (X). Below the header are two input fields: 'Viskosimeter' and 'plastische Viskosität [ mPa\*s ]'. The 'Viskosimeter' field is a dropdown menu, indicated by a callout box with an arrow pointing to it. The callout box contains the text 'Dropdown-Menü: Auswahl des für die Prüfung verwendeten Viskosimeters'. At the bottom of the form are three buttons: 'ABBRECHEN', 'ZURÜCK', and 'SPEICHERN'.

Abbildung 9.13: Eingabefenster für die Viskosität (chemisch) [3]

Abbildung 9.14 zeigt das Eingabefenster für das Ergebnis des Synäreseversuchs. Es scheint nur auf, wenn in Abbildung 9.12 im Dropdown-Menü die Option "Ja" ausgewählt wurde. Ist diese Option ausgewählt worden, sollte das Programm nach 28 Tagen eine Erinnerung ausgeben, dass ein Wert eingetragen werden muss. Die Eingabe erfolgt dabei als Prozentsatz [%] bezogen auf die 500 ml Gel zu Beginn des Versuchs. Ein positives Vorzeichen bedeutet dabei eine Wasseraufnahme und ein negatives Vorzeichen eine Wasserabgabe.



Synäresewasser x

Synäresewasser [ % ]

ABBRECHEN SPEICHERN

Abbildung 9.14: Eingabefenster für das Ergebnis des Synäreseversuchs [3]

# 10 Fazit

In diesem Abschnitt werden die drei eingangs gestellten Forschungsfragen beantwortet und es wird der Datenfluss im Rahmen des Qualitätsmanagements zusammengefasst.

## 10.1 Beantwortung der Frage 1

**Wie können die Ergebnisse der Eignungsprüfung von Injektionsmitteln im Rahmen eines digitalen Qualitätsmanagement in einer Materialdatenbank erfasst werden?**

Die Ergebnisse der Eignungsprüfung können mit den in Kapitel 7 dargestellten Eingabemasken erfasst werden. Dabei werden als erstes die in den Injektionsmitteln zur Anwendung kommenden Materialien erfasst. Anschließend werden aus diesen Materialien und deren mengenmäßige Zusammensetzung die Injektionsmittel zusammengestellt. Jedem Injektionsmittel liegt dabei eine eigene Eignungsprüfung zu Grunde. Während der Durchführung der Injektionsarbeiten kann somit jeder Injektionsvorgang und jede Güteprüfung einem Material bzw. einer Eignungsprüfung zugeordnet werden.

Nach der Zusammenstellung des jeweiligen Injektionsmittels werden die Ergebnisse der zugehörigen Eignungsprüfung eingegeben. Es werden dabei jene Werte eingetragen, die später im Zuge der Güteprüfungen regelmäßig überprüft werden müssen. Nach der Eingabe der Ergebnisse wird jedem der geprüften Parameter eine Toleranz und ein Intervall, in dem dieser Parameter im Rahmen der Güteprüfung überprüft werden muss, eingetragen. Durch die Toleranz soll eine geringe Über- bzw. Unterschreitung des im Rahmen der Eignungsprüfung ermittelten Wertes ermöglicht werden. Dadurch sollen tolerierbare Abweichungen vom Zielwert berücksichtigt werden.

Welche Abweichungen tolerierbar sind, ist in Absprache mit dem Bauherren festzulegen. Die Toleranzen sollten darüber hinaus im Zuge der Baumaßnahmen dynamisch angepasst werden, falls dies erforderlich wird. Diese Anpassung sollte auf Grundlage der im Zuge der

Prüfungen auf der Baustelle erfassten Informationen erfolgen. Durch die Datensammlung soll ermittelt werden, welche Toleranzen in der Praxis eingehalten werden können bzw. welche Toleranzen zu einer Beeinträchtigung der gewünschten Eigenschaften des Injektionskörpers führen. Das Intervall, in dem eine Güteprüfung durchgeführt werden muss, ist abhängig von der Zeit und/oder der Menge des injizierten Materials seit der letzten Güteprüfung.

## 10.2 Beantwortung der Frage 2

**Wie können die Ergebnisse der Güteprüfung von Injektionsmitteln im Rahmen eines digitalen Qualitätsmanagement erfasst und mit den Herstellparametern verknüpft werden?**

Die Durchführung der Güteprüfung kann unter Verwendung der in Kapitel 8 beschriebenen Prüfanweisungen erfolgen. Diese Anweisungen sollen es gewerblichem Personal ohne Laboranten-Ausbildung ermöglichen, die Versuche im Rahmen der Güteprüfung durchführen zu können. Die Prüfanweisungen sollen für einen standardisierten Ablauf der Güteprüfung im Zusammenspiel mit der Eingabe in ein digitales Qualitätsmanagement sorgen.

