

Ausbau von Grubenbauen für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Tongestein

P. Herold, E. Simo, H.-J. Engelhardt, H. Räuschel (BGE TECHNOLOGY GmbH), J. Te Kook, B. Pflüger, C. Scior, A. Studeny (DMT GmbH & Co. KG), M. Manica (UNAM), T. Meyer (GRS)

Motivation

„... das Gebirge kann als geomechanisches Haupttragelement die Beanspruchung aus Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau, [...], bei verträglichen Deformationen aufnehmen“

StandAG Anlage 5

„Die für die Sicherheit des Endlagers relevanten Anlagenzustände während der Errichtung, des Betriebs und der Stilllegung sind systematisch zu ermitteln, [...]

Die Maßnahmen dürfen die Langzeitsicherheit des Endlagersystems nicht erheblich und nicht mehr als unvermeidlich beeinträchtigen.“

§17 EndlSinAnfV

„Endlagergebinde, die in das Endlager eingelagert wurden, müssen bis zum Beginn der Stilllegung des Endlagers rückholbar sein. Maßnahmen, die der Gewährleistung der Rückholbarkeit dienen, dürfen die Langzeitsicherheit des Endlagers nicht gefährden.“

§13 EndlSinAnfV



Vorgehen und Inhalte des Vortrages

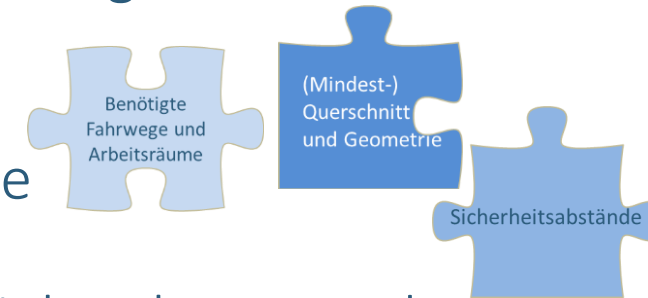
- Standes von Wissenschaft und Technik zu Grubenausbauen in Tongestein in Tunnel- und Bergbau sowie vergleichbaren Endlagerprojekten
- 1) Herleiten und Zusammenstellung der Anforderungen und Randbedingungen für technische Ausbaue von Grubenbaue für ein HAW-Endlager im Tongestein
- 2) Ermittlung der erforderlichen Ausbaueigenschaften zur Beherrschung des Gebirges
- 3) Erarbeitung von grundlegenden technischen Lösungen für den Ausbau
 - Identifikation von Wechselwirkungen zwischen den Ausbaumaterialien aus den erarbeiteten technischen Lösungen mit dem Wirtsgestein, Gebirgswässer und Porenwasser
- 4) Abschätzungen zum Alterationsverhalten der Ausbaumaterialien während der Betriebszeit und über die Langzeitentwicklung anhand chemischer Berechnungen
- 5) Bestimmung der Anwendungsgrenzen des neu konzipierten Ausbaus im Sinne einer Beschreibung der Kombination von Gesteinskenngößen und Teufenlage, die eine erfolgreiche Nutzung erwarten lassen

Beispiele für Anforderungen



> 300 m Teufe (StandAG) im mittelfesten, gebrächigen Gebirge

Benötigte Fahrwege und Arbeitsräume definierten Mindestquerschnitte



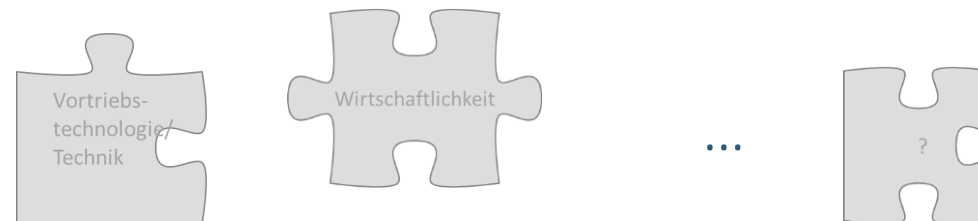
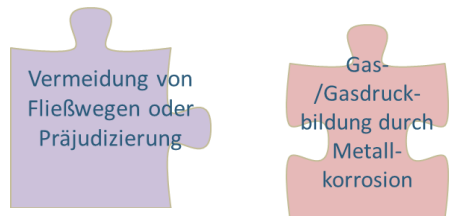
Funktionszeitraum über die Betriebszeit von mehreren Jahrzehnten und ggf. Rückholung



... ohne Sicherheit und Gesundheit zu gefährden... (ABBergV)



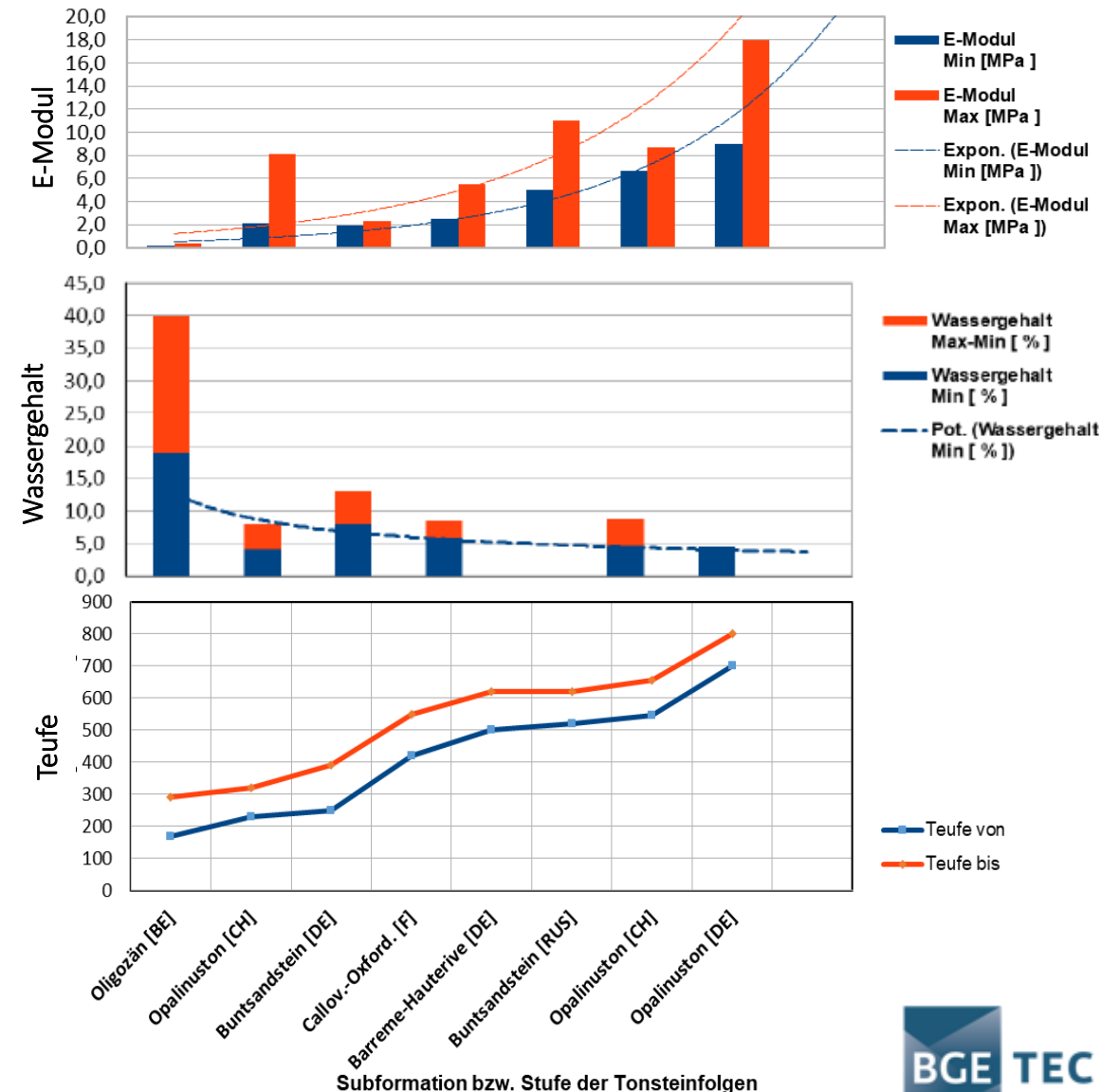
ohne Beeinträchtigung der Langzeitsicherheit



