

Altes Ziel: Druckstollenauskleidung
Neuer Weg: Kunststoffe statt Stahl

K. NACKLER

KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft
Technische Services

N. RADONČIĆ

Technische Universität Graz
Institut für Felsmechanik und Tunnelbau

Einreihung in das Thema des Symposiums

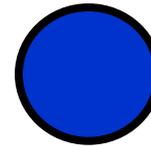
- Energieinnovation = Titel der Veranstaltungsreihe
- Begriffsdefinition „Innovation“:
„Durchsetzung einer technischen oder organisatorischen Neuerung, nicht allein die Erfindung“ (Schumpeter)
- KELAG-Kärntner Elektrizitäts-AG hat technische Neuerung umgesetzt
mit „Druckstollenauskleidung aus GFK-Rohren“
und dazugehörigen speziellen
 - Bemessungen
 - Baumethoden
 - Vorerkundungen
 - Monitoring

Altes Ziel:
Neuer Weg:

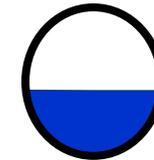
Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Allgemeines zu Druckstollen

- Druckstollen haben Innendruckbelastung

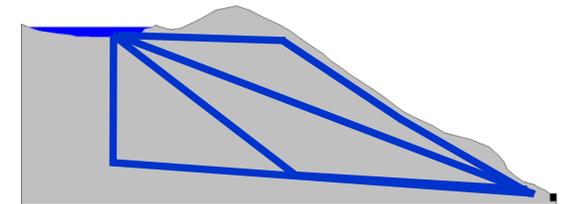


Druckstollen

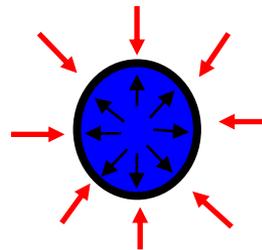


Freispiegelstollen

- Vorteil: keine Einschränkung in Linienführung



- Nachteil: Kraftaufnahme für Innen-/Außendruck



- Speicherkraftwerke, Pumpspeicherkraftwerke leben von großen Fallhöhen (300 bis über 1.000 m)

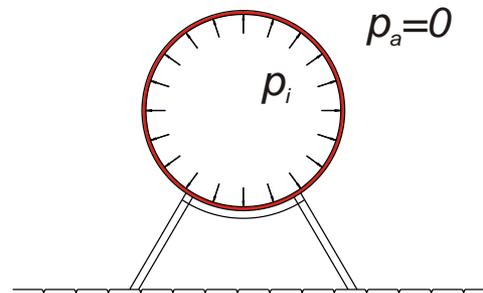
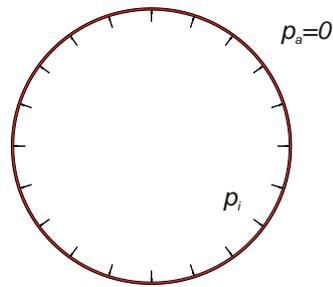
- Je höher der Innendruck – desto eher muss Gebirge Mittragwirkung zeigen

Altes Ziel:
Neuer Weg:

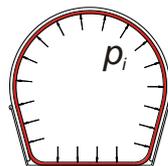
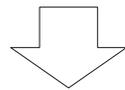
Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Grundprinzip Gebirgsmittragwirkung (1)

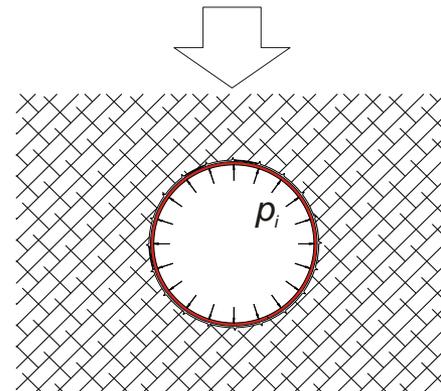
Analogie



Fahrradreifen



Druckstollen



Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Grundprinzip Gebirgsmittragwirkung (2)

■ Unterscheidung: Dichtfunktion und Tragfunktion

■ Fahrrad: Schlauch und Mantel

■ Druckstollen: Auskleidung und Gebirge

→ Verbundtragsystem = Aufteilung der Tragwirkung auf
Auskleidung und Gebirge

Planungskonzept:

- Erfassung des zumutbaren Druckanteiles des Gebirges
- Dazu passende Auslegung der Dichthaut
- Schaffung eines kraftschlüssigen Kontaktes (Injektion)

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Anforderungen an Druckstollen:

- Aspekte: Hydraulik, Bautechnologie, Felsmechanik, Geologie, Materialtechnologie, Projektspezifika, Kostenfrage
- Hauptaspekte: Standsicherheit
 Dichtheit
 (Rissefreiheit)
- Sekundärererscheinungen (durch mögliche Grenzwertüberschreitungen)

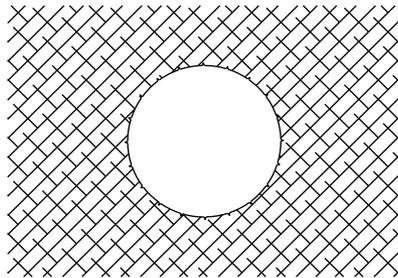
zu hoher Innendruck → Zugrisse im Gebirge → Versagen Gebirge
→ Dichthautversagen → Undichtigkeit → Sekundärschäden
- Dauerfestigkeit – dynamische Drücke

Altes Ziel:
Neuer Weg:

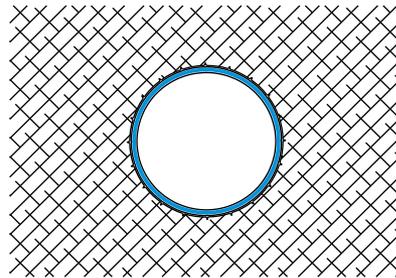
Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Technische Lösungen (1)

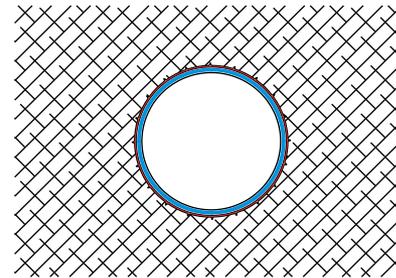
Konventionelle Stahlpanzerung mit Gebirgsmittragwirkung:



Ausbruch



Einbau Panzerung



Verpressen der Kontaktfuge

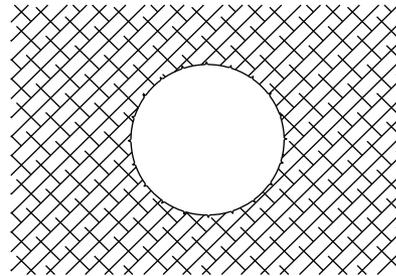
- schlaffe Stahlpanzerung, nicht vorgespannt
- Verpressung der Kontaktfuge
- hohe Wandstärken (Stahl) → teuer
- Beulgefahr zufolge Außendruck

Altes Ziel:
Neuer Weg:

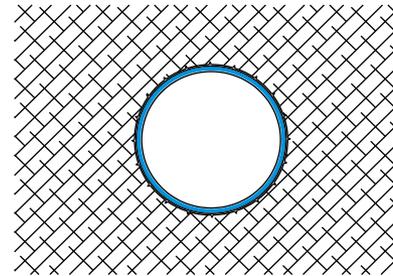
Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Technische Lösungen (2)

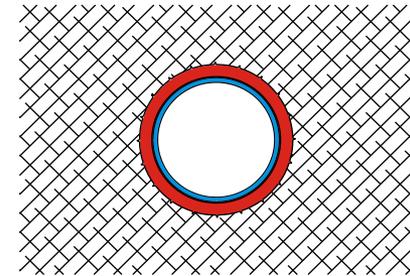
Vorgespannte Beton-Fertig- teilsegmente mit Stahlhaut:



Ausbruch



Einbau Rohrsegmente



Vorspanninjektion (2-fach)

- Einbau vorgefertigter Betonsegmente mit Stahlaußenhaut;
- Hinterfüllung und Verpressung mit Hochdruckinjektion;
- Koaxialspaltverpressung + Spaltverpressung zwischen Hinterfüllung und Gebirge;
- Resistent gegen Außendruck;
- Vorspannung hebt Innendruck i.d.R. auf → Gebirgsmittragwirkung
- Vorbedingung: standhaftes Gebirge
- Vorteil: geringe Stahlwandstärke → billiger, jedoch höherer Erkundungs-/Monitoringaufwand

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Technische Lösungen (3)

Vorgespannte Betonfertigteilesegmente mit GFK-Dichthaut:

- Wie Variante mit dünner Stahlhaut;
- Geringerer Montageaufwand: Muffen statt Schweißen;
- Bessere Verformungseigenschaften GFK als Stahl;
- Wie bei dünner Stahlhaut wichtig:
 - Gutes Gebirge
 - gute/intensive Vorerkundung
 - sorgfältige Vorspanninjektion
 - erhöhter Monitoringaufwand

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Technische Lösungen (4)

Vorgespannte Betonauskleidung mit Foliendichtung:

- Stollenausbruch;
- Folien vollverschlossen aufgebracht;
- Ortbetonauskleidung;
- Injektion mit Hochdruck zur Vorspannung des Systems;
- Geeignet im Frässtollen;
- Für größere Durchmesser denkbar;

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Systemanwendbarkeit (1)

Parameterstudie in beschränktem Ausmaß:

- Ausbruchradius konstant 2,00 m;
- Panzerung Stahlwandstärke 30 mm;
- alternativ: Stahlhautstärke 10 mm;
- alternativ: GFK Dichthautstärke 40 mm;
- E-Moduli:

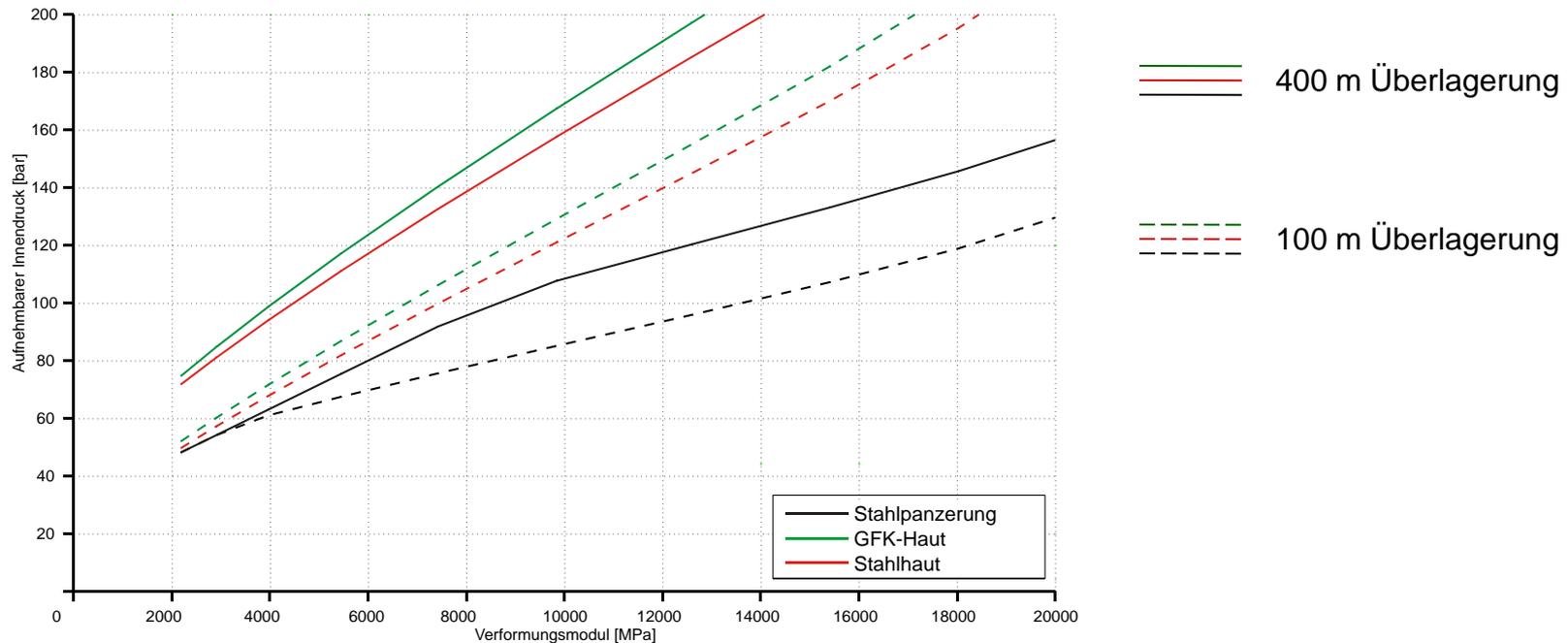
Stahl	210.000 MPa
GFK	5.000 MPa
Beton	20.000 MPa
- Vorspanndruck (GFK/Stahlhaut) 20 bar

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Systemanwendbarkeit (2)

Zulässige Innendrucke für Dichtheit:



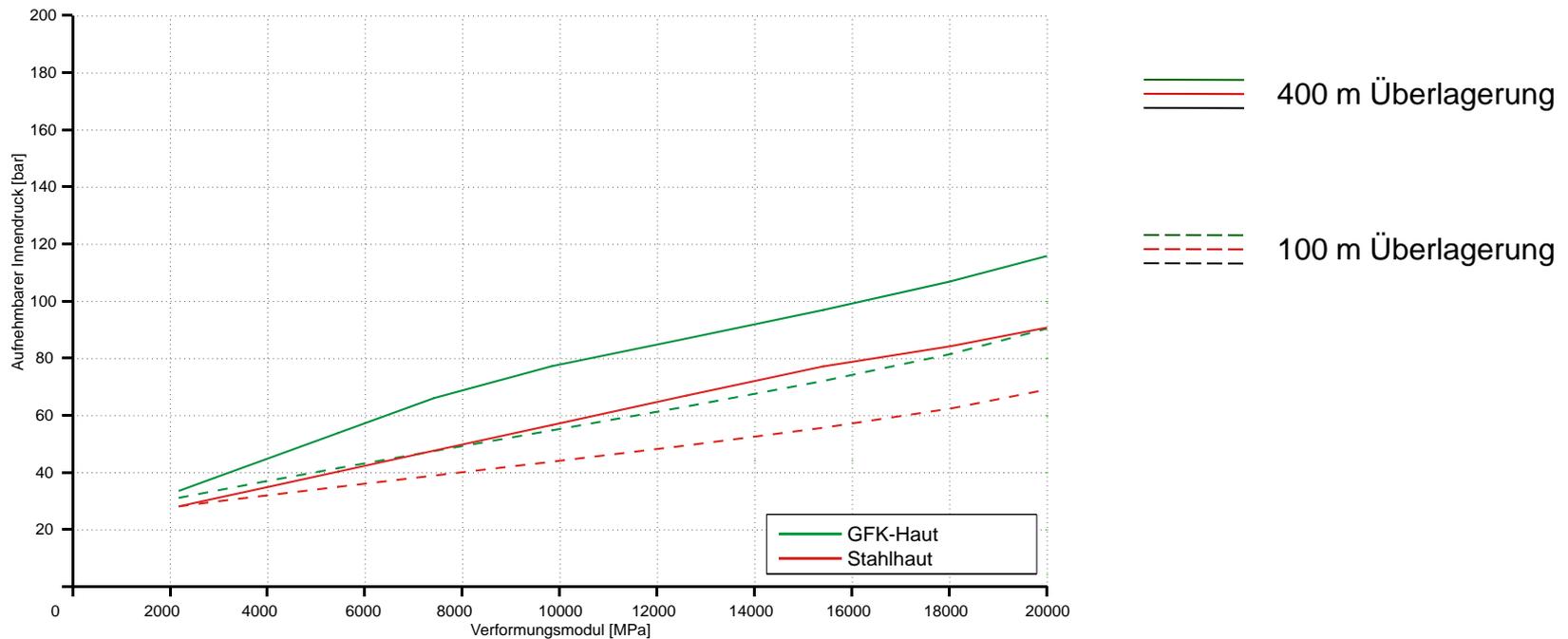
Vergleich der zulässigen Innendrucke, im Hinblick auf die Dichtheit des Stollens

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Systemanwendbarkeit (3)

Zulässige Innendrucke für Rissefreiheit:



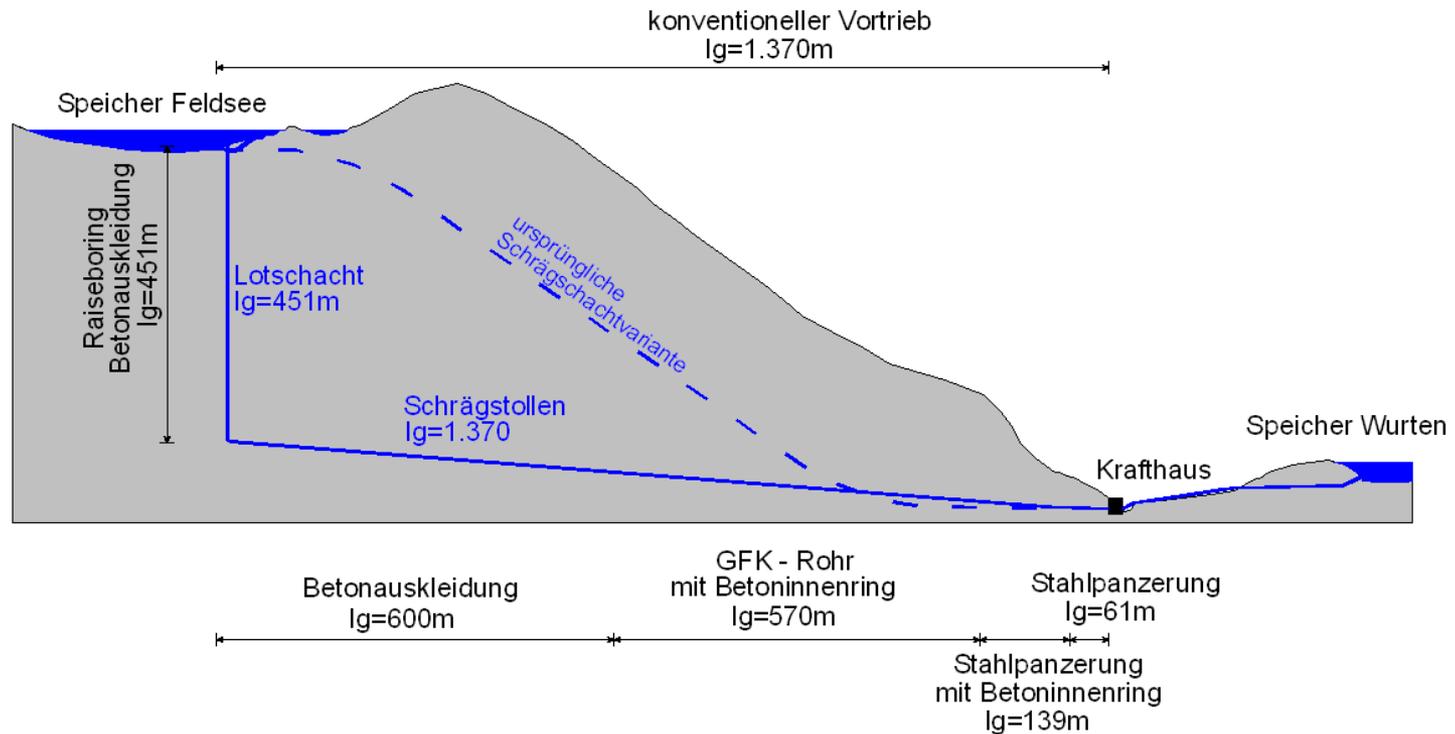
Vergleich der zulässigen Innendrucke, im Hinblick auf die Rissefreiheit der Innenbetonschale

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Fallstudie Feldsee (1)

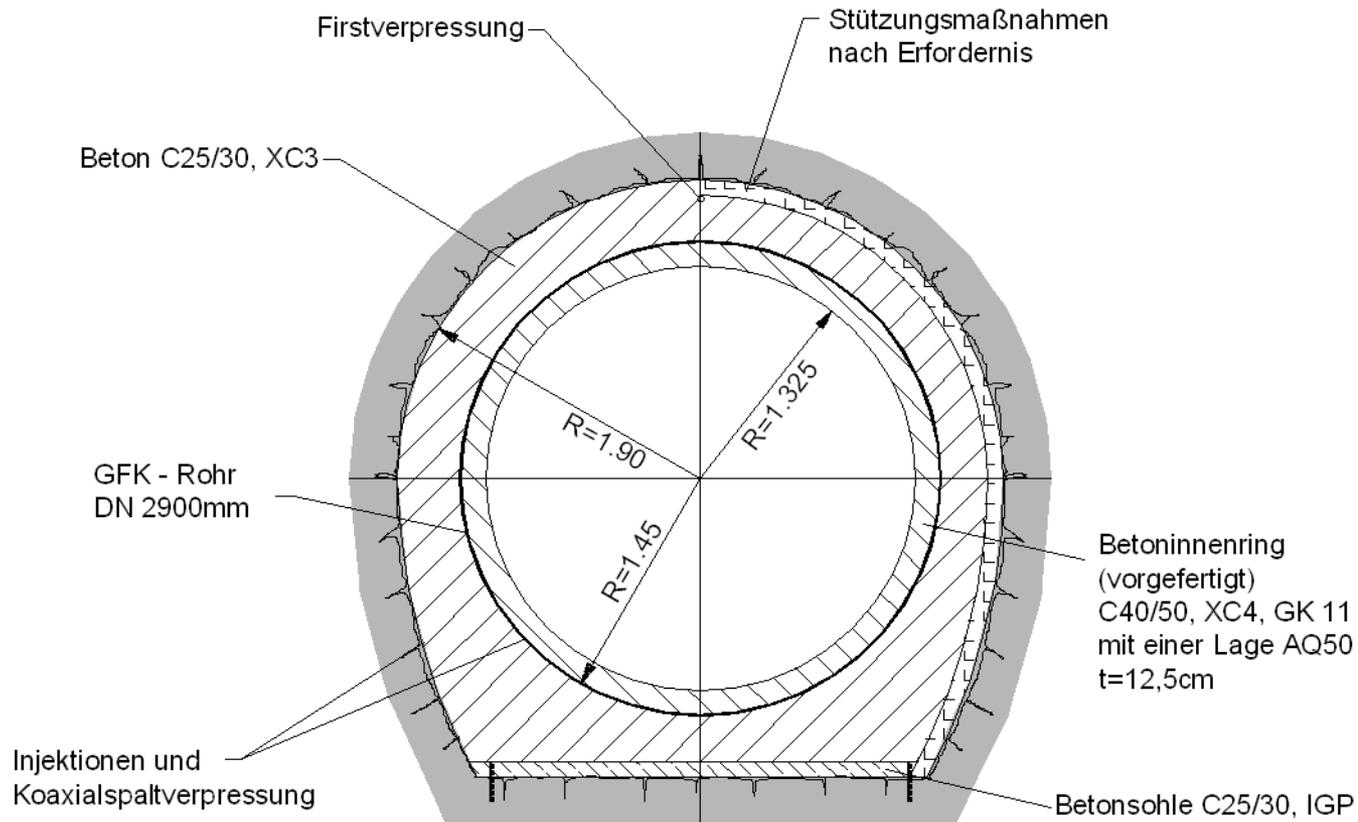
Projekt:



Altes Ziel:
Neuer Weg:

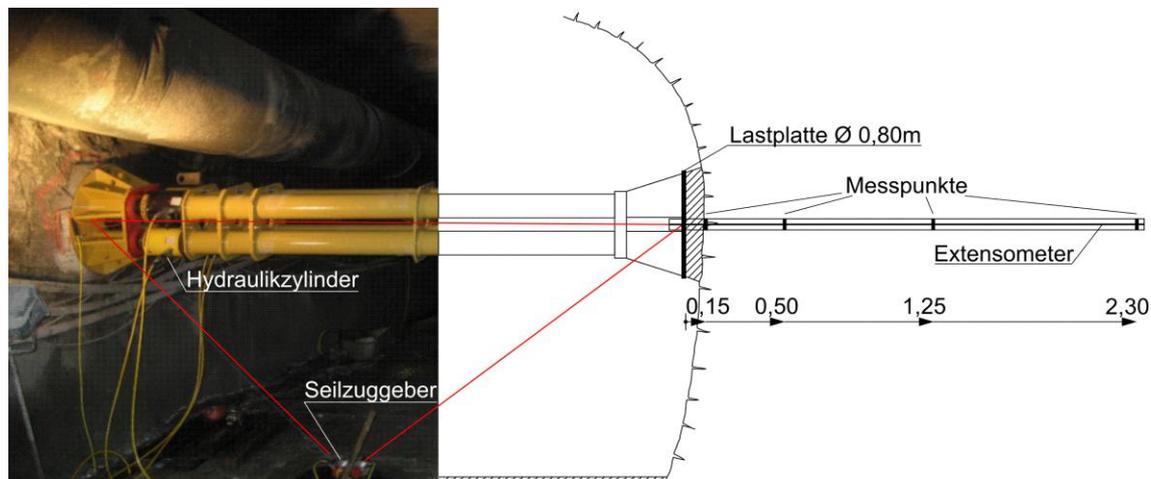
Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

Fallstudie Feldsee (2)



Fallstudie Feldsee (3)

- Geologie: Kartierung, Probebohrungen, Seismik
- Felsmechanik: Laborversuche (einachsiale Druckversuche, Spaltzugversuche
theoretisch: Risszonenuntersuchung (< 10 % Überlagerung)
- Systemtragverhalten: numerische Ermittlung von Gebirgsarbeitslinien
- Versuche: Doppellastplattenversuch mit Last und Verschiebungsaufzeichnung
inkl. 3-fach Extensometer zur Tiefenwirksamkeitsfeststellung



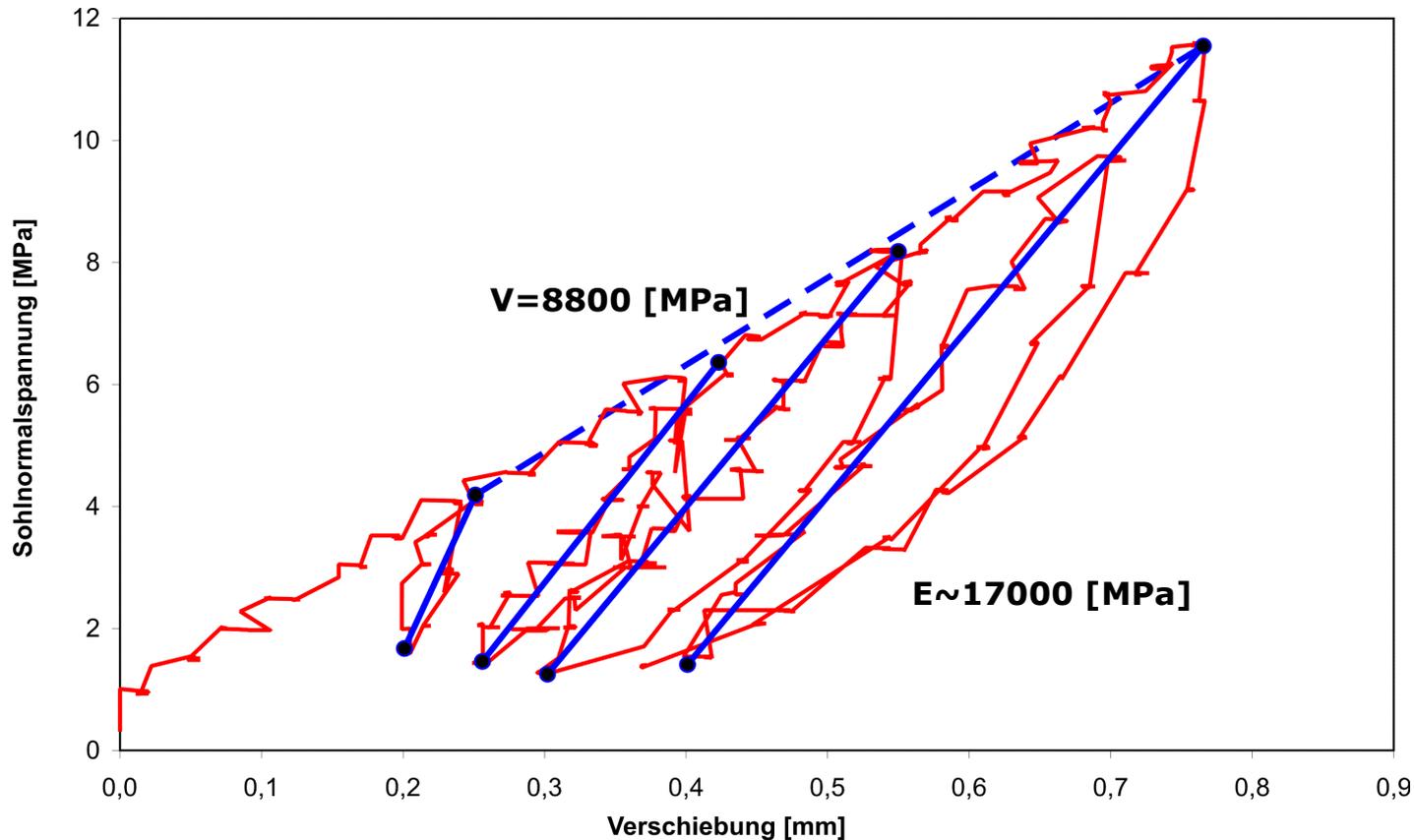
Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Fallstudie Feldsee (4)

Ergebnis eines Druckstempelversuches:

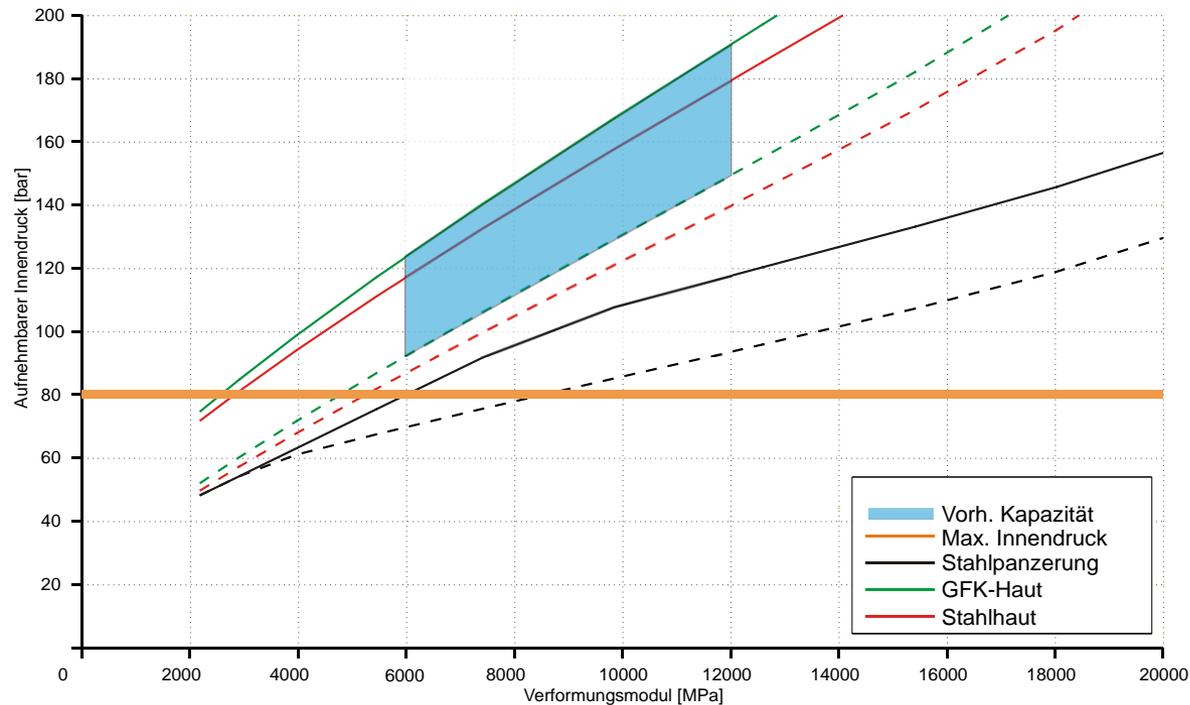


Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Fallstudie Feldsee (5)

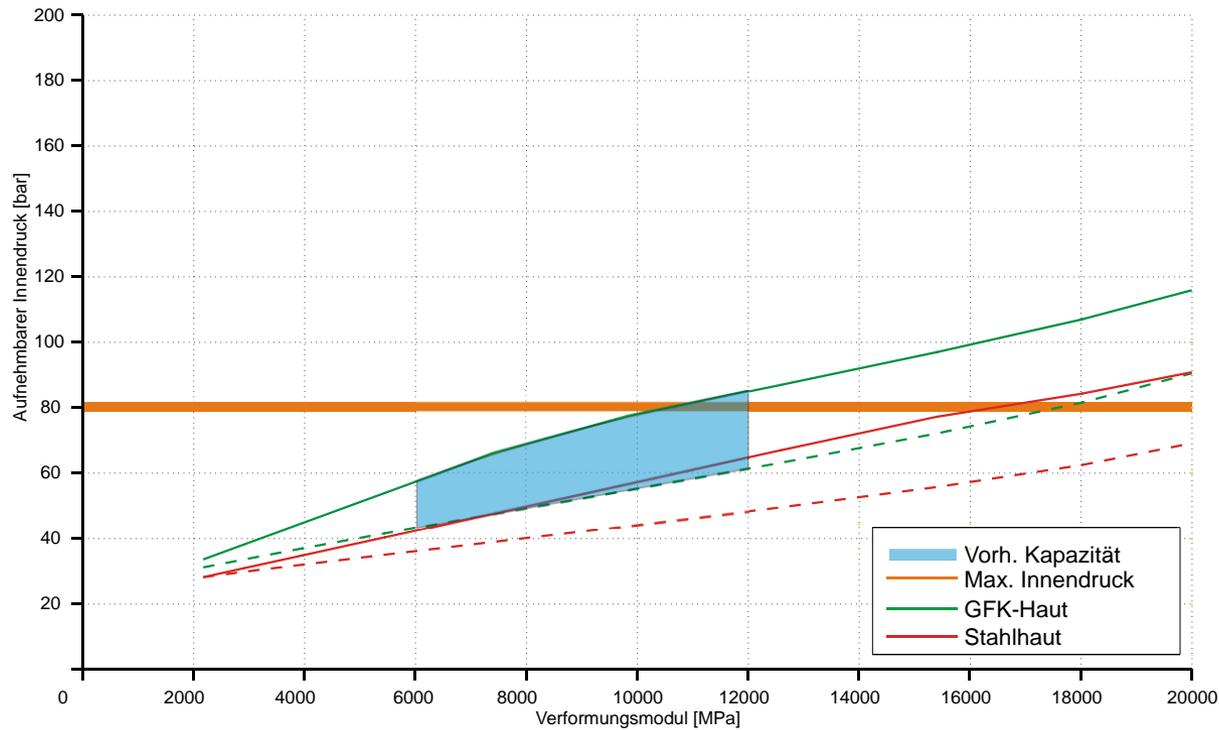


Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Fallstudie Feldsee (6)



Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl

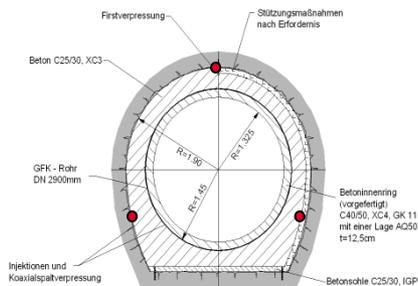
Fallstudie Feldsee (7)

Zweck der Injektionen im Triebwasserweg:

- Vergütung des Gebirges in Schwächezonen („Abdichtung“ des Gebirges)
- Homogenisierung der Übergangszone von Beton zum Gebirge
- Schließung des Schwindspaltes zwischen Rohr und Hinterfüllbeton bzw. zwischen Hinterfüllbeton und Gebirge
- Planmäßige Vorspannung des Auskleidungssystems

Injektionsablauf:

1. Vorinjektionen über Längsschläuche (10 bar)
2. Koaxialinjektionen über Anschlussstutzen im Rohrschluss (20 bar)
3. Vorspanninjektionen über Längsschläuche (bis 40 bar)



Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Fallstudie Feldsee (7)

Einsparungen:

Stollensystem	Speicher Feldsee	bis	Krafthaus Feldsee	
	$\Delta H = 550 \text{ m}$		$\Delta L = 1.370 \text{ m}$	$\varnothing 3,80 \text{ m}$

- Einsparung durch Änderung Stahlpanzerung → Stahlhaut 15,0 %
 - Einsparung durch Änderung Stahlhaut → GFK Dichthaut 6,5 %
 - Einsparung durch Änderung Schrägschacht → Lotschacht 4,5 %
- 26,0 %**

Gesamtersparnis = 7 Mio. €

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Systemvorteile:

- i.d.R. kostengünstiger
- schneller in der Verlegung
- Flexibler in der Linienführung
- Längere Hochdruckstrecke ist kein Hürde mehr

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Systembedingungen:

- gute Gebirgsqualität
- begrenzte Innendrucke
- vermehrte Vorerkundungen
- erhöhter technischer Aufwand
- spezielles Injektions-know-how
- verstärktes Monitoring

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Risiken des Systems:

- Vorsicht im hohen Druckbereich
- Vorsicht im Grenzbereich der rissefreien Zone
- begrenzt im Durchmesserbereich
- zwingender Einbau von Reserven (Dauerhaftigkeit)

Altes Ziel:
Neuer Weg:

Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl



Chancen des Systems:

- großes Potential der Einsatzmöglichkeit
- vertiefte Untersuchung der Einsatzpalette
- für Feldsee abgesicherter Einsatz des Systems
- für weitere Projekte individuelle Betrachtung
- verstärkte Flexibilität in Linienführung von Stollen
- mögliche Einsparungen von aufwändigen Wasserschlössern

**Altes Ziel:
Neuer Weg:**

**Druckstollen
Kunststoffe statt Stahl**



Danksagung:

An der Entwicklung haben mitgearbeitet:

Institut für Wasserbau:

em. Prof. Dr. G. Heigerth

**Institut für Felsmechanik und
Tunnelbau:**

Dr. K. Großauer / DI. N. Radončić

Institut für Baugologie:

Prof. Dr. K. Klima

Firma Amiantit (GFK):

Ing. K. Bissinger / DI. B. Hlawati (†)

KELAG:

DI. J. Binder, DI. H. Gober, DI. K. Nackler