Geotechnische Herausforderungen im Talsperren- und Dammbau
Aspects géotechniques dans la construction de barrages et de digues

GEOTECHNIK SCHWEIZ
GÉOTECHNIQUE SUISSE
GEOTECNICA SVIZZERA

# Injektionstechnik

## Grenzen, Risiken und bewährte Praxis

Bernd Aberle / Geotechnik Aberle



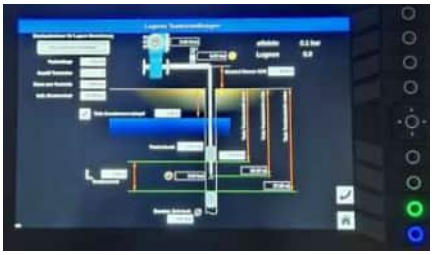
# Geschichte der Injektionstechnik




| | |
|---|---|
| **1802** | **Charles Bérigny verpresst eine Suspension aus Wasser und Puzzolanzement unter einer Schleuse in Dieppe (F)** |
| 1821 | Erfindung des Portlandzementes |
| ab 1850 | Injektionen im Berg- und Tunnelbau |
| **1876** | **Kluftinjektion unter dem Tunstall Dam in England** |
| 1908 | erste Druck- Mengenschreiber |
| **1920** | **WD- Versuche nach Lugeon** |
| **1926** | **erste Chemikalinjektion - Joostenverfahren** |
| 1950 | verstärkter Einsatz von Kunstharzinjektion<br>Einsatz von Packern und kontinuierlicher Druckkontrolle |
| ab 1980 | Einsatz von Feinstbindemitteln |
| **1993** | **GIN Methode nach Dr. Lombardi** |







# Injektion nach C. Kutzner:

Einpressen/ Injektion ist ...

das Einpressen eines Injektionsmitteln

zur Reduzierung der Durchlässigkeit oder Verfestigung

in Trennflächen, Poren oder Hohlräume

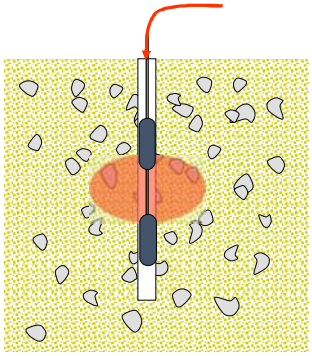
im Baugrund oder Bauwerksteilen.



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Zementsuspension<br>Pasten<br>Feinstbindemittel<br>Kunstharz<br>Hart- und Weichgele<br>Wasserglas<br>Dämmer<br>.... | → | Abdichten<br>Stabilisieren<br>Heben<br>Verfüllen<br>.... | → | Niederdruck<br>Hochdruck<br>Manschettenrohr<br>Rammlanzen<br>... | → | Trennflächen<br>Risse<br>Lunker<br>Firstspalt<br>Porenraum<br>Hohlräume<br>..... | → | Fels<br>Boden<br>Sand<br>Beton<br>Mauerwerk<br>..... |



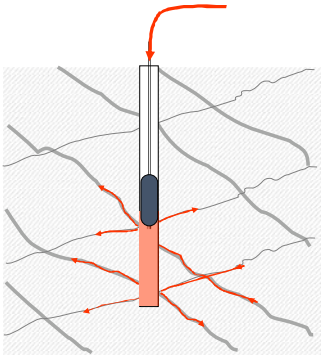
# Verpressmodelle



**Lockergestein**

3.2*) Verdichtungsinjektion
3.4 Verdrängungsinjektion
3.12 Poreninjektion

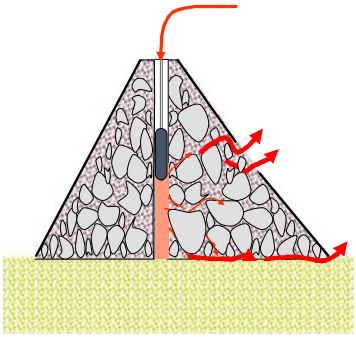
Reichweite ist durch bekanntes Volumen und Viskosität klar bestimmbar



**Fels**

3.6 Kluftinjektion

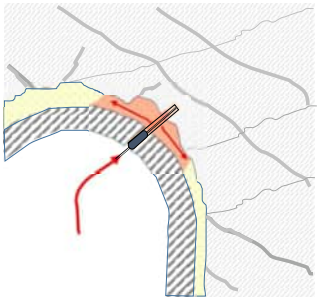
Reichweite abhängig von Trennflächen



**Mauerwerk**

3.11 Penetrations-Injektion

Reichweite abhängig von dem Erreichen des Porenraums und „Fehlstellen“ im Mauerwerk



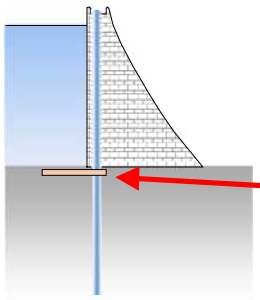
**Hohlraumverfüllung**

3.1 Hohlraumverfüllung
3.3 Kontaktinjektion

Reichweitenbegrenzung

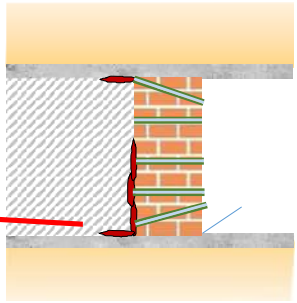
*) Kapitel in der DIN EN 12 715

# Zwei fast gleiche Verpressmaßnahmen





*Edertalsperre 1992*





*Leibis/ Lichte 2005*

Schleierinjektion für eine Talsperre

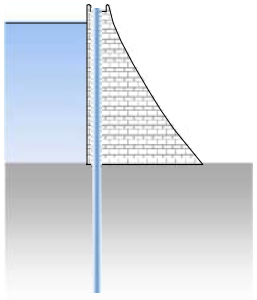
| | |
|---|---|
| Ziele: | Abdichtung |
| Ort: | Mauerwerk, Beton, Baugrund |
| Injektionsgut: | Hydraulische Bindemittel, Kunstharze |
| Einbau: | mit Bohrungen |
| Abdichten: | mit Packern |

Schleierinjektion für eine Ziegelplombe

| | |
|---|---|
| Ziel: | Abdichtung |
| Ort: | Mauerwerk, Beton, Baugrund |
| Injektionsgut: | Kunstharze, hydraulische Bindemittel |
| Einbau: | mit Bohrungen |
| Abdichten: | mit Packern |

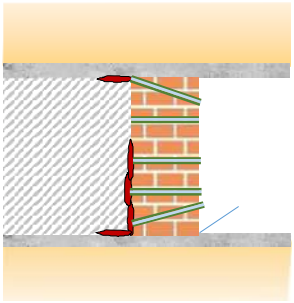


# Und doch anders ….





*Edertalsperre 1992*





*Leibis/ Lichte 2005*

Schleierinjektion Talsperre

| | |
|---|---|
| Aufwand für Bohrungen (Bauzeit und Kosten) | ↑ hoch |
| Aufwand für Packer, Einbau und Anschaffung | ↑ hoch |
| Kosten für Injektionsgut, in der Regel Zementsuspension | ↓ gering |

⇒ **Anzahl der Bohrungen reduzieren**
⇒ **Reichweite des Injektionsgutes erweitern**

Schleierinjektion für eine Ziegelplombe

| | |
|---|---|
| Aufwand für Bohrungen (Bauzeit und Kosten) | ↓ gering |
| Aufwand für Packer, Einbau und Anschaffung | ↓ gering |
| Kosten für Injektionsgut, in der Regel Kunstharz | ↑ hoch |

⇒ **Anzahl der Bohrungen spielt keine Rolle**
⇒ **Reichweite des Injektionsgutes begrenzen**

# Bohrverfahren und Zementaufnahme



*Edertalsperre 1991*



*Diemeltalsperre 1996*





*Borçka 1999*

**Beeinflusst das Bohrverfahren die Aufnahme des Injektionsgutes?**

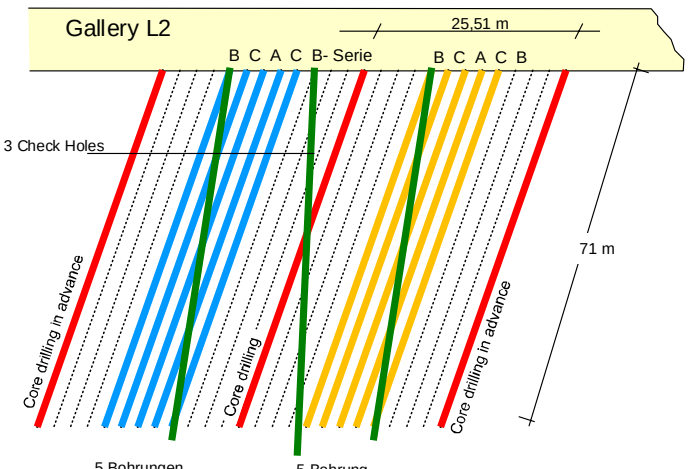


# Bohrverfahren und Zementaufnahme












| Durchschnittliche Nettozementaufnahme | |
|---|---|
| Im-Loch-Hammer: | 13,7 [kg Zem/m] |
| Drehbohrverfahren: | 12,7 [kg Zem/m] |

# Ein Loch in Riethnordhausen „Rio“





Riethnordhausen, Freitag Abend 17.06.2022



12 Stunden später



# Wer hat den Schaden verursacht?

*Riethnordhausen 2023*





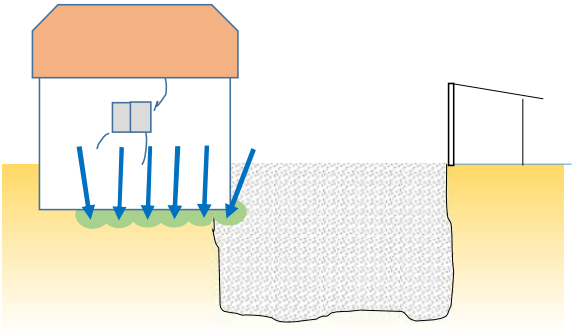




# Injektion als Unterfangung





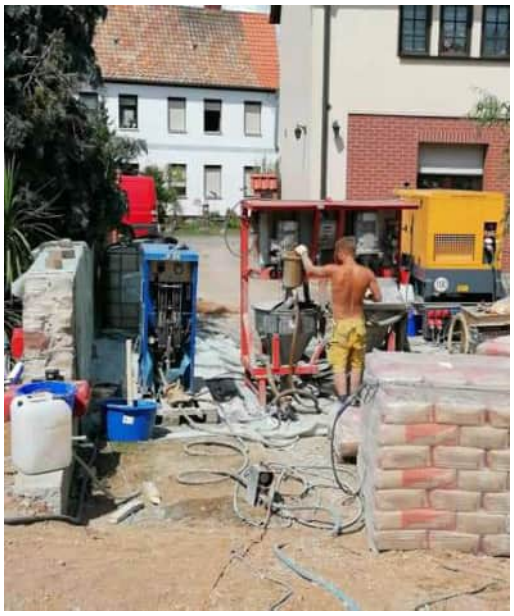




# Rammlanzeninjektion





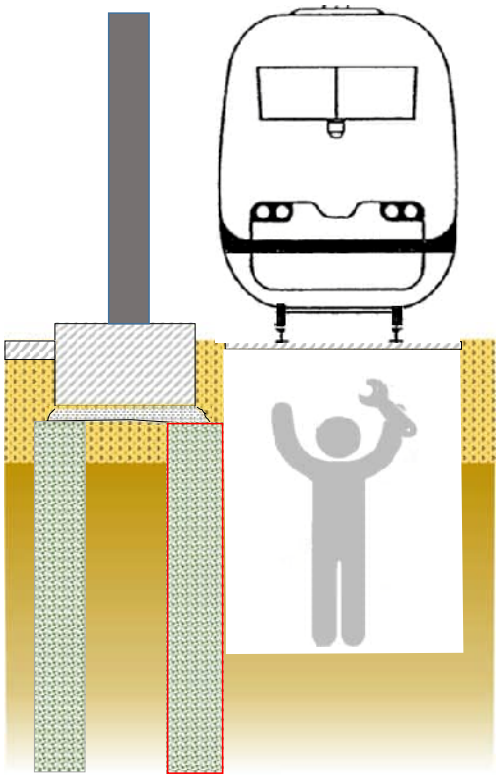



# Problem

Ausheben einer Wartungsgrube neben einer Rüttelstopfsäule



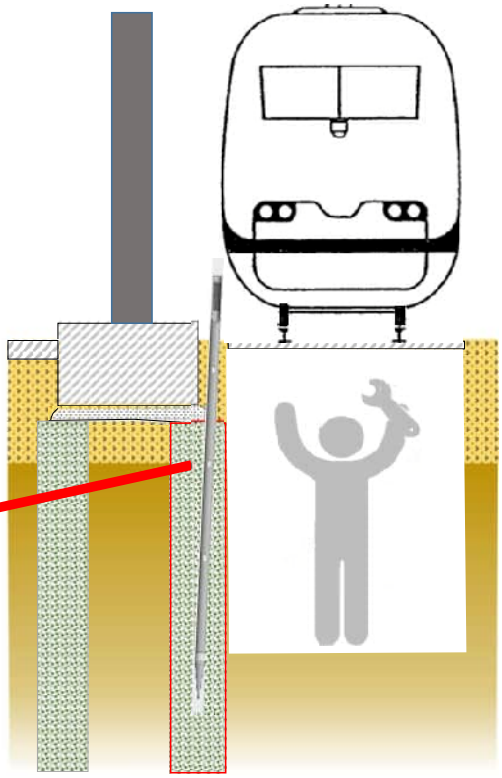




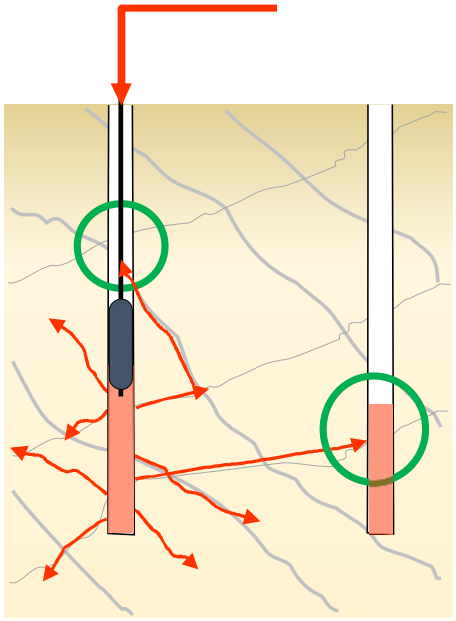


# Rammlanze mit Kunstharz





# Risiko: Baugrund





*Talsperre Scheibe-Alsbach 2026*



# Risiko: Baugrund

*Edertalsperre 1991*



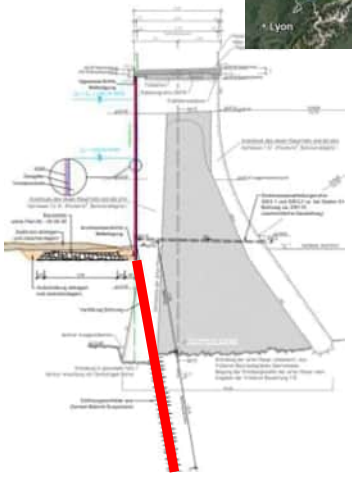
*Muratli 1999*



# Risiko: Wetter





*Kainzmühlsperre 2024*



# Risiko: Wetter



*Kainzmühlsperre 2024*



Hier stand eben noch die Bohrausrüstung

# Risiko: Ausschreibung

Eine Ausschreibung mit Zementsuspension für 300 €/ Tonne.
Der Bauherr beauftragt aber die Bedarfsposition mit 30 €/ Kilo.

Der Kalkulator hatte dafür einen sehr *auskömmlichen* Preis eingefügt, der keinen Einfluss auf die Angebotssumme hatte.

Die Baustelle im [redacted] konnte 1.227,6 t Feinbindemittel abrechnen.



| | | | |
|---|---|---|---|
| 02.03.100 | Liefern von Injektionszement<br>980,000 t | 300,00 € | ~~294.000,00 €~~ |
| 02.03.110 | Liefern von Bentonit<br>9.800,000 kg | | |
| | *** Bedarfsposition mit GB | | 36.828.000 € |
| 02.03.120 | Liefern von Feinbindemittel<br>1,000 kg | 30,00 € | ~~30,00 €~~ |



# Risiko: wieviel Verpressgut ….



**<u>Sanierung des Enguri Druckstollens</u>**
- Verpressen von 500.000 l Acrylatgel

- 3 Monate Bauzeit
- Start 20.01.2021, Corona überall
- Hersteller – Baustelle: 3.772 km
- Grenzregion Abchasien/ Georgien

⇒ Nachlieferung nicht möglich

1. Welche Menge zu Baubeginn
2. Wer bezahlt nicht verpresstes Material?

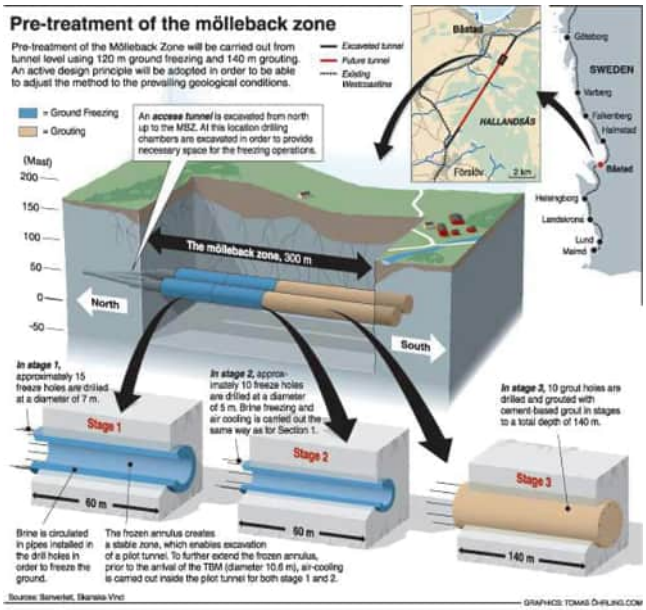
# Risiko: Gefahr für die Umwelt



*Hallandsås Tunnel, Schweden*

**Bahntunnel in Nordschweden**

1992 Baubeginn
1996 Umstellung auf Sprengvortrieb
1997 Wasserzutritte wurden mit Rhoca-Gil abgedichtet. Unpolymerisiertes Arylamid gelangten über die Tunnelabwässer in ein lokales Gewässer. Wirkt als Nervengift, 3 Kühe paralysiert.
Alle Arbeiten eingestellt, Einsatz des Mittels verboten.
2015 Gerichtsverfahren gegen Chemiekonzern Rhodia abgeschlossen
2015 Eröffnung des Tunnels






# Risiko: Mangelndes Fachwissen





# Vermittlung von Fachwissen – frühzeitig!







# Vermittlung von Fachwissen ….






# Fortbildung






# Neue Aufgaben der Bauüberwachung





# Enguri-Stauanlage





| Daten | |
|---|---|
| Bauzeit: | 1968–1988 |
| Höhe über Gründungssohle: | 271,5 m |
| Bauwerksvolumen: | 4 Mio. m³ |
| Kronenlänge: | 750 m |
| Höhenlage (bei Stauziel): | 510 m |
| Wasseroberfläche: | 13,13 km² |
| Speicherraum: | 1.100 Mio. m³ |



# Die Lage










# Einlaufbauwerk

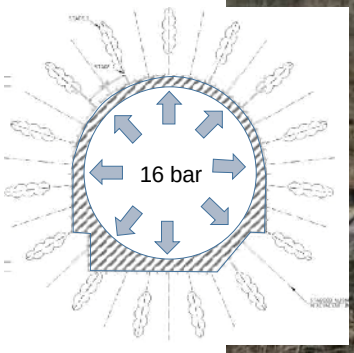








# Drucktunnel

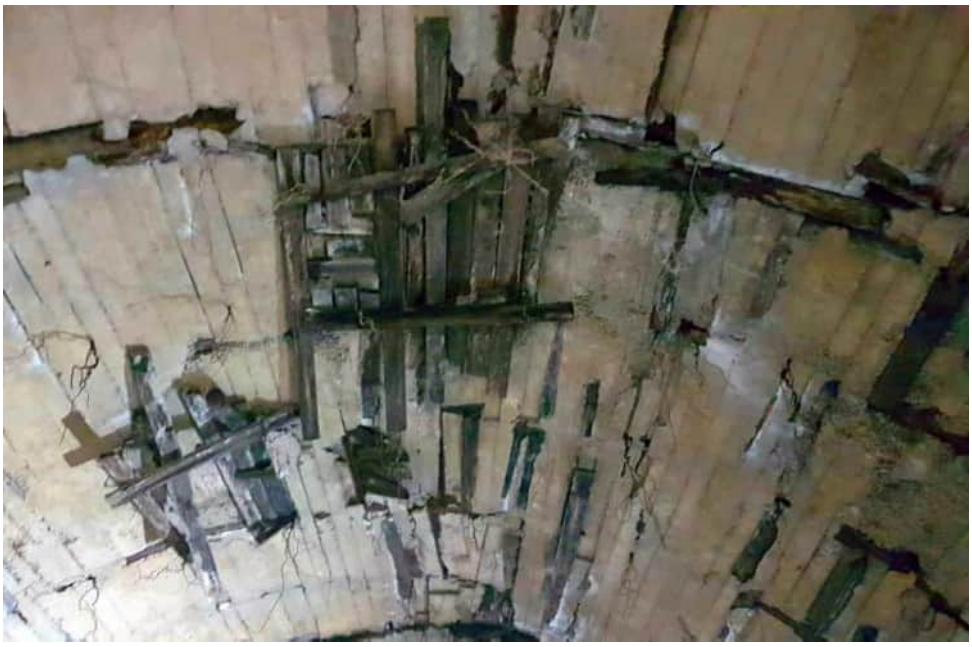



| Drucktunnel | |
|---|---|
| Länge: | 15.037 m |
| Durchmesser innen: | 9,5 m |
| Durchfluss: | ~450 m³/s |
| **Wasserverlust:** | **10 - 20 m³/s** |



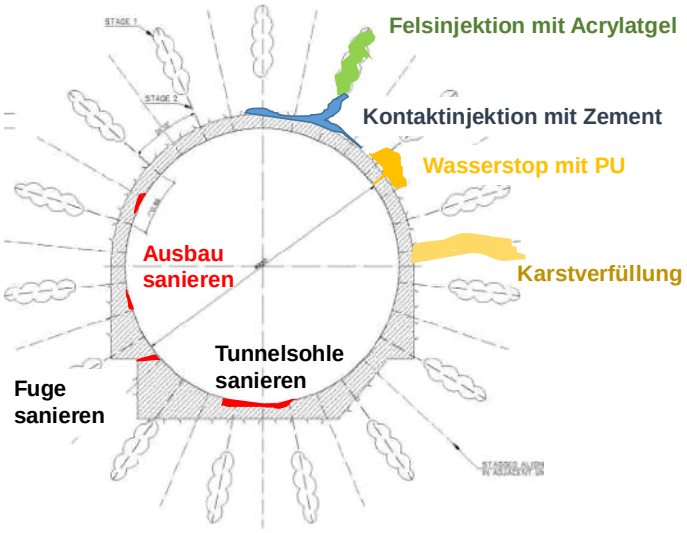


# Drucktunnel





# Unsere Aufgaben






# Zement und Kunstharze







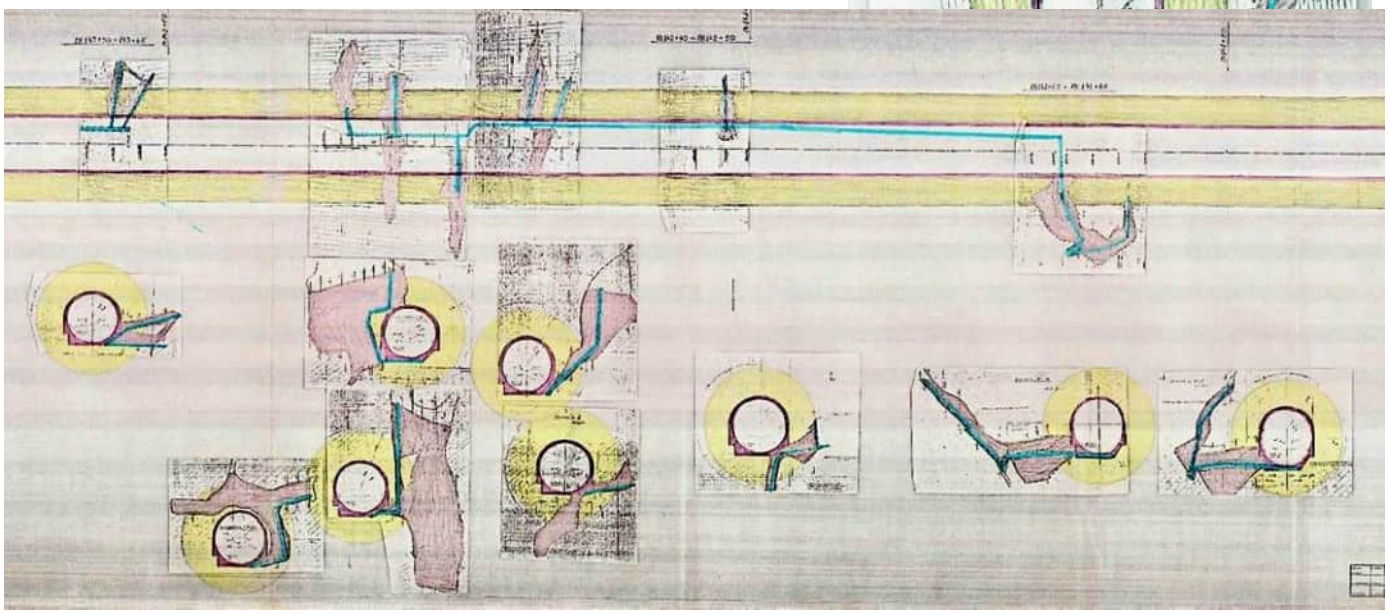
# Mysteriöse Ventilöffnungen in Stollen





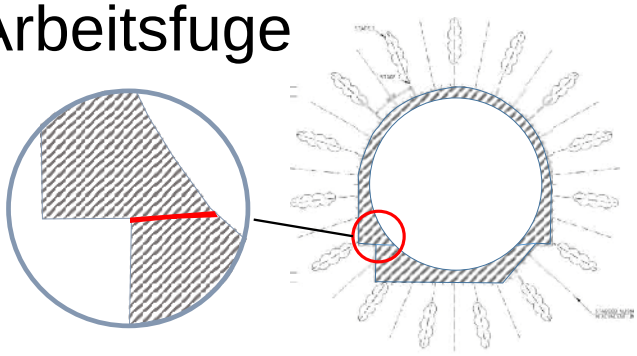
# Karsthohlräume







# Arbeitsfuge

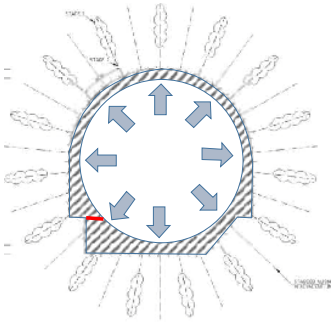


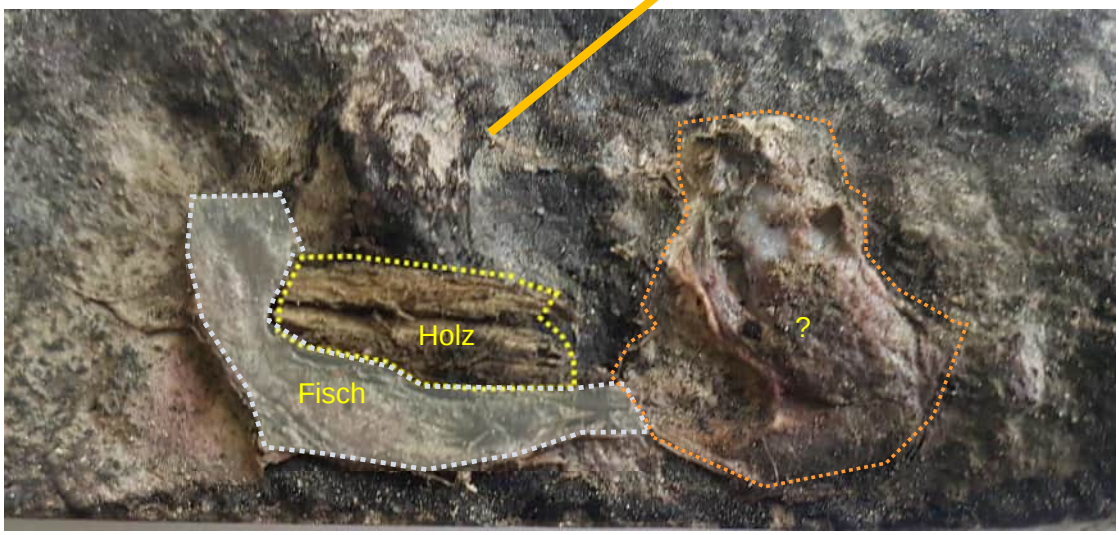




# Bohrkern aus der Fuge



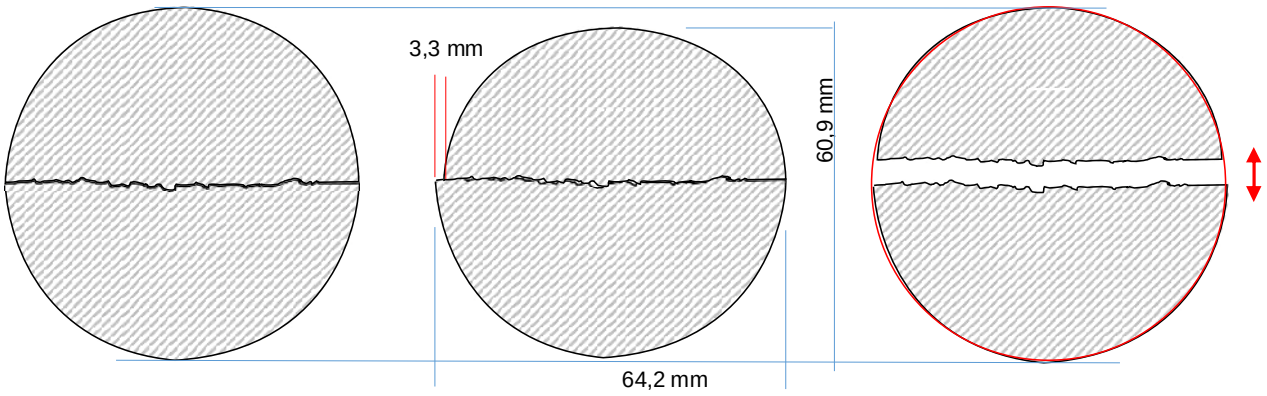




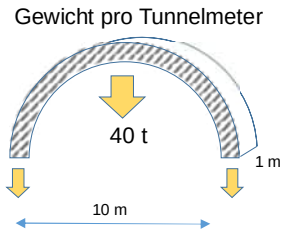


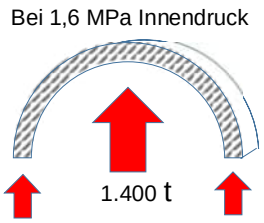

# Ergebnis der Kernbohrung

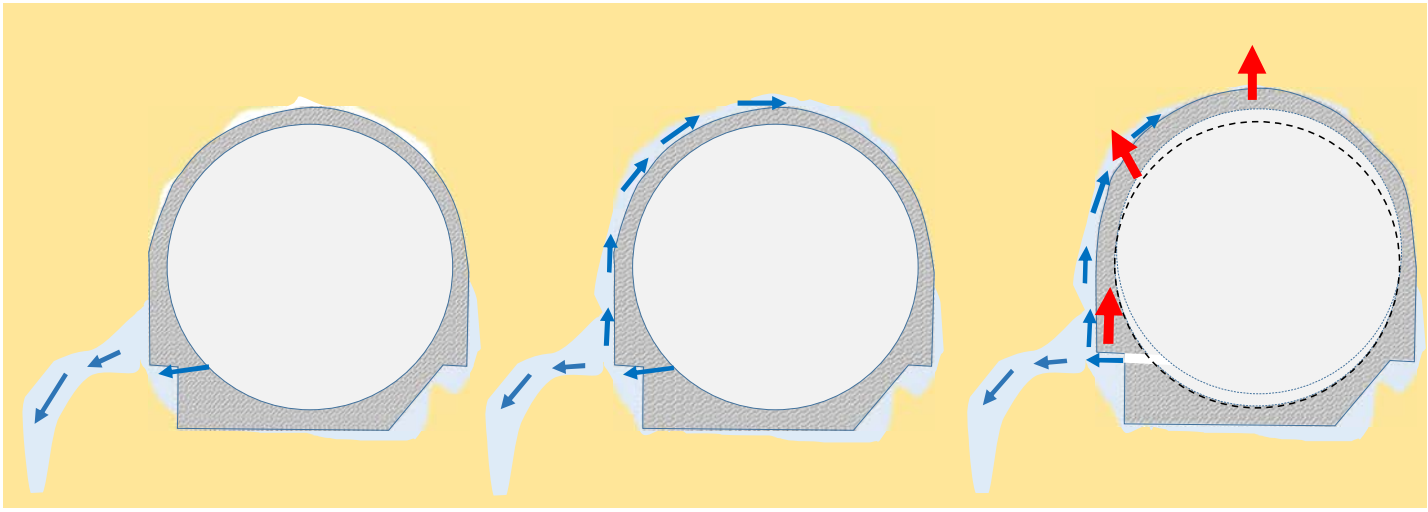




# Folgen





# eine Sprache sprechen

**Planer**
aus der Türkei, Griechenland, ?

**Bauherr**
aus Georgien

**Berater**
aus Kelbra, Deutschland

**Ausführung**
4 Teams zum Bohren aus der Türkei

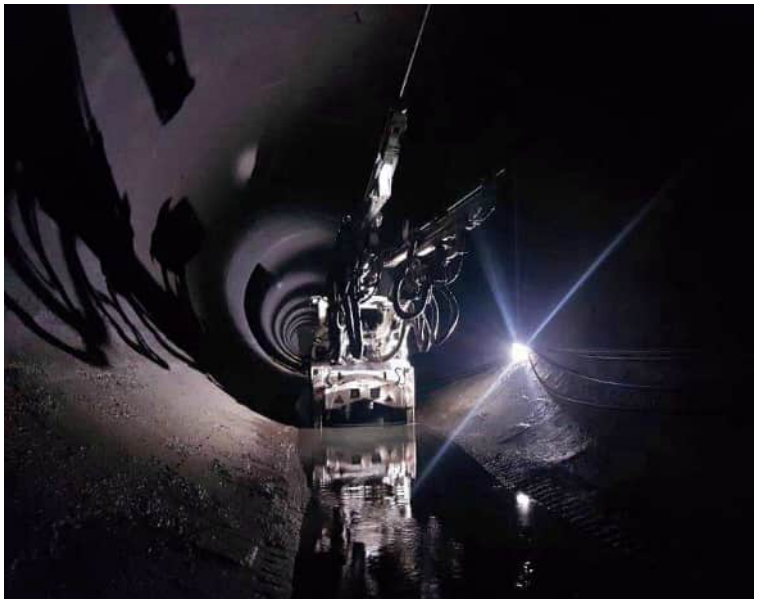
8 Teams für Kunstharze aus Aserbaidschan

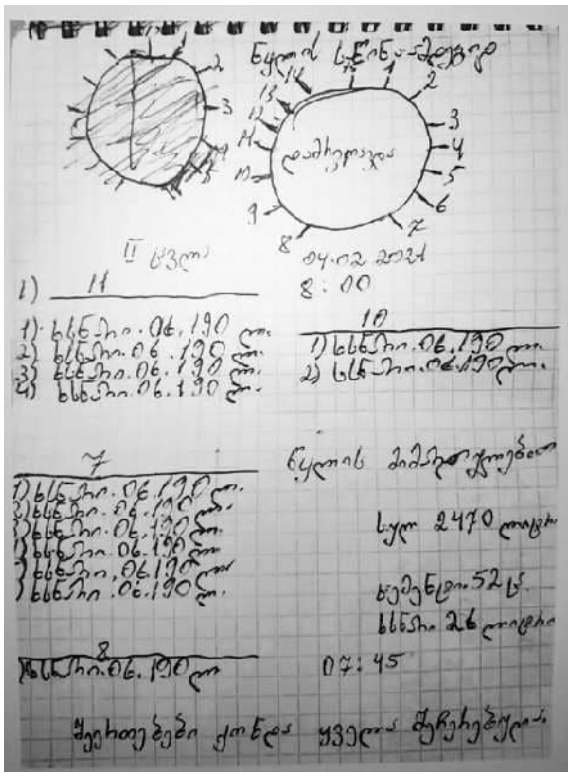
10 Teams für Zementinjektion aus Georgien

*Mingrelisch*



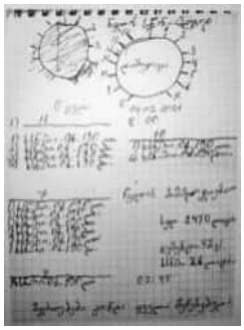
# Eine Lösung

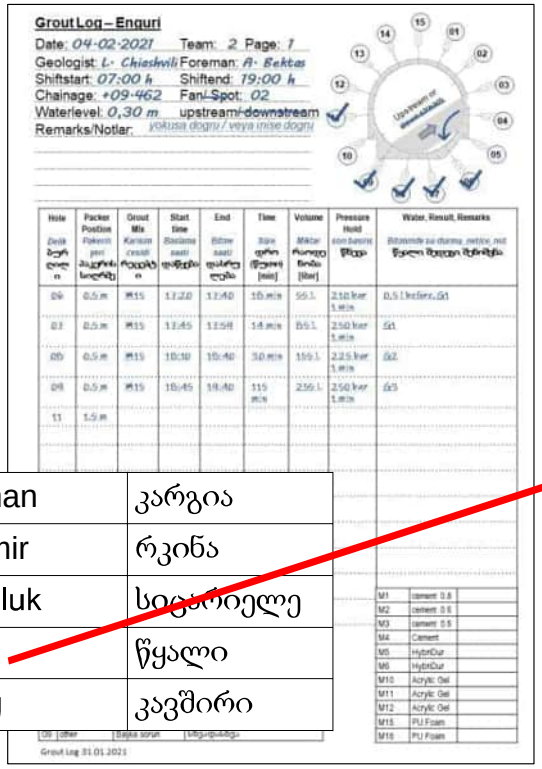


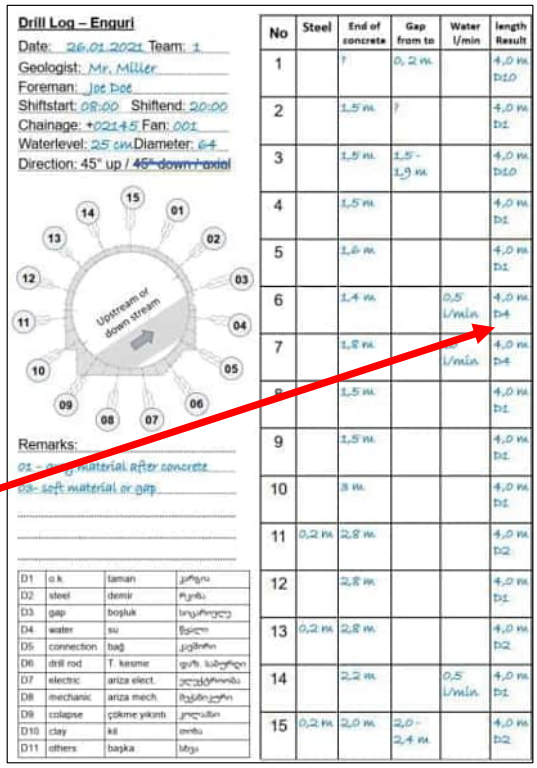




# Vordrucke






| | | | |
|---|---|---|---|
| D1 | o.k. | taman | კარგია |
| D2 | steel | demir | რკინა |
| D3 | gap | boşluk | სიცარიელე |
| D4 | water | su | წყალი |
| D5 | connection | bağ | კავშირი |

# Injektion an Talsperren im Vergleich



| | Eder-Staumauer | Diemel-Staumauer | Borcka dam | Talsperre Leibis/ Lichte | Wahnbach-talsperre | Enguri Druckstollen | Kainzmühl-sperre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Deutschland | Deutschland | Osttürkei | Deutschland | Deutschland | Georgien | Deutschland |
| | 1992 | 1996 | 2000 | 2005 | 2017 | 2021 | 2024 |
| | Verankerung | Sanierung | Neubau | Neubau | Sanierung | Sanierung | Sanierung |
| Baugrund | Grauwacke und Tonstein | Grauwacke und Tonstein | Alluviale Schotter, Tuff | Phycoden-schiefer | Sandstein und Tonschiefer | Kalkstein | Granit |
| Bohrmeter | 7.332 [m] | 16.860 [m] | 33.480 [m] | 10.717 [m] | 11.850 [m] | 54.750 [m] | 1.503 [m] |
| max. Bohrtiefe | 71,5 [m] | 60,0 [m] | 80,0 [m] | 75,0 [m] | 51,0 [m] | 6,0 [m] | 24,0 [m] |
| Verpressmaterial | Zement | Feinbindemittel | Zement | Zement | Zement | Zement und Kunstharz | Zement |
| Verpressstunden | 1.965 [h] | 3.326 [h] | 4.906 [h] | 3.279 [h] | 1.324 [h] | 5.644 [h] | 218 [h] |
| Zementmenge | 100 [t] | 336 [t] | 589 [t] | 188 [t] | 228 [t] | 2.271 [t] | 22 [t] |
| Zementaufn./ Bohrmtr | 13,6 [kg/m] | 19,9 [kg/m] | 17,6 [kg/m] | 21,5 [kg/m] | 19,2 [kg/m] | 44,7 [kg/m] | 15,5 [kg/m] |
| Acrylatgel | | | | | | 420 [t] | |
| Bauzeit (nur Injektion) | 17 [Monate] | 18 [Monate] | 26 [Monate] | 15 [Monate] | 21 [Monate] | 3 [Monate] | 6 [Monate] |