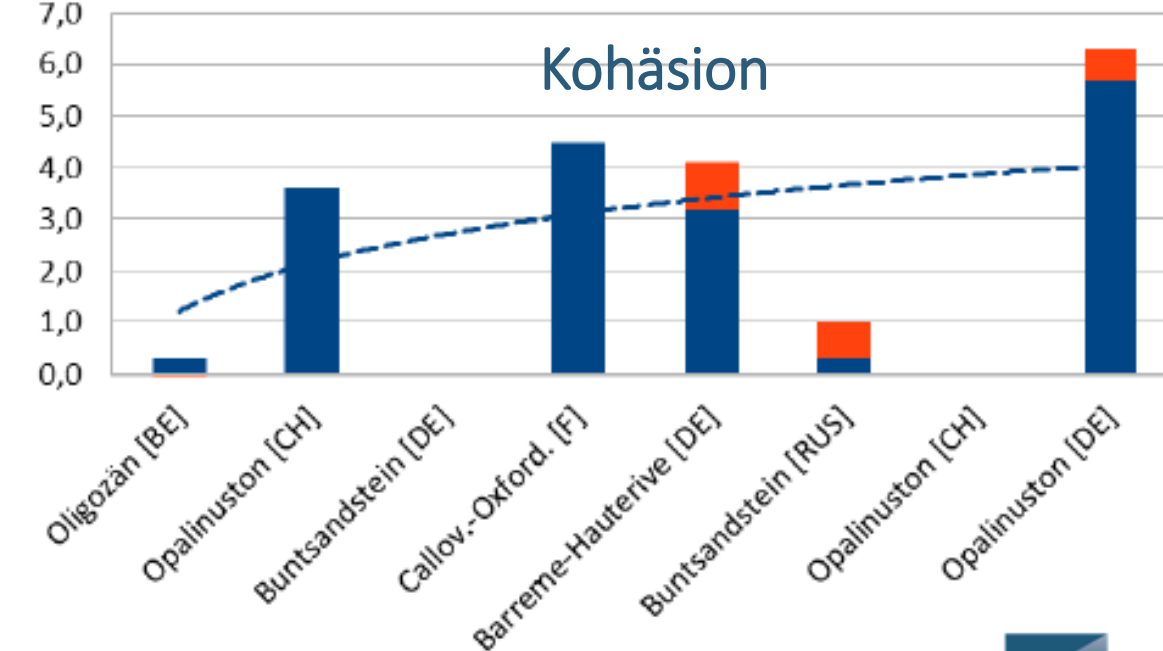
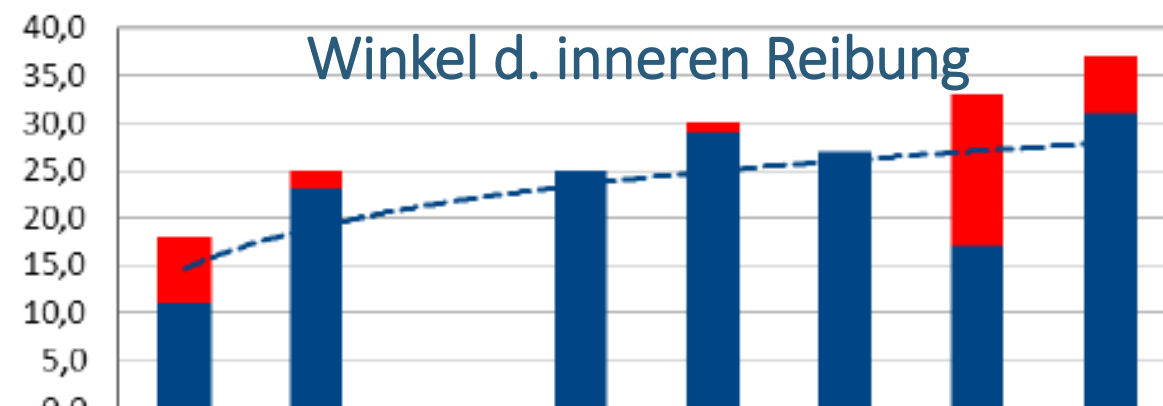
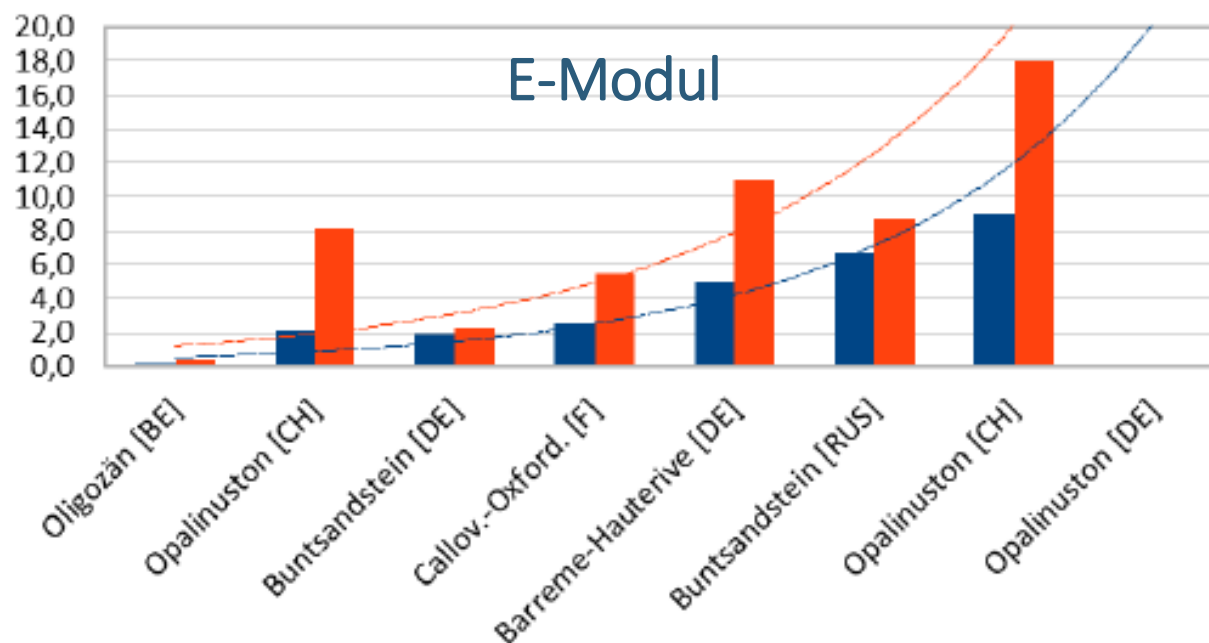
Eigenschaften der Tongesteine

gemäß ANSICHT-Vorhaben und weiterer Quellen:

- Untertage-Labor Mol (Belgien) – Oligozän [BE]
- Untertage-Labor Mont Terri (Schweiz) – Opalinuston [CH]
- Erkundungsbohrung Remlingen 15 für Schacht Asse 5 – Buntsandstein [DE]
- Untertage-Labor Bure (Frankreich) – Callov.-Oxford [F]
- Unterkreide Tongesteine vorwiegend im Bereich des Endlagerbergwerkes Konrad (Niedersachsen / Norddeutschland) – Barreme-Hauterive [DE]
- Tiefbohrung Benken (Schweiz) – Opalinuston [CH]
- Tongesteine (Opalinuston) aus dem unteren Mitteljura (Dogger) in Süddeutschland – Opalinuston [DE]
- Service Schacht für ein Kalibergwerk (Russland) – Buntsandstein [RUS]

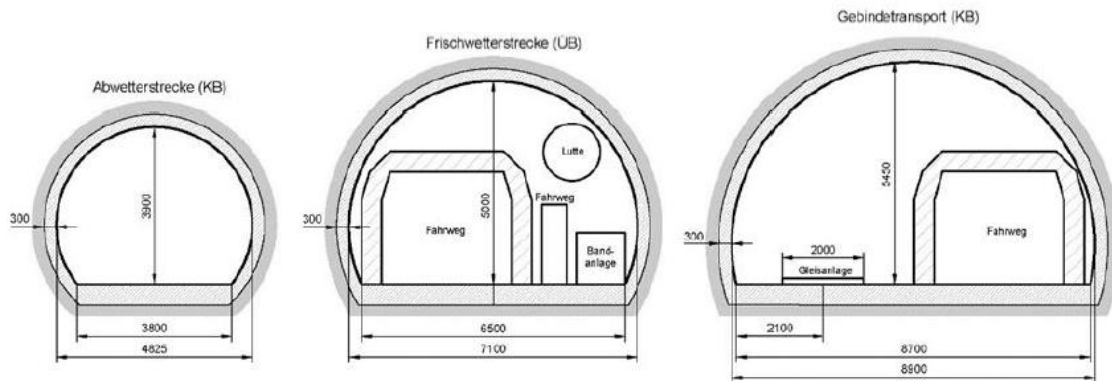


mechanische Eigenschaften der Tongesteine

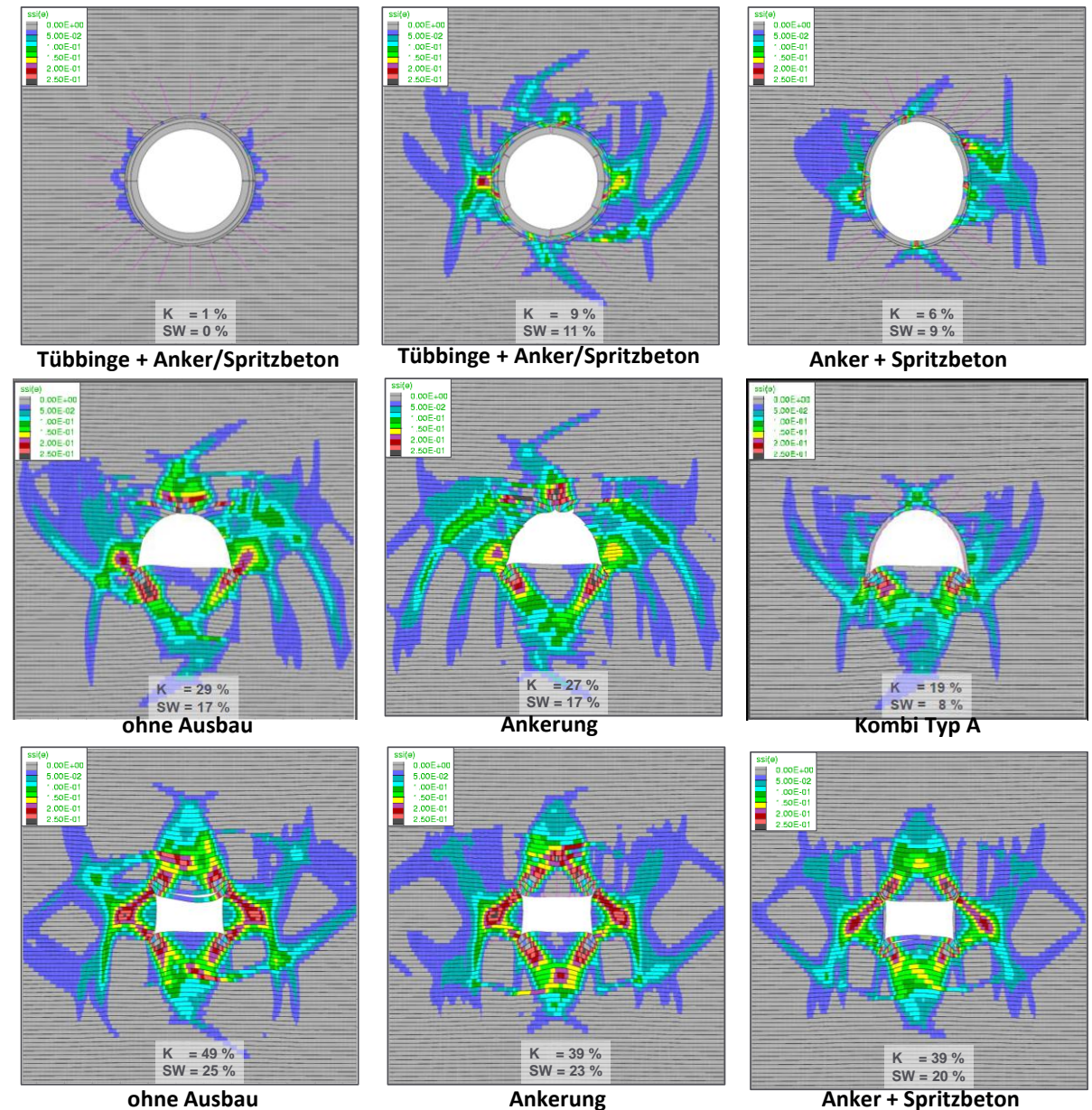


Hohlraumgeometrie

- Hohlraumgeometrie bestehender Endlagerkonzepte nach betrieblichen Anforderungen definiert:



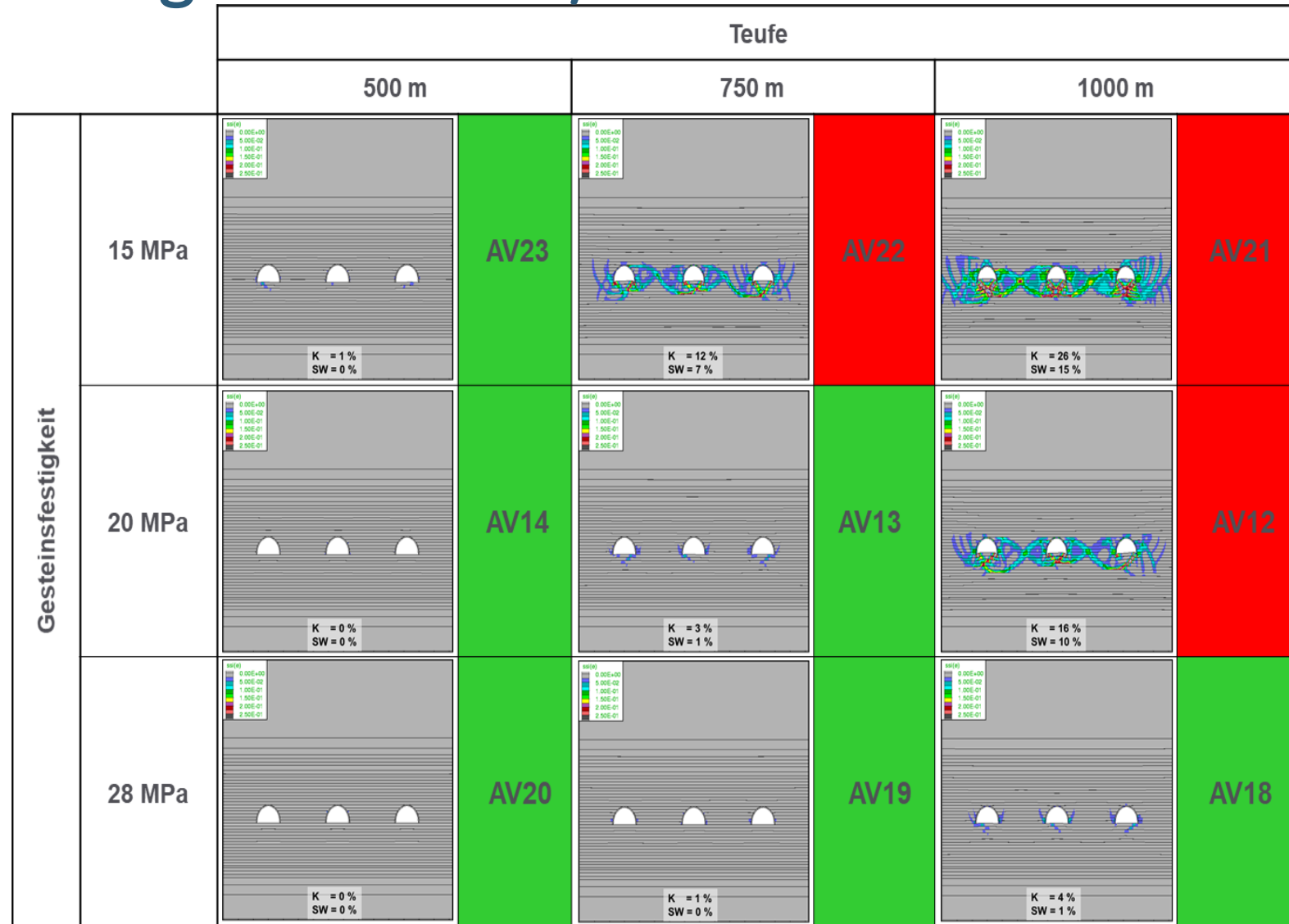
- Variationsrechnungen mit unterschiedlicher Geometrie und Ausbausystemen (Teufe 1000 m, Druckfestigkeit 15 MPa, Bankung 30 cm)



Ausbausysteme für kurzlebige Strecken II/III

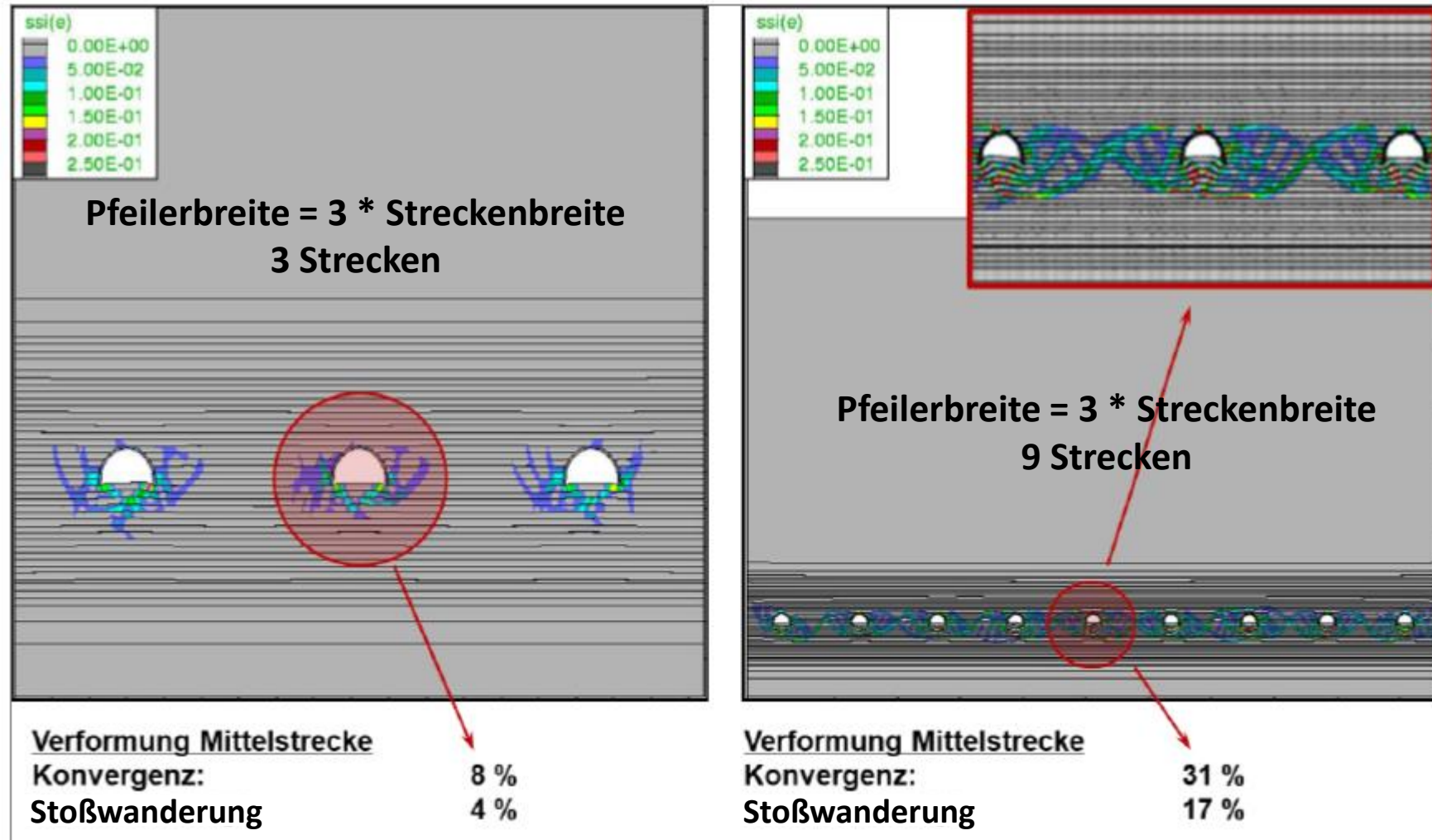
→ bogenförmige
Querschnitte
mit für kleine und/oder
kurzlebige Strecken und
„guten“ Gebirgseigenschaften
geeignet

Beispiel:
Einlagerungsstrecken der
horizontalen
Streckenlagerung

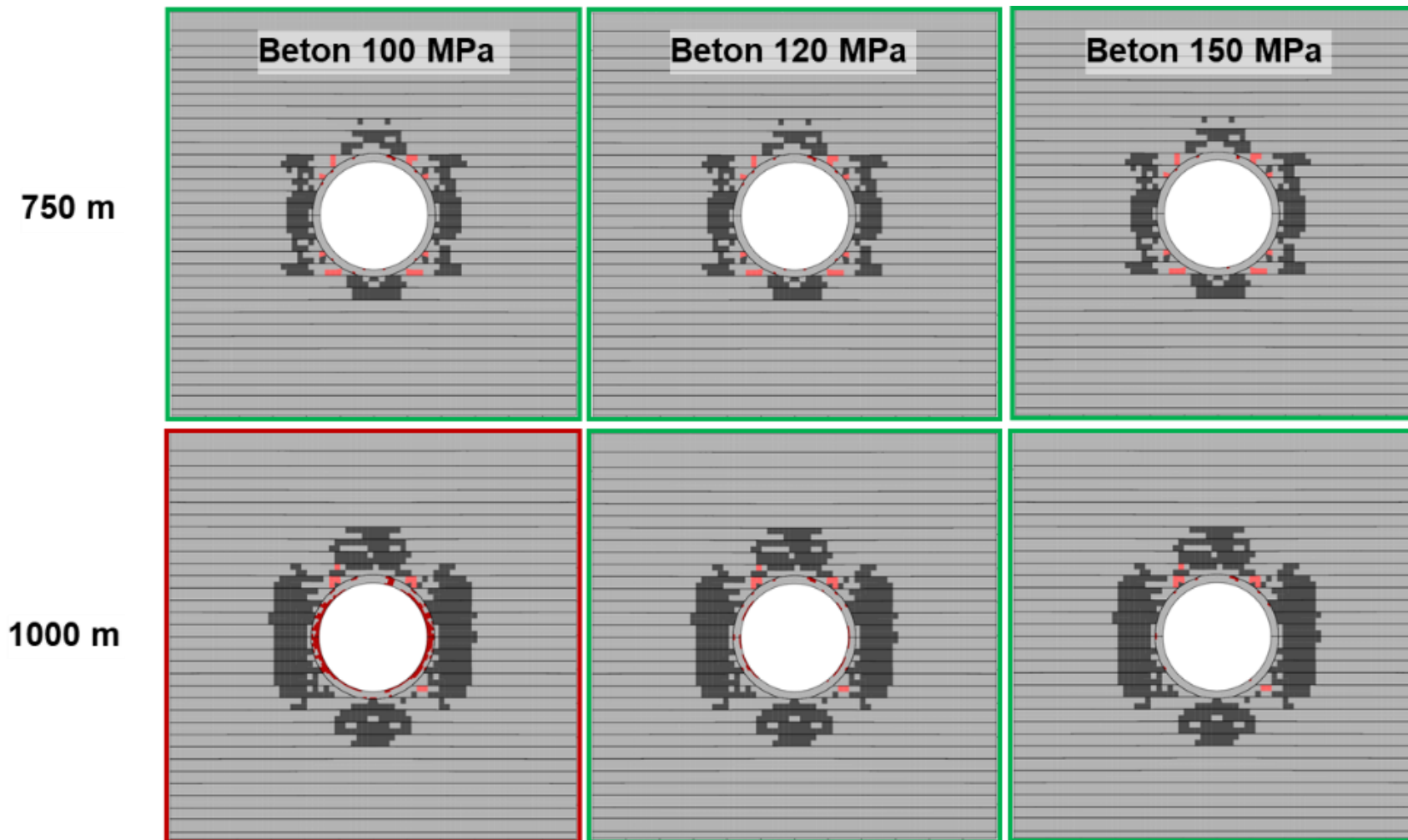


Ausbausysteme für kurzlebige Strecken III/III

Streckenabstände: geomechanisch >> thermisch und Funktion der Felddesgröße!



Ausbausysteme für langlebige Strecken I/IV



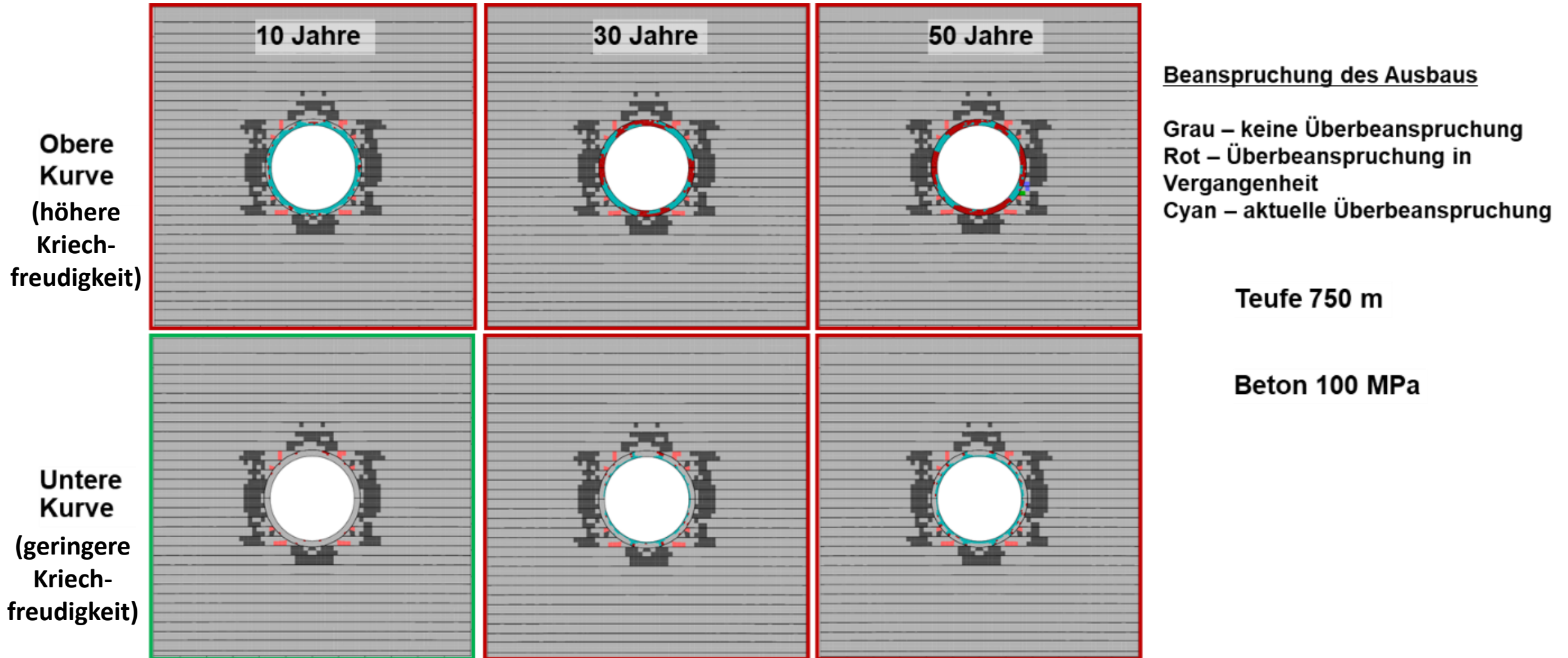
Beanspruchung des Ausbaus

Grau – keine Überbeanspruchung
Rot – Überbeanspruchung in Vergangenheit
Cyan – aktuelle Überbeanspruchung

→ sehr hohe Betonfestigkeiten erforderlich (>100 MPa), die untertage nur mit enormen Aufwand erstellt werden können

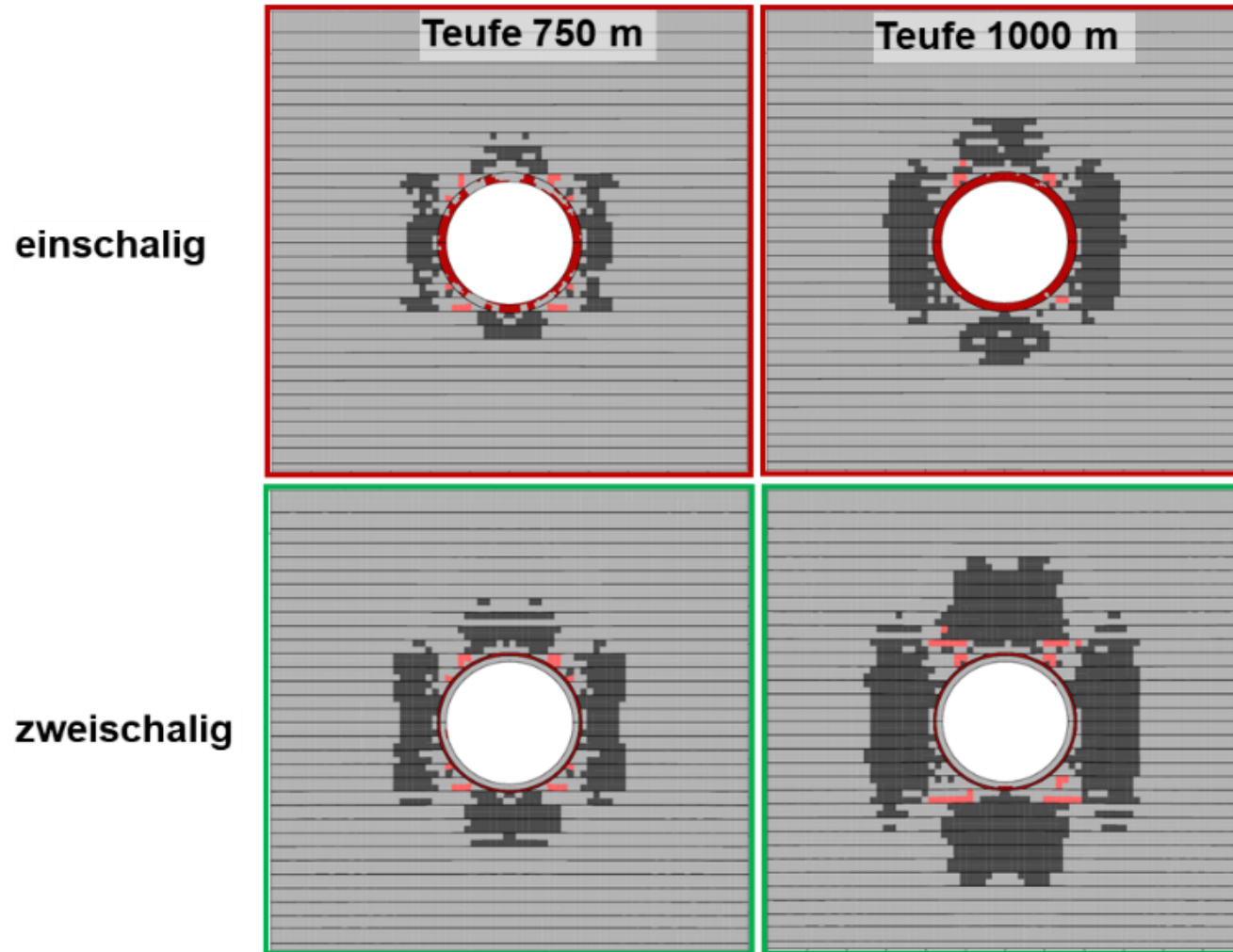
starres Ausbausystem: Variation der Betonfestigkeit

Ausbausysteme für langlebige Strecken II/IV



starres Ausbausystem: mit Kriechen

Ausbausysteme für langlebige Strecken III/IV



ohne Kriechen

Betonfestigkeit (einschalig)

Betonschale: 50 MPa
= uT gut herstellbare Betongüte

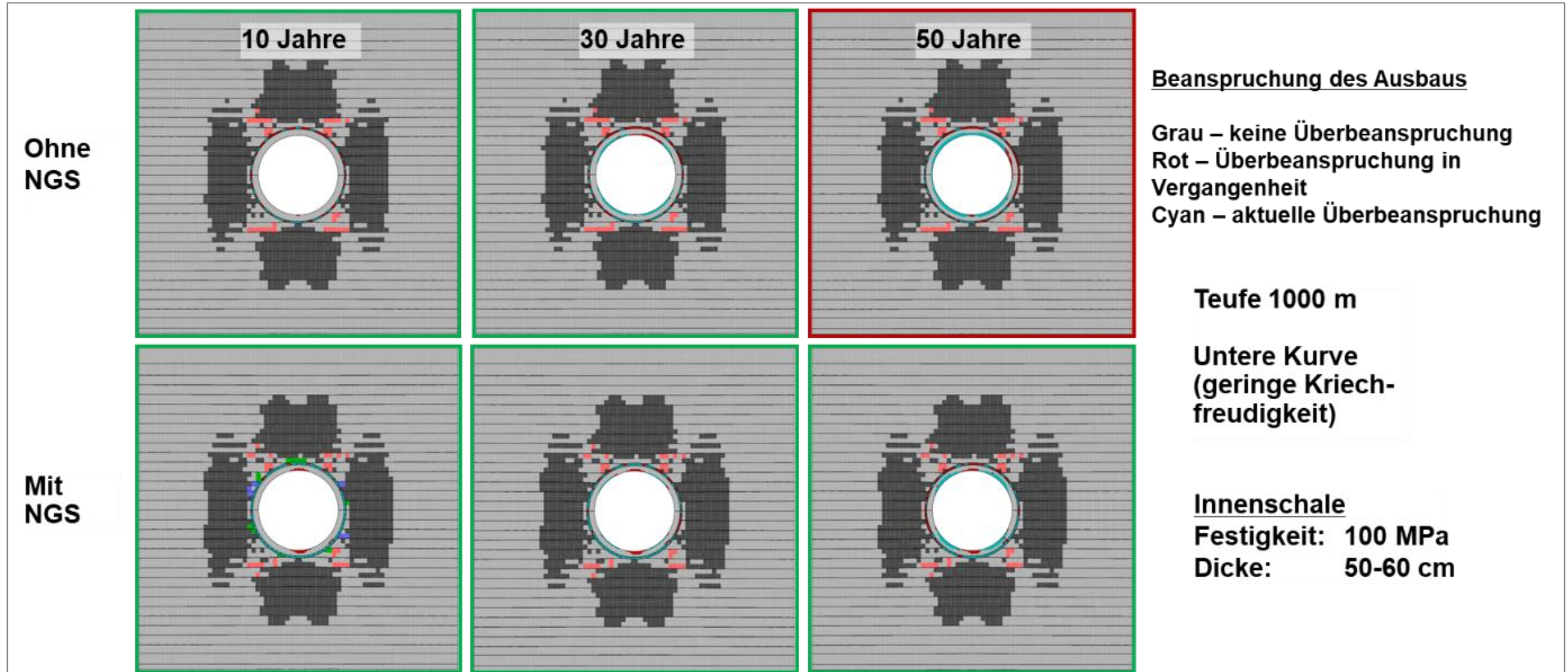
Beanspruchung des Ausbaus

Grau – keine Überbeanspruchung
Rot – Überbeanspruchung in Vergangenheit
Cyan – aktuelle Überbeanspruchung

Betonfestigkeit (zweischalig)

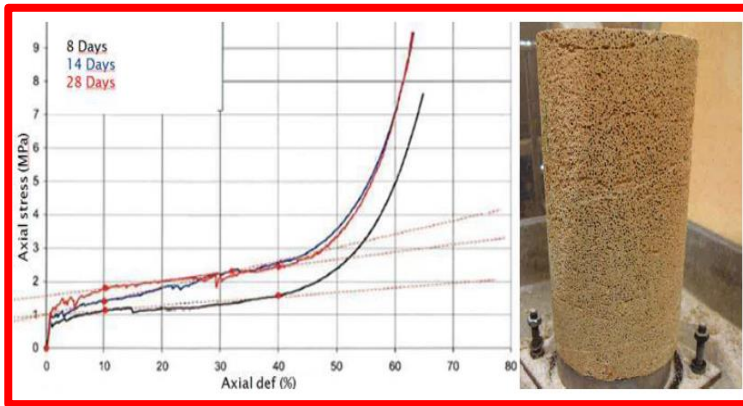
Innenschale: 50 MPa
Außenschale: 50 MPa

Ausbausysteme für langlebige Strecken IV/IV



mit und ohne Nachgiebigkeitssegmente (NGS) und Kriechen

Nachgiebigkeitssegmente



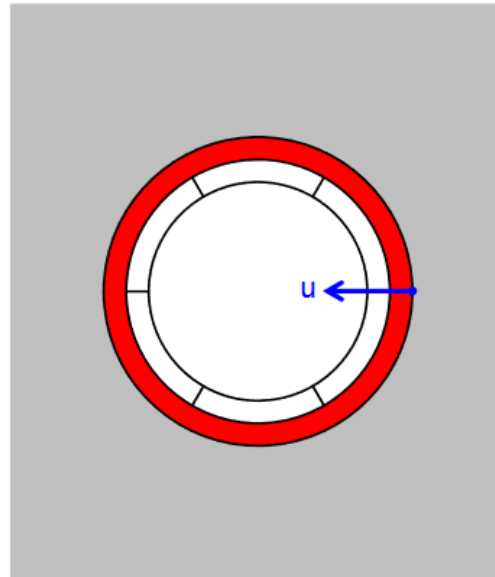
↑ Beispiel kompressibler Baustoff

Oder

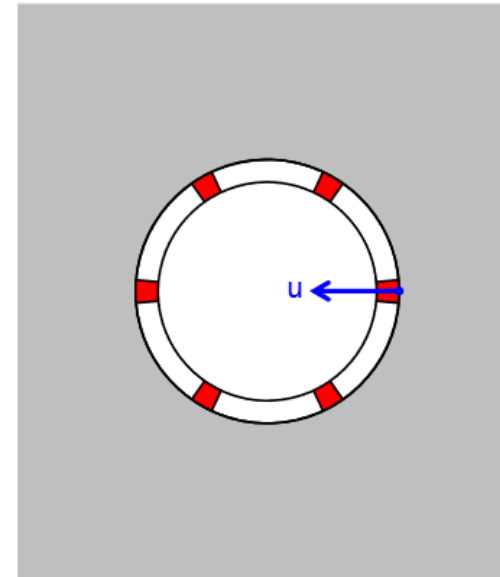
Tübbinge mit Druckfläche
(ANDRA) ↓



Verformbare Schicht



Verformbare Längsfugen



↑ Beispiel Stauchelemente

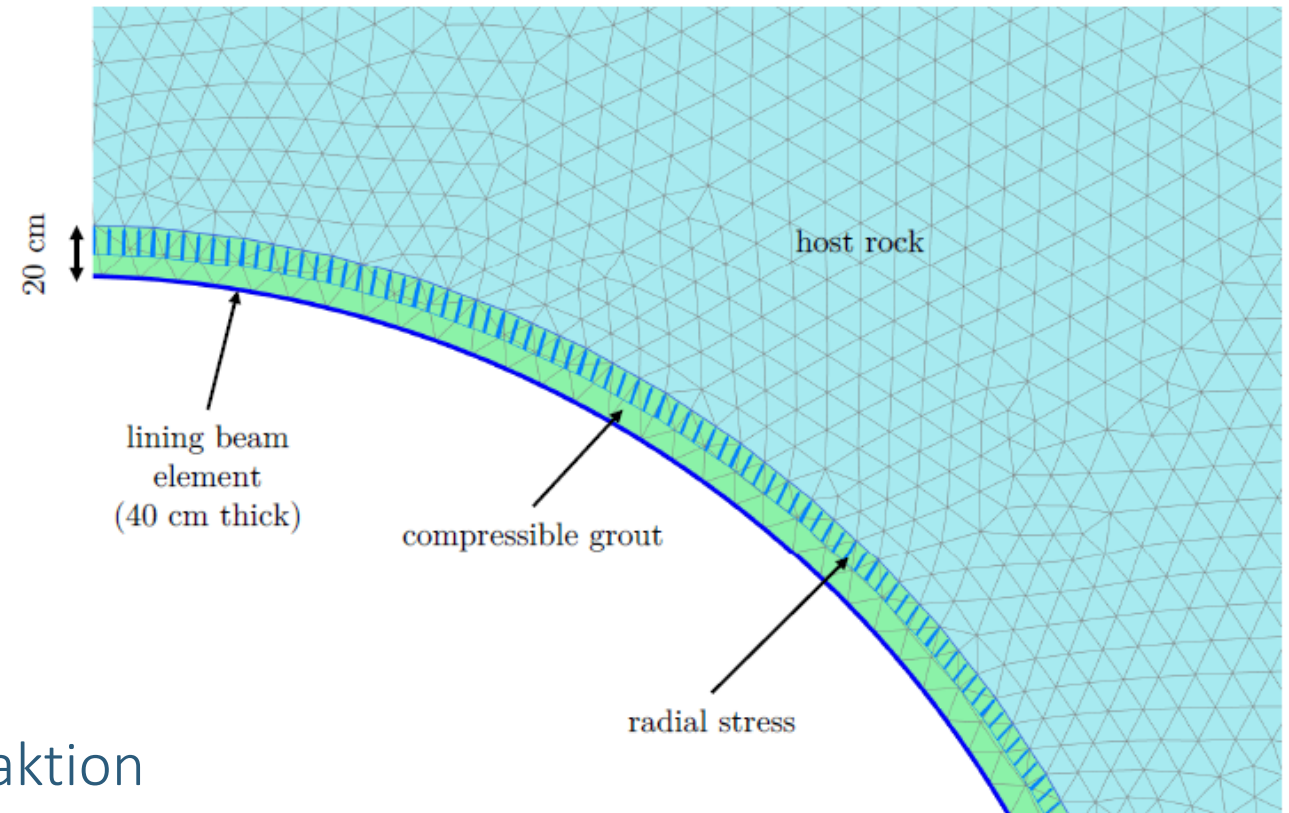
Oder

Konrad ↓

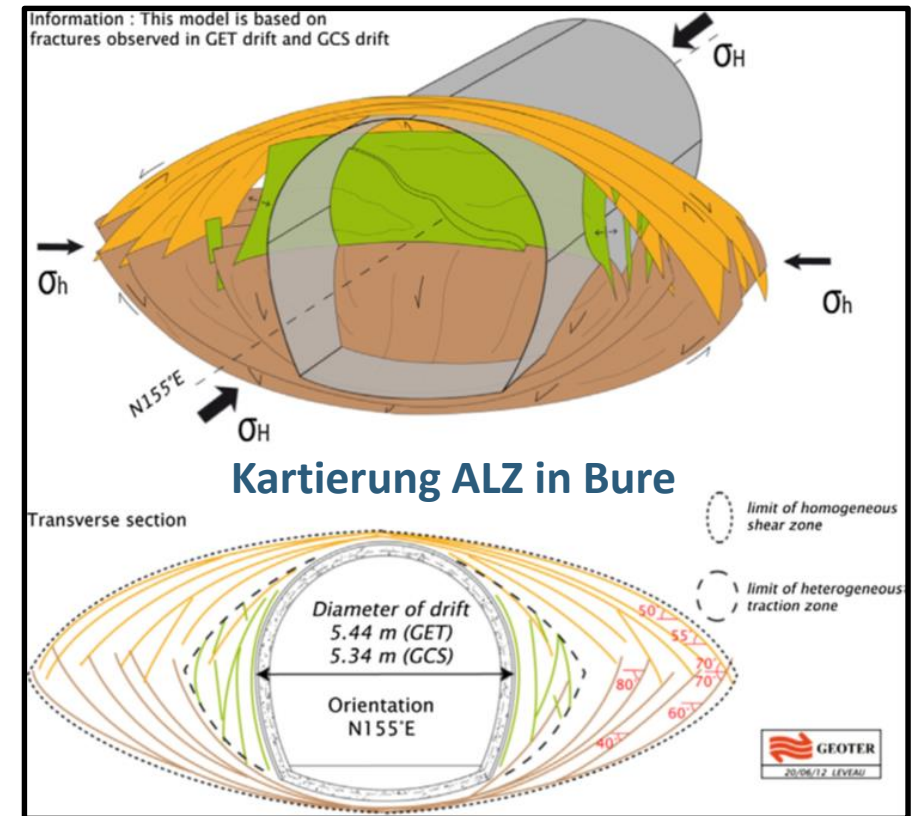
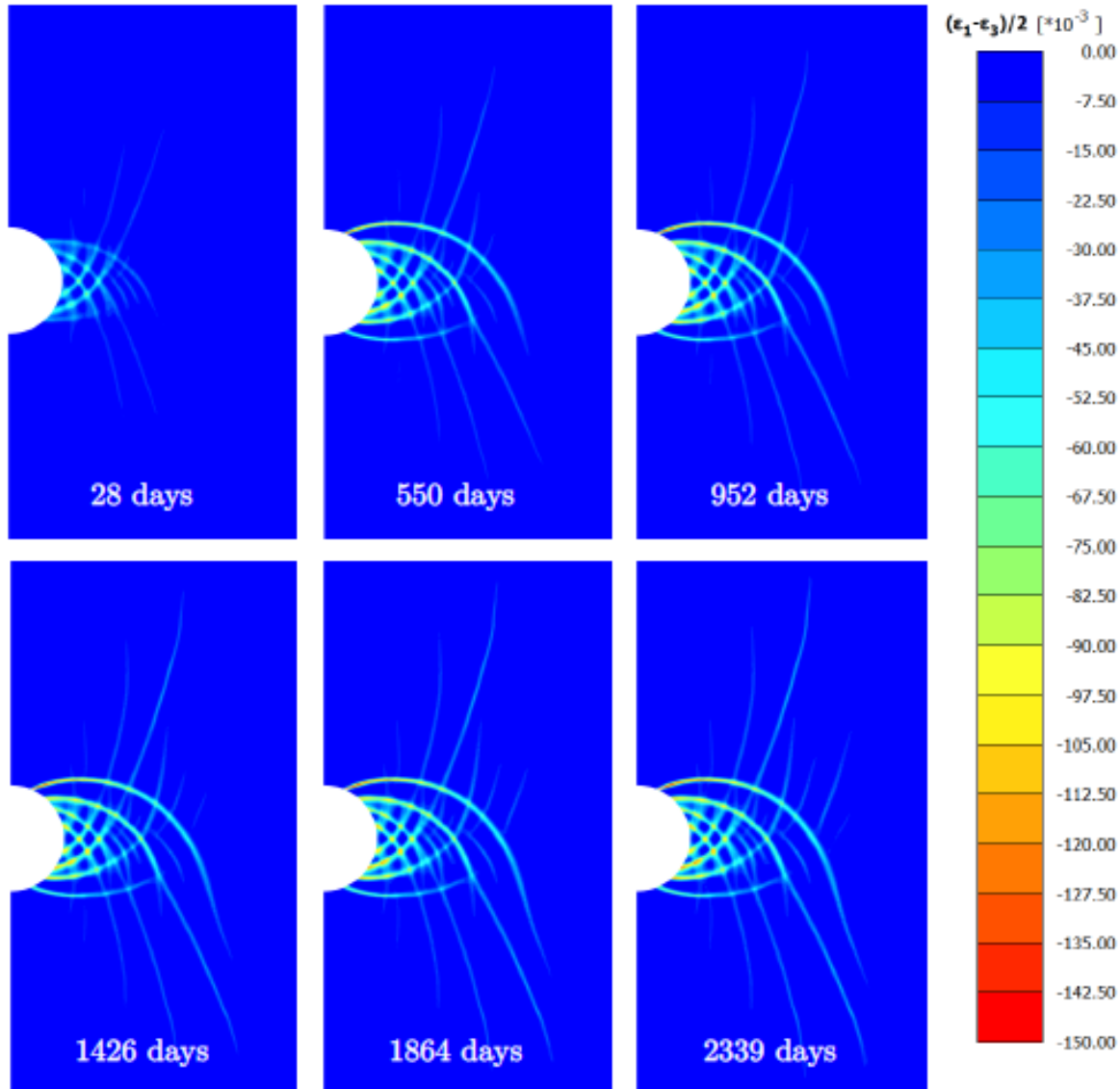


HM-Simulation über die Betriebszeit I/II

- Tübbingausbau mit kompressibler Hinterfüllung
 - generisches Modell mit einem existierenden Stoffmodell für COX
 - Geomechanische Verhältnisse mit Standort NORD vergleichbar
- Erlaubt qualitative Aussagen zur Interaktion Ausbau-Gestein und liefert Rückschlüsse für die Baustoffentwicklung der Hinterfüllung

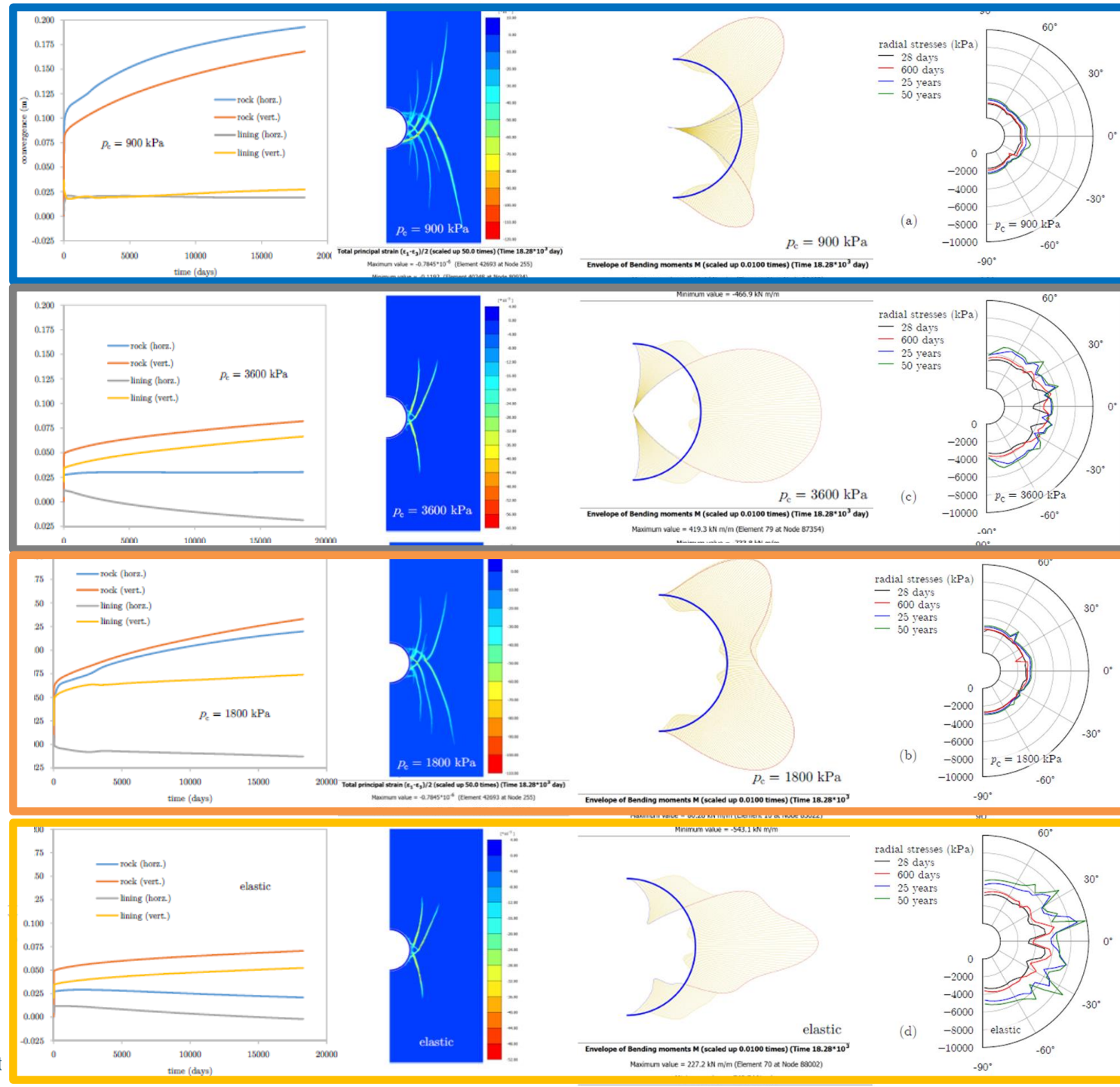
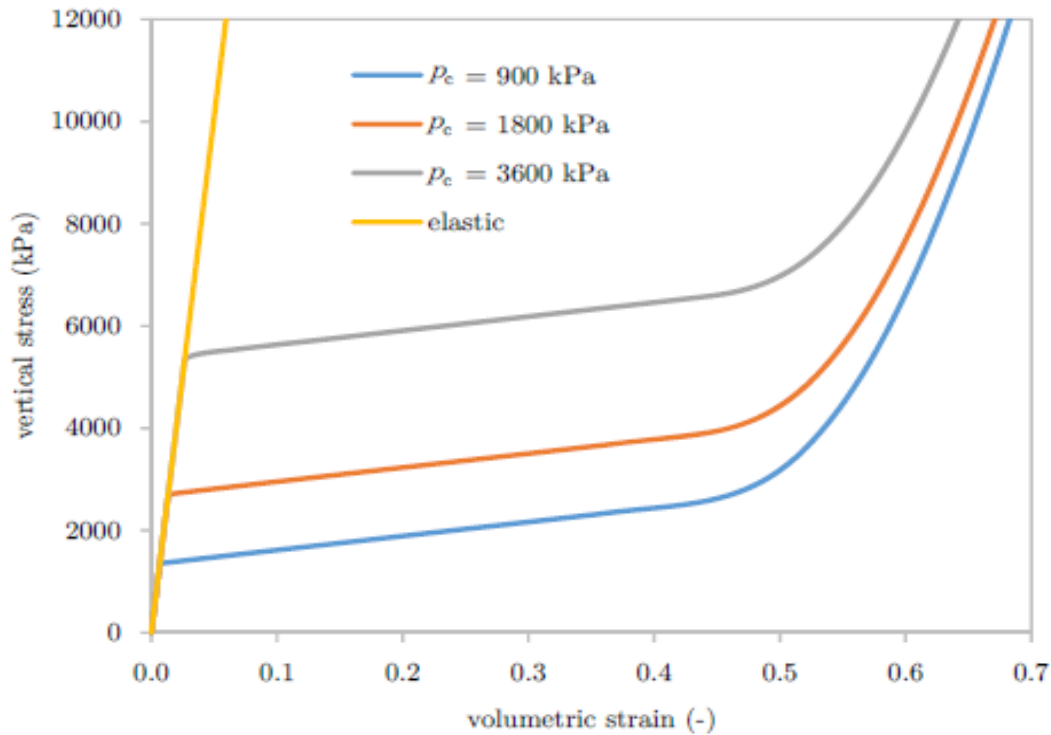


HM-Simulation über die Betriebszeit II/II



Hinterfüllung

Variation der Steifigkeit der Hinterfüllung



Low und high pH-Baustoffe im Vergleich

- Entwicklung einer Referenzrezeptur – low pH-Beton
- Low-pH-Baustoffe mit wenig Portlandzementklinker aber einem hohen Anteil reaktiven Zusatzstoffen
- bei der Reaktion der Zusatzstoffe werden OH-Ionen verbraucht → pH-Wert-Senkung
- CaO , Al_2O_3 und SiO_2 in beiden Baustofftypen vorhanden
- Reaktive Zusatzstoffe enthalten im Vergleich zu Portlandzementklinker weniger Calcium

⇒ Chemische Prozesse/Korrosionsprozesse sind in „Normalbeton“ und low-pH Beton grundsätzlich gleich

- Relevanz/Ausprägung abhängig von:
 - der Menge korrodierbarer Stoffe (Zusammensetzung Baustoff)
 CaO : LPH < HPC, SiO_2 : LPH > HPC, Al_2O_3 : LPH ≤ HPC
 - Eindringfähigkeit der korrosiven Stoffe, Permeabilität, Diffusionsvermögen im Porenraum
 - Zusammensetzung der Fluide (Konzentration korrosiver Stoffe)
 - Umgebungsbedingungen, wie Druck und Temperatur

Alteration des Baustoffs I/II

- Normalbeton und low-pH Beton korrodieren!
- Bei identischem $(W/Z)_{\text{eff}}$ ist low-pH Beton im Vergleich zu Normalbeton stabiler (mehr SiO_2 , eher weniger Al_2O_3 und wenig CaO)
- Beide bei üblichen Zeiten der Gebrauchstauglichkeit (50 - 100 a) im Modellgebiet Nord und Süd einsetzbar
- Angriffsgrad im Modellgebiet Süd (Opalinuston) niedriger als im Modellgebiet Nord (vgl. Bergwerk Konrad)
- Maximale Funktionsdauer im Modellgebiet Süd (Opalinuston) schwer abschätzbar, da die Auswertung auf Erfahrungen der Baustoffindustrie basiert
- Prüfung natürlicher Analogie möglich - jedoch nicht erfolgt \Rightarrow geochemische Berechnungen

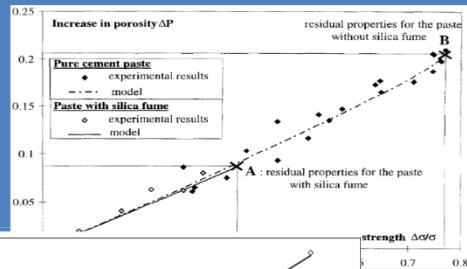
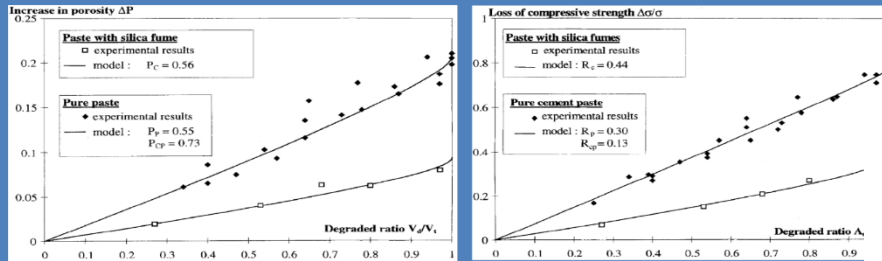
Alteration des Baustoffs II/II

Literaturrecherche Alteration von Beton und low pH Baustoffen

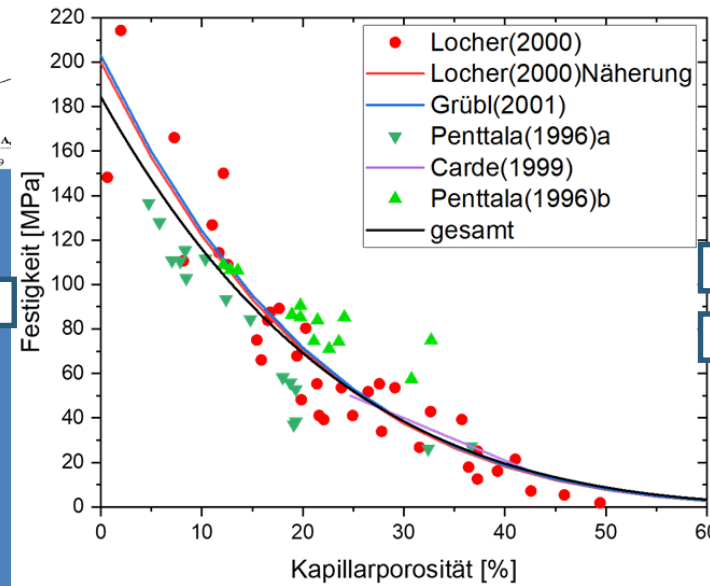
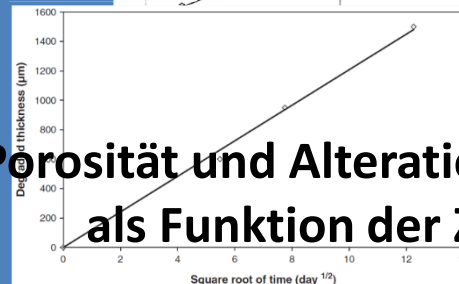
Modellrechnungen

HM-Simulationen zur Beschreibung der mechanischen Einwirkungen

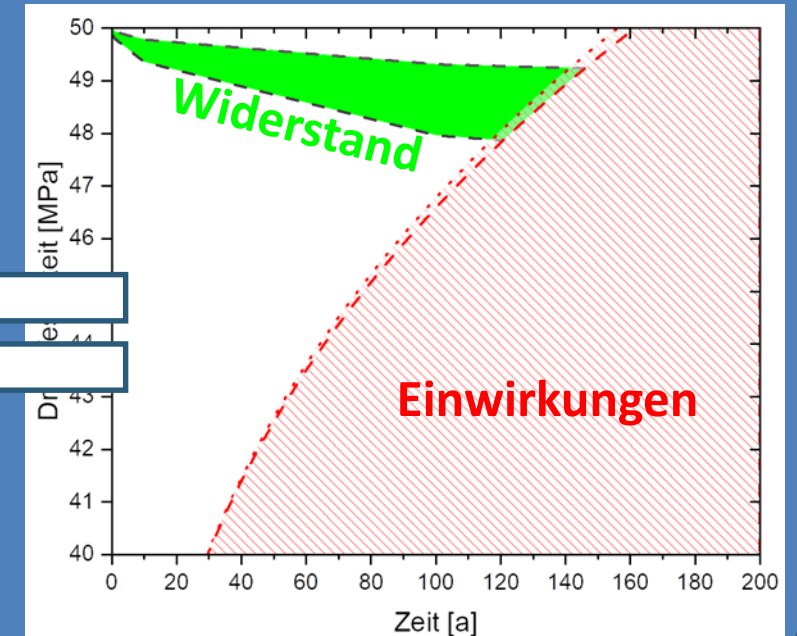
Abschätzung Eigenschaftsentwicklung (Festigkeit) in Folge der Baustoffkorrosion



Porosität und Alterationsfront als Funktion der Zeit



Festigkeit als Funktion der Porosität



Zusammenfassung

- im Ausbausystem laufen vielfältigste Anforderungen zusammen (regulatorisch, betrieblich, technisch, sicherheitstechnisch-Betrieb, sicherheitstechnisch-Langzeit)
- besonders im Tongestein stellt der Ausbau damit ein wichtiges Teilsystem dar, das u.a. Endlagersystem/Auslegung, Langzeitsicherheit/Nachweiskonzept und auch Standortauswahl beeinflusst
- „schlanke“ Ausbausysteme scheinen nur für kleine, kurzlebige Grubenbaue in „guten“ geomechanischem Umfeld anwendbar
- Geschlossener, mehrschaliger Betonausbau in kreisrunden Querschnitten mit Nachgiebigkeitssegmenten