Die Ergebnisse der Güteprüfung können mit den in Kapitel 9 dargestellten Eingabemasken erfasst werden. Jede Güteprüfung wird dabei über das injizierte Material einer Eignungsprüfung zugeordnet. Über das Datum und die Uhrzeit der Güteprüfung lässt sich diese über die erfassten Daten der einzelnen Injektionsvorgänge (Datum, Uhrzeit, injizierte Menge, Injektionsdruck, etc.) mit diesen Injektionsvorgängen räumlich und zeitlich in Bezug setzen. Es kann somit jeder Injektionsvorgang dem Zeitraum zwischen zwei Güteprüfungen und somit den Eignungsprüfungen zugeordnet werden.

## 10.3 Beantwortung der Frage 3

**Wie können die Ergebnisse der Güteprüfung mit jenen der Eignungsprüfung in Bezug gesetzt werden, um feststellen zu können, ob das injizierte Material den Anforderungen entspricht?**

Durch die digitale Erfassung der Ergebnisse der Eignungsprüfung und der Güteprüfung lassen sich diese miteinander in Bezug setzen. Die Software kann durch die Erfassung der Ergebnisse automatisch die Werte der Güteprüfung mit jenen der zugehörigen Eignungsprüfung vergleichen. Unter Berücksichtigung der zulässigen Toleranzen kann somit sofort festgestellt

werden, ob es während der Ausführung zu Abweichungen von einem oder mehreren Parametern des Injektionsmittels kam. Durch die zeitliche Zuordnung der Güteprüfungen und der zeitlichen und räumlichen Erfassung der Injektionsvorgänge ist im Falle von zu großen Abweichungen auch eine räumliche Eingrenzung des betroffenen Bereichs möglich.

## 10.4 Zusammenfassung

Grundlage für das digitale Qualitätsmanagement bildet die Materialdatenbank (siehe Kapitel 7). In dieser werden erst die zur Anwendung kommenden Materialien eingetragen. Anschließend werden aus diesen Materialien die Injektionsmittel zusammengestellt. Dies erfolgt über die mengenmäßige Zusammensetzung (Rezeptur) im Bezug auf das Basismaterial (z.B. Zement bei zementbasierten Injektionsmitteln). Nach der Zusammenstellung des Injektionsmittels werden die Ergebnisse der zugehörigen Eignungsprüfung erfasst. Es werden des weiteren Toleranzen und Prüfintervalle für die einzelnen Parameter der Eignungsprüfung festgelegt.

Im Zuge der Injektionsarbeiten werden der Ort, der Zeitpunkt und die Menge an injizierten Material jedes Injektionsvorgangs erfasst. Wurde das vorgegebene Intervall (meist in Abhängigkeit der injizierten Menge) erreicht, ist für die vorgegeben Parameter eine Güteprüfung durchzuführen. Die Durchführung der Güteprüfung erfolgt mit Hilfe der in Kapitel 7 erstellten Prüfanweisungen im Baustellenlabor. Die Ergebnisse der einzelnen Prüfungen werden direkt in die in Kapitel 9 dargestellten Eingabemasken eingetragen. Alle Ergebnisse liegen somit in digitaler Form vor. Zusätzlich zu den Ergebnissen wird auch festgehalten welches Injektionsmittel geprüft wurde und wann die Eignungsprüfung stattgefunden hat.

Die digitale Erfassung der Ergebnisse der beiden Prüfungen ermöglicht einen automatischen Vergleich der Ergebnisse der Güteprüfung mit jenen der Eignungsprüfung. Der Vergleich erfolgt dabei unter Berücksichtigung der Eingangs festgelegten Toleranzen. Es kann somit sofort festgestellt werden, ob das injizierte Material den Anforderungen entsprochen hat. Bei Abweichungen die über den tolerierbaren Bereich hinausgehen, kann über den Zeitpunkt der Güteprüfung der Bereich, in dem das Injektionsgut nicht den Anforderungen entsprochen hat, räumlich eingegrenzt werden.



Die wesentlichen Vorteile der Verwendung eines standardisierten, digitalen Qualitätsmanagements sind:

- Kein Datenverlust durch die Speicherung der Daten in digitaler Form
- Einfache Verfügbarkeit der Daten für alle Projektbeteiligung
- Standardisierter Ablauf des Qualitätsmanagements reduziert die Fehleranfälligkeit
- Verknüpfungsmöglichkeit der Daten
- Analyse von Parametern und Festlegung von baustellenspezifischen Toleranzbereichen

In Abbildung 10.1 ist der Datenfluss innerhalb der Datenbank in schematischer Form dargestellt.

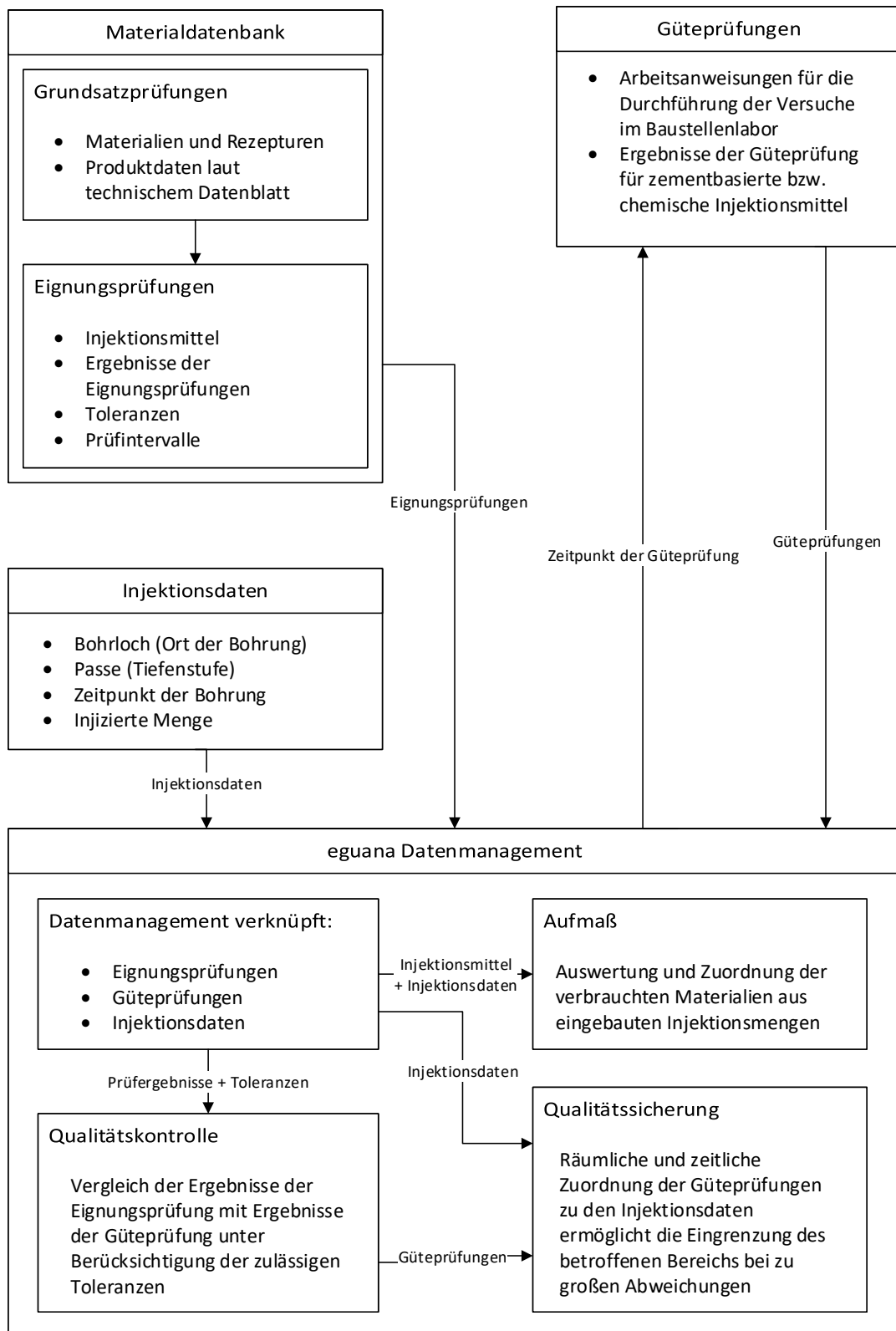


Abbildung 10.1: Schematische Darstellung des Datenflusses innerhalb der Datenbank [3]

# Literatur

- [1] Kainrath A. *Injektionen im Lockergestein - Prüfverfahren für zementbasiertes Injektionsgut und injizierte Böden*. TU Wien, Juli 2017.
- [2] Yahia A. und Khayat K. *Simple field test to characterize fluidity and washout resistance of structural cement grout*. Techn. Ber. Cemen, concrete und aggregates 20, 1998.
- [3] Ausarbeitungen und Abbildungen des Autors.
- [4] Kutzner C. *Injektionen im Baugrund*. Stuttgart: Enke, 1991.
- [5] Adam D. *Semmering-Basistunnel - Baulos SBT 3.1 - Tunnel Grautschenhof - Grundsatzprüfungen Injektionsmittel - Zwischenbericht*. TU Wien, 2013.
- [6] Adam D. *Skriptum zur Vorlesung Fels- und Tunnelbau*. TU Wien, Aug. 2014. Kap. 2.
- [7] Adam D. *Skriptum zur Vorlesung Grundbau und Bodenmechanik 1*. TU Wien, Apr. 2010. Kap. 11.
- [8] Kolymbas D. *Geotechnik*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [9] DIN 4126. *Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden*. Aug. 2013.
- [10] DIN 53019. *Viskosimetrie - Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern*. Sep. 2008.
- [11] Özkoral F. *Grundsatzversuche zur Qualitätssicherung von zementgebundenen Injektionsmitteln*. TU Wien, Feb. 2012.
- [12] Abbildungen von eguana GmbH.
- [13] Jodl H. *Skriptum zur Vorlesung Bauverfahren im Tiefbau*. TU Wien, 2015.
- [14] <http://geonor.com/live/products/geotechnical-test-equipment/fall-cone-apparatus/>. Feb. 2017.
- [15] <http://petroleumsupport.com/drilling-fluid-test-on-field/>. Juli 2017.
- [16] <https://de.wikipedia.org/wiki/Araeometer>. Juli 2017.
- [17] <http://wiki.beton-informationen.de/index.php?title=Datei:Nadelgeraet.jpg>. Feb. 2017.



- [18] <http://www.leutert.com/cement-mud-testing/de/produkte/kugelharfe.php>. Feb. 2017.
- [19] <http://www.leutert.com/cement-mud-testing/de/produkte/spuelungswaage.php>. Juli 2017.
- [20] <http://www.ratiotec.com/mess-und-pruefgeraete/zement/vicatgeraete>. Juli 2017.
- [21] Implenia AG. *Informationsbroschüre - Injektionen*. 2017.
- [22] Institut für Geotechnik, TU Wien. *Grundsatzprüfungen*. 2016.
- [23] Keller Grundbau GmbH. *Informationsbroschüre - Die Verdichtungsinjektion*. 2017.
- [24] Supanz M. *Weichgelinjektionen zur Abdichtung von Baugrubensohlen*. TU Wien, 2013.
- [25] ÖGG - Österreichische Gesellschaft für Geotechnik. *Kommentar zur EN 12715 - Injektionen*. 2016.
- [26] ÖNORM B 4415. *Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-7*. 1. Jän. 2010.
- [27] ÖNORM B 4454. *Erd- und Grundbau - Injektionen in Fest- und Lockergestein - Prüfungen*. 1. Sep. 2001.
- [28] ÖNORM EN 12715. *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen*. 1. Feb. 2001.
- [29] ÖNORM EN 196-3. *Prüfverfahren für Zement - Teil 3: Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit*. 1. Jän. 2017.
- [30] ÖNORM EN ISO 3219. *Kunststoffe - Polymere/Harze in flüssigem, emulgiertem oder dispergiertem Zustand - Bestimmung der Viskosität mit einem Rotationsviskosimeter bei definiertem Geschwindigkeitsgefälle*. 1. Nov. 1994.

# 11 Anhang

Im Anhang sind noch einmal alle Prüfanweisungen in nicht verkleinerter, druckfertiger Form enthalten.

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Durchführung der Güteprüfung von zementbasierten Injektionsmitteln	
Ersteller: Haslehner Benjamin			
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Allgemeine Vorarbeiten für die Durchführung der Güteprüfung von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3-4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Digitalwaage</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Thermometer</li> <li>• Leitfähigkeitsmessgerät</li> <li>• Marshtrichter nach DIN 4126</li> <li>• Stativ für Marshtrichter</li> <li>• Filterpresse nach DIN 4126</li> <li>• Viskosimeter</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE PRÜFANWEISUNGEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Dichte</li> <li>• Bestimmung der Marshzeit</li> <li>• Bestimmung des Absetzmaßes</li> <li>• Bestimmung der Filtratwassermenge</li> <li>• Bestimmung der Fließgrenze und der Viskosität</li> <li>• Herstellung von Probekörpern für einaxiale Druckprüfungen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Entnahme von 3-4 Litern Suspension aus dem Vorratsbehälter.		
2.	Materialbezeichnung, Datum, Zeit der Entnahme und des Mischbeginns der Charge unter allgemeine Informationen in der Eingabemaske eintragen.		
3.	Temperatur der Suspension, der Umgebung und des Anmachwassers messen und unter Temperatur + Leitfähigkeit im Eingabefenster eintragen. Sämtliche Temperaturen sind in Grad Celsius [°C] zu messen.		
4.	Elektrische Leitfähigkeit des Anmachwassers messen und unter Temperatur + Leitfähigkeit im Eingabefenster eintragen. Die Leitfähigkeit ist in MikroSiemens pro Zentimeter [mikroS/cm] zu messen.		



Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Dichte von zementbasierten Injektionsmitteln	
Ersteller: Haslehner Benjamin			
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Dichte von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messzylinder und Waage.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Digitalwaage</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Trockenen Zylinder abwiegen und Gewicht in Gramm [g] unter Tara in das Eingabefenster eintragen.		
2.	Messzylinder bis zur 1000 ml Marke mit Suspension befüllen. Volumen der Suspension in Milliliter [ml] in das Eingabefenster eintragen.		
3.	Gefüllten Messzylinder abwiegen und Gewicht in Gramm [g] unter Bruttogewicht in das Eingabefenster eintragen.		
4.	Nettogewicht der Suspension ermitteln: (automatisch durch Programm) Bruttogewicht – Tara = Nettogewicht in Gramm [g]		
5.	Dichte der Suspension ermitteln: (automatisch durch Programm) Nettogewicht / Volumen Suspension = Dichte in Gramm pro Kubikzentimeter [g/cm <sup>3</sup> ]		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Dichte unmittelbar nach dem Anmischen bestimmen Alle Eingabewerte sind ohne Nachkommastelle einzutragen			


Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Marshzeit von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Marshzeit von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Marshtrichter.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Marstrichter nach DIN 4126</li> <li>• Stativ für Marshtrichter</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 4126 Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Marshtrichter auf Stativ aufsetzen und 1000 ml Messzylinder unter Auslaufdüse positionieren. Stoppuhr für Zeitmessung bereitlegen.		
2.	Auslaufdüse des Marshtrichters mit dem Finger verschließen. Trichter durch das Sieb bis zum Erreichen der Siebunterkante mit Suspension befüllen.		
3.	Auslaufdüse freigeben und gleichzeitig mit Zeitmessung beginnen. Bei Erreichen der 1000 ml-Marke des Messzylinders Ausfluss verschließen und Zeitmessung stoppen.		
4.	Die gemessene Zeit im Eingabefenster in Sekunden [sek] unter Marshzeit eintragen.		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen			


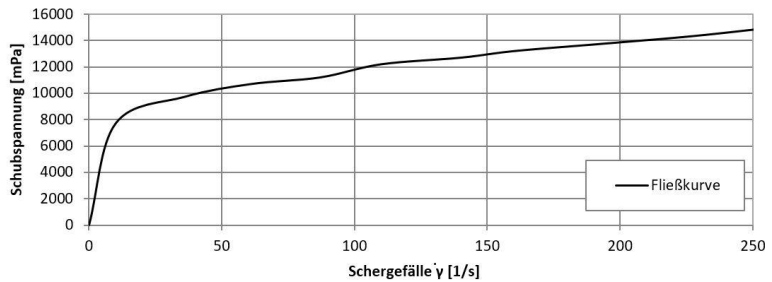
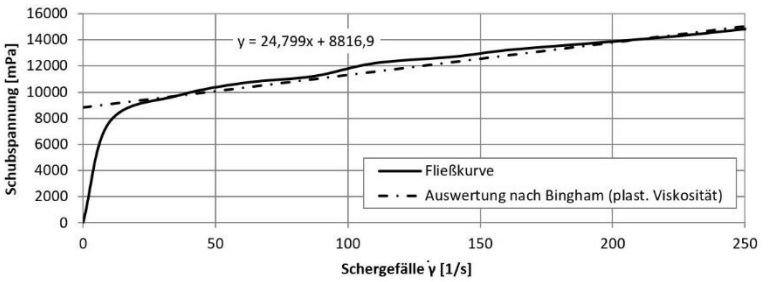




Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung des Absetzmaßes von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung des Absetzmaßes von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messzylinder.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Messzylinder bis zur 1000 ml Marke mit Suspension befüllen. Uhrzeit des Befüllens notieren.		
2.	<p>Absetzmaß in den festgelegten Zeitintervallen (in der Regel nach 2h und 4h) an der Skala ablesen. Die Skala ist in 10 ml Schritten angegeben. Eine Volumenreduktion von 10 ml entspricht dabei einem Absetzmaß von 1,0%. Absetzmaß in Prozent in Eingabemaske eintragen.</p>		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen			

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Filtratwassermenge von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Filtratwassermenge von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Filterpresse nach DIN 4126.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Filterpresse nach DIN 4126</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Digitalwaage</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 4126 Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Filterpresse vorbereiten. Gummidichtung, Filtersieb und Filterpapier in die Bodenplatte einbauen. Bodenplatte an Filterzylinder anbauen.		
2.	Leeren Messbecher abwiegen und Gewicht in Gramm [g] unter Tara in Eingabefenster eintragen.		
3.	Ausflussöffnung mit dem Finger verschließen und Filterzylinder mit 300 ml Suspension befüllen.		
4.	Deckel mit Dichtung und Druckanschluss auf Filterzylinder festschrauben (Dichtheit kontrollieren) und in Halterung einbauen. Leeren Messbecher unter Ausflussöffnung stellen.		

PRÜFANWEISUNG		
Nummer: 2	Bestimmung der Filtratwassermenge von zementbasierten Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
Datum: 17.09.2017		
ARBEITSANWEISUNG		
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte	
5.	7 bar Druck aufbringen und mit Messung beginnen.	
6.	Der Versuch ist beendet, wenn nur noch Luft aus der Ausflussöffnung austritt oder wenn 7,5 min vergangen sind.	
7.	Messbecher samt Filtratwassermenge abwägen und Gewicht in Gramm [g] unter Bruttogewicht in Eingabemaske eintragen.	
8.	Die Filtratwassermenge ermitteln: (automatisch durch das Programm) Bruttogewicht – Tara = Filtratwassermenge in Gramm [g]	
9.	Filterzylinder aus Halterung ausbauen. Deckel und Bodenplatte vorsichtig abnehmen.	
10.	Filterkuchen vorsichtig aus dem Filterzylinder auf ein Blatt Papier herauslösen. Höhe des Filterkuchens messen und in Zentimeter [cm] auf eine Nachkommastelle genau in die Eingabemaske eintragen.	
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Alle Gewichtseingaben sind ohne Nachkommastelle einzutragen		

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Fließgrenze und der Viskosität von zementbasierten Injektionsmitteln	
		Ersteller: Haslehner Benjamin	
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Fließgrenze und der plastischen Viskosität von zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Viskosimeter.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Viskosimeter</li> <li>• Innerer Messzylinder mit gewellter Oberfläche</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 53019 Viskosimetrie – Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern</li> <li>• EN ISO 3219 Kunststoffe – Polymere/Harze in flüssigem, emulgierten oder dispergierten Zustand – Bestimmung der Viskosität in einem Rotationsviskosimeter</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Computer und Viskosimeter miteinander verbinden und einschalten. Im Eingabefenster das verwendete Viskosimeter auswählen.		
2.	Inneren Messzylinder für die Prüfung zementbasierter Injektionsmittel an Viskosimeter anbringen.		
3.	Äußeren Messzylinder ca. bis zur Hälfte oder bis zur Marke mit Suspension füllen und in das Viskosimeter einbauen.		
4.	Äußeren Messzylinder soweit mit Suspension auffüllen, bis etwas Suspension über den Rand des inneren Messzylinders überläuft.		

<p>Nummer: 2</p>		<h1>PRÜFANWEISUNG</h1>	
<p>Datum: 17.09.2017</p>		<p>Bestimmung der Fließgrenze und der Viskosität von zementbasierten Injektionsmitteln</p>	
<p>Ersteller: Haslehner Benjamin</p>			
<h2>ARBEITSANWEISUNG</h2>			
<p>Nr.</p>	<p>Beschreibung der einzelnen Schritte</p>		
<p>5.</p>	<p>Das zu dem Viskosimeter dazugehörige Prüfprogramm starten. Darin das Viskosimeter und den verwendeten Messzylinder auswählen. Programm starten.</p>		
<p>6.</p>	<p>Nach Abschluss des Prüfprogramms Prüfbericht abspeichern.</p>		
<p>7.</p>	<p>Fließkurve durch Auftragen der Schubspannung [mPA] gegen das Schergefälle [1/s] ermitteln.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fließkurve</b></p> 	
<p>8.</p>	<p>Anlegen einer Geraden an den flachen Teil der Fließkurve. Bestimmen der Geradengleichung <math>[y = k * x + d]</math> für diese Gerade. Der Wert für k entspricht dabei der plastischen Viskosität und der Wert d der Fließgrenze.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fließkurve</b></p> 	
<p>9.</p>	<p>Fließgrenze im Eingabefenster in Pascal [Pa] eintragen. Plastische Viskosität im Eingabefenster in Millipascalsekunden [mPa*s] eintragen</p>		
<p>Hinweise:</p>	<p>Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Der exakte Arbeitsablauf kann in Abhängigkeit des verwendeten Viskosimeters variieren. Es ist jedenfalls die Gebrauchsanleitung des verwendeten Gerätes zu beachten.</p>		

Nummer: 1	<b>PRÜFANWEISUNG</b>		
Datum: 17.09.2017	Herstellung von Probekörpern für einaxiale Druckversuche von zementbasierten Injektionsmitteln		Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Herstellung von Probekörpern aus zementbasierten Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal für die Durchführung von einaxialen Druckversuchen.			
<b>GEEIGNETE BEHÄLTNISSE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosen: praktisch in der Anwendung, Nachteile: Probenausbau, H:D ~ 1,0</li> <li>• Kunststoffrohre mit Deckel: Aufwendiger in der Anwendung, Dichtheit des Deckels muss beachtet werden, Verhältnis H:D &gt; 2,0</li> <li>• Styroporbecher: H:D ~ 1,0</li> <li>• Kunststoffbehälter: H.D = 2,0, praktisch in der Anwendung</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ÖNORM B 4415 Geotechnik – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Behälter mit Datum und Probennummer beschriften.		
2.	Innenseite des Behälters gegebenenfalls mit etwas Schalöl bestreichen, um ein Anhaften des Prüfkörpers an den Behälter zu verhindern.		
3.	Probekörper mit Suspension befüllen.		
4.	Probebehälter mit Folie (z.B. mit Gefrierbeutel) luftdicht abdecken, um ein Austrocknen zu verhindern		

Nummer: 2		<b>PRÜFANWEISUNG</b>		
Datum: 17.09.2017		Herstellung von Probekörpern für einaxiale Druckversuche von zementbasierten Injektionsmitteln		Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>				
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte			
5.	Während des Erstarrens der Suspension (ca. 12-24h) sind Erschütterungen durch Transporte zu vermeiden.			
6.	Wichtig: Nach dem Erstarren Lagerung des Probekörpers im Wasserbad bei Raumtemperatur bis zur Versuchsdurchführung.			
7.	In Eingabemaske auswählen, dass eine Rückstellprobe für die einaxiale Druckprüfung nach 24 Stunden und/oder nach 28 Tagen hergestellt wurde.			
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Vor dem Befüllen sind die Probekörper auf Dichtheit zu überprüfen				

Nummer: 1	<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017	Durchführung der Güteprüfung von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>		
Allgemeine Vorarbeiten für die Durchführung der Güteprüfung von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal.		
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3-4 Liter</li> <li>• Messbecher 250 Milliliter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter <math>\varnothing</math> 6cm</li> <li>• Messzylinder 250 Milliliter</li> <li>• Kunststoffbecher</li> <li>• Digitalwaage</li> <li>• Stoppuhr</li> <li>• Thermometer</li> <li>• Viskosimeter</li> </ul>		
<b>ZUGEHÖRIGE PRÜFANWEISUNGEN</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Dichte</li> <li>• Bestimmung der Kippzeit</li> <li>• Bestimmung des Synäresewassers</li> <li>• Bestimmung der Viskosität</li> </ul>		
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>		
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte	
1.	Entnahme von 3-4 Litern Injektionsgut aus dem Vorratsbehälter.	
2.	Materialbezeichnung, Datum, Zeit der Entnahme und des Mischbegins der Charge unter allgemeine Informationen in der Eingabemaske eintragen.	
3.	Temperatur der Umgebung, der Komponente A und des Gels messen und unter Temperaturen im Eingabefenster eintragen. Alle Temperaturen sind dabei in Grad Celsius [°C] einzutragen.	


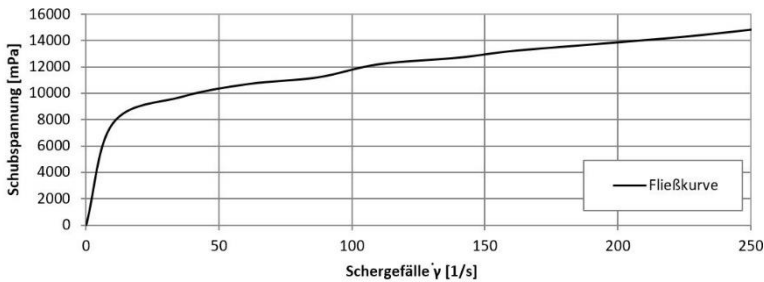
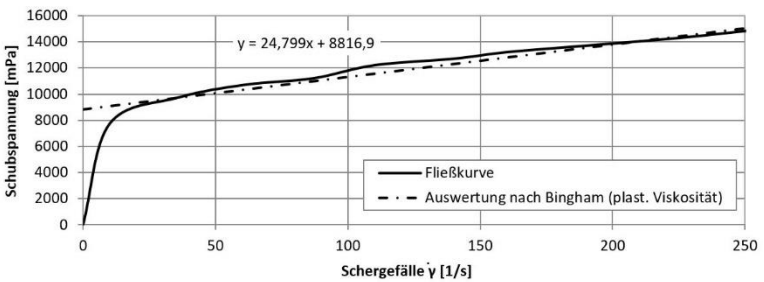


Nummer: 1	<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017	Bestimmung der Dichte von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>		
Bestimmung der Dichte von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messbecher und Waage.		
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 250 Milliliter</li> <li>• Digitalwaage</li> </ul>		
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen</li> </ul>		
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>		
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte	
1.	Trockenen Messzylinder abwägen und Gewicht in Gramm [g] unter Tara in Eingabefenster eintragen.	
2.	Messbecher mit einer ausreichenden Menge an Injektionsgut befüllen. Volumen des Injektionsguts in Milliliter [ml] in das Eingabefenster eintragen.	
3.	Gefüllten Messbecher abwägen und Gewicht in Gramm [g] unter Bruttogewicht im Protokoll notieren.	
4.	Nettogewicht des Gels ermitteln: (automatisch durch Programm) Bruttogewicht – Tara = Nettogewicht in Gramm [g]	
5.	Dichte des Gels ermitteln: (automatisch durch Programm) Nettogewicht / Volumen Gel = Dichte in Gramm pro Kubikzentimeter [g/cm <sup>3</sup> ]	
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Dichte unmittelbar nach dem Anmischen bestimmen Alle Eingabewerte sind ohne Nachkommastelle einzutragen		

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der Kippzeit von chemischen Injektionsmitteln	
		Ersteller: Haslehner Benjamin	
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der Kippzeit von chemischen Injektionsmitteln im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Kipptest.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Kunststoffbecher</li> <li>• Stoppuhr</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Leeren Kunststoffbecher mit ca. 100 Milliliter [ml] Suspension füllen.		
2.	Kunststoffbecher in regelmäßigen Zeitintervallen neigen, um festzustellen, ob die Kippzeit bereits erreicht ist.		
3.	Die Kippzeit gilt als erreicht wenn, der Kunststoffbecher um 90° verdreht werden kann und dabei keine Flüssigkeit mehr austritt (siehe Bild). Ist dieser Punkt erreicht, ist die Uhrzeit im Format [hh:mm] in die Eingabemaske unter Kippzeitpunkt einzutragen.		
4	Berechnung der Kippzeit: (automatisch durch Programm) Kippzeitpunkt – Zeitpunkt des Mischbeginns = Kippzeit		
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Die Ermittlung der Kippzeit mittels Kipptest stellt nur eine sehr ungenaue Methode zur Bestimmung der Kippzeit dar. Die Kippzeit sollte wenn möglich mittels Viskosimeter ermittelt werden.			

Nummer: 1	<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017	Bestimmung des Synäresewassers von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>		
Bestimmung des Synäresewassers von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Messzylinder.		
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messzylinder 1000 Milliliter ø 6cm</li> <li>• Stoppuhr</li> </ul>		
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>		
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>		
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte	
1.	Leeren Messzylinder mit 500 Milliliter [ml] Gel befüllen.	
2.	Nach dem Erreichen der Kippzeit (siehe Prüfanweisung für die Bestimmung der Kippzeit) den Zylinder mit 500 Milliliter [ml] Wasser auffüllen.	
3.	Zylinder luftdicht verschließen, um Verdunstungsverluste zu vermeiden.	
4.	In Eingabemaske auswählen, dass ein Synäreseversuch durchgeführt wurde.	
5.	Zylinder für 28 Tage bei 10°C lagern.	
6.	Nach 28 Tagen Ergebnis des Synäreseversuchs in die Eingabemaske in Prozent eintragen. Eine Wasseraufnahme ist mit einem positiven und eine Wasserabgabe mit einem negativen Vorzeichen einzutragen.	
Hinweise: Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Wasserabgabe wenn Grenze zw. Gel und Wasser unter 500 Milliliter Marke Wasseraufnahme wenn Grenze zw. Gel und Wasser über 500 Milliliter Marke		

Nummer: 1		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der plastischen Viskosität von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ANWENDUNGSBEREICH</b>			
Bestimmung der plastischen Viskosität von chemischen Injektionsmittel im Baustellenlabor durch eingeschultes Personal mittels Viskosimeter.			
<b>BENÖTIGTE GERÄTE</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behälter ca. 3- 4 Liter</li> <li>• Messbecher 1000 Milliliter</li> <li>• Viskosimeter</li> <li>• Innerer Messzylinder mit glatter Oberfläche</li> </ul>			
<b>ZUGEHÖRIGE NORMEN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 53019 Viskosimetrie – Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern</li> <li>• EN ISO 3219 Kunststoffe – Polymere/Harze in flüssigem, emulgierten oder dispergierten Zustand – Bestimmung der Viskosität in einem Rotationsviskosimeter</li> </ul>			
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
1.	Computer und Viskosimeter miteinander verbinden und einschalten. Im Eingabefenster das verwendete Viskosimeter auswählen.		
2.	Inneren Messzylinder für die Prüfung chemischer Injektionsmittel (glatte Oberfläche) an Viskosimeter anbringen.		
3.	Äußeren Messzylinder bis zur Marke mit Injektionsgut auffüllen und in das Viskosimeter einbauen.		

Nummer: 2		<b>PRÜFANWEISUNG</b>	
Datum: 17.09.2017		Bestimmung der plastischen Viskosität von chemischen Injektionsmitteln	Ersteller: Haslehner Benjamin
<b>ARBEITSANWEISUNG</b>			
Nr.	Beschreibung der einzelnen Schritte		
4.	<p>Das zu dem Viskosimeter dazugehörige Prüfprogramm starten. Darin das Viskosimeter und den verwendeten Messzylinder auswählen. Programm starten.</p>		
5.	Nach Abschluss des Prüfprogramms Prüfbericht abspeichern.		
6.	<p>Fließkurve durch Auftragen der Schubspannung [mPA] gegen das Schergefälle [1/s] ermitteln.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fließkurve</b></p> 	
7.	<p>Anlegen einer Geraden an den flachen Teil der Fließkurve. Bestimmen der Geradengleichung <math>[y = k * x + d]</math> für diese Gerade. Der Wert für k entspricht dabei der plastischen Viskosität.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fließkurve</b></p> 	
8.	Plastische Viskosität im Eingabefenster in Millipascalsekunden [mPa*s] eintragen		
Hinweise:	<p>Alle verwendeten Geräte nach der Prüfung gründlich reinigen Der exakte Arbeitsablauf kann in Abhängigkeit des verwendeten Viskosimeters variieren. Es ist jedenfalls die Gebrauchsanleitung des verwendeten Gerätes zu beachten.</p>		

## 12 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die hier vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt sowie der Literatur wörtlich entnommene Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Wien, am 09.10.2017

.....

Benjamin Haslehner