



Möglichkeiten und Grenzen von Injektionen im Tunnelbau

Dr. Ing. Roger Bremen

Zürich, 9. Dezember 2010

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IGT
Institut für Geotechnik
Institute for Geotechnical Engineering

Inhalt

- ▶ Einleitung
- ▶ Problemstellung
- ▶ Grundkonzepte und Modellüberlegungen
- ▶ Genereller Projektablauf
- ▶ Schlussbemerkungen

Einleitung – Definition einer Injektion

Das Injektionsprinzip besteht darin in Hohlräume oder Felsklüfte eine Flüssigkeit einzupressen welche dann im weiteren Verlauf ihre physikalischen Eigenschaften ändert.

Einleitung

Die praktische Umsetzung dieses Prinzips ist oft mit sehr unterschiedlichen Schwierigkeiten verbunden.

Insbesondere sind zu erwähnen:

- Kenntnisse des zu injizierenden Körpers.
- Eigenschaften im flüssigen und festen Zustand des Injektionsgutes.
- Verhalten des Injektionsgutes während der Injektion. Wo fließt das Injektionsgut ?
- Wurde die angestrebte Verbesserung erreicht ?

Problemstellung

Im wesentlichen können folgende Projektphasen identifiziert werden:

- Festlegung der Zielsetzungen und der Verantwortlichkeiten
- Lösungsaufbau – Lösungskonzept
- Vorversuche und Massnahmenplanung
- Injektionsausführung mit allfälligen Optimierungen
- Kontrolle der Zielsetzungen

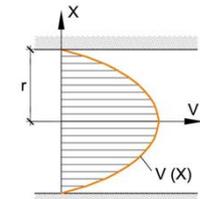
Problemstellung

Wie ist es möglich die Verbesserung der mechanischen und/oder der hydraulischen Eigenschaften des zu injizierenden Körpers in optimaler Weise zu erreichen ?

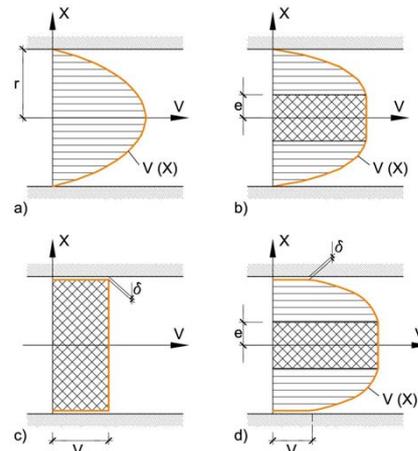
- ▶ Grundkonzepte und Modellüberlegungen
- ▶ Generelle Abwicklung einer Injektionsmassnahme

Grundkonzepte und Modellüberlegungen

Wasser \neq Injektionsgut



Newtonische Flüssigkeit

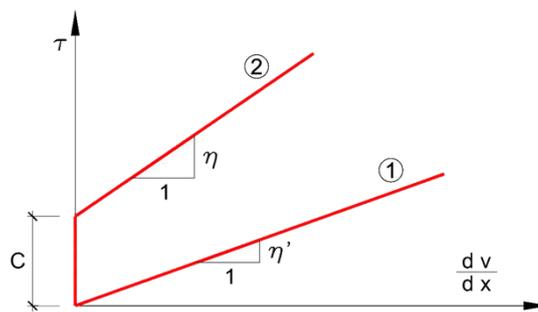


Binghamische Flüssigkeit

7 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Grundkonzepte und Modellüberlegungen



Das Durchdringvermögen wird bei Suspensionen wesentlich vom Grösstkorn beeinflusst.

- ▶ Nur stabile Suspensionen einsetzen.
- ▶ Flüssigere Suspensionen haben grundsätzlich kein besseres Durchdringvermögen.

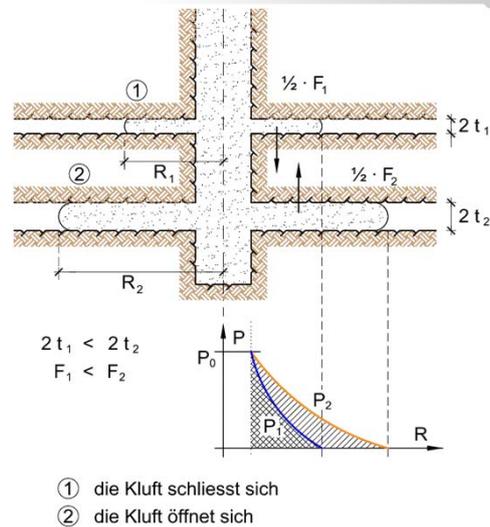
8 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Grundkonzepte und Modellüberlegungen

Grenzen der mechanischen Verbesserung der Felskennwerte

Im besten Fall werden die feinen Klüfte zusammengepresst. Je nach geologischen Verhältnissen kann die "Verbesserung" sehr unterschiedlich sein.



9 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf - Einleitung

- Fast keine Normengrundlage (DIN)
- Standardrezepte mit Skepsis zu hinterfragen
- Lösungskonzepte auf den Spezialfall auslegen
- Vorversuche unbedingt notwendig
- Erfahrung dient höchstens um vergangene Fehler zu vermeiden

10 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf - Injektionsgut

Injektionsgut	Vorteile	Nachteile
Zementschlamm	<ul style="list-style-type: none"> - Kostengünstig - Einfach in der Handhabung - Gute mechanische Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> - Normalzement min 0.3mm Rissweite - Feinstzement ~ 0.1mm Rissweite
Harze	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr flexibel - Gutes Durchdringvermögen 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Kosten - Aufwendig in der Handhabung
Silikate	<ul style="list-style-type: none"> - Relativ Kostengünstig - Gutes Durchdringvermögen 	<ul style="list-style-type: none"> - Bescheidene mechanische Eigenschaften - Umwelt

11 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf - Injektionsgut

- Das ideale Injektionsgut gibt es nicht
- Bei der Wahl des Injektionsgutes sind insbesondere folgende Aspekte zu bewerten

Flüssigen Zustand

- Rheologische Parameter
- Zu injizierende Öffnungen / Klüfte
- Stabilität, Auswaschbarkeit
Reaktionszeit

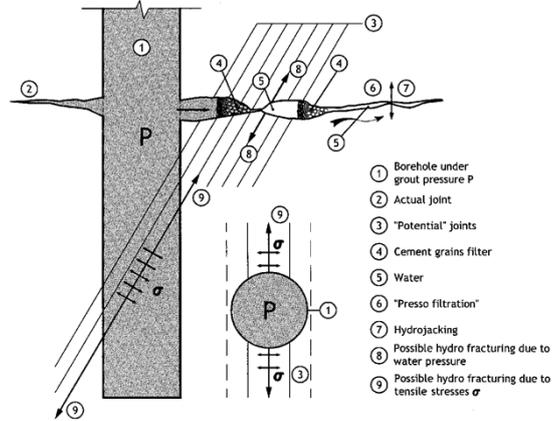
Festen Zustand

- Mechanische Eigenschaften
- Durchlässigkeit
- Dauerhaftigkeit
- Kosten

12 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf – Injektionsgut Zementschlämme

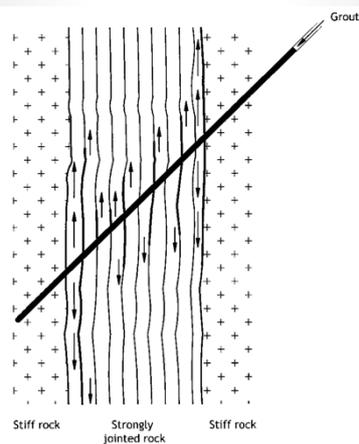


- ▶ Nur stabile Suspensionen einsetzen (weniger als 5% an Absetzmass)
- ▶ Die Korngröße ist massgeblich

13 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf Injektionsprinzipien – Injektionserfolg

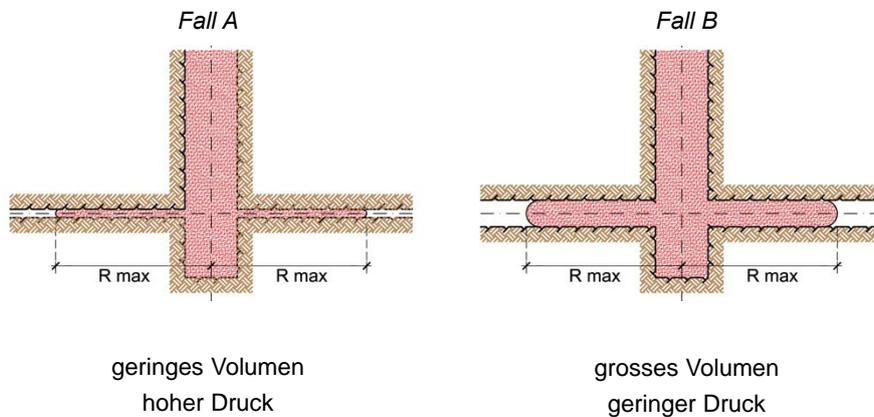


- ▶ Nicht alle Klüfte werden im ersten Injektionsgang injiziert
- ▶ Im besten Fall schliessen sich die feineren Klüfte

14 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Injektionsprinzipien – Das GIN Konzept

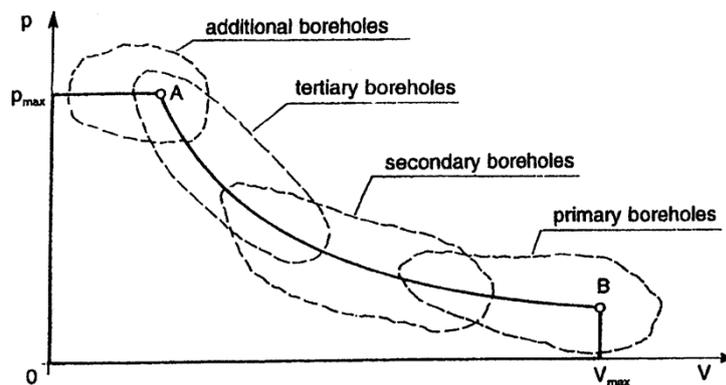


$$P \cdot V = \text{GIN} = \text{Konstante}$$

15 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf Injektionsprinzipien – Das GIN Konzept



Aufteilung der Injektionen in Phasen. Mit jeder Phase verringert sich das Volumen und der Druck steigt.

16 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Genereller Projektlauf - Vorversuche Zementsuspensionen

Mit sehr wenigen Ausnahmen sind vor der Ausführung von Injektionen immer Vorversuche durchzuführen.

Laborversuche

flüssige Form

- Viskosität
- Kohäsion
- Absetzmass
- Zusatzmittel

feste Form

- Druckfestigkeit
- Durchlässigkeit
- E- Modul (?)

In – Situ Versuche

- Installationen
- Durchdringvermögen des Injektionsgutes
- Zeitliches Verhalten
- Injektionsablauf
- Eigenschaften des injizierten Körpers

Genereller Projektlauf - Vorversuche Harze und Silikate

Im Normalfall sind die rheologischen Eigenschaften bekannt. Nur in Ausnahmefällen sind spezifische Laborversuche vorzusehen.

In Situ Versuche

- Installationen
- Durchdringvermögen des Injektionsgutes
- Zeitliches Verhalten (Temperatur)
- Einfluss sonstiger Randbedingungen (Feuchtigkeit, Kontaktflächen)
- Eigenschaften des injizierten Körpers

Beispiel – Abdichtung einer Störzone - Ausgangssituation



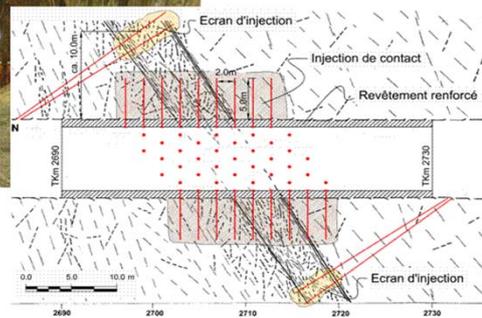
Wasserführung:
 - Initial : 12 l/s
 - Stationär : 8-9 l/s

19 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Beispiel – Abdichtung einer Störzone

► Injektionsausführung

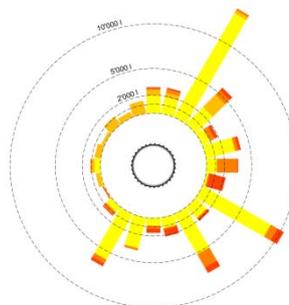
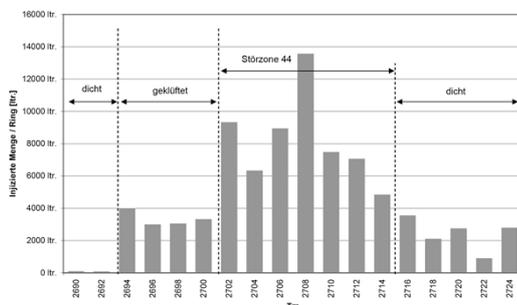


20 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Beispiel – Abdichtung einer Störzone

► Injektionsausführung - Resultate



Massnahme	Bohrmeter [m]	Inj. Netto-Menge [ltr.]	Dauer [AT]
Kontaktinjektionen	3'900	70'700	42
Injektionsschirm	8'900	103'600	95
Summe	12'800	174'300	102

Legende:

- Zweite Injektion Nord
- zweite Injektion Süd
- erste Injektion Nord
- erste Injektion Süd

21 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°

Schlussbemerkungen

- Die Zielsetzungen einer Injektionsmassnahme sind nicht zu optimistisch anzusetzen.
- Jede Injektionsmassnahme ist ein Einzelfall – Die Erfahrung hilft höchstens gewisse Fehler nicht zu wiederholen.
- Eine Injektionsmassnahme darf nicht improvisiert werden. Jede Projektphase ist wichtig um die Zielsetzung möglichst optimal zu erreichen.
- Alle Teilnehmer ob Projektingenieur, Bauunternehmer, Bauleitung oder Zulieferanten sollten die notwendige Erfahrung vorweisen können.

22 Lombardi AG Beratende Ingenieure, Zürich, 09.12.2010

XXXX.X-PPT-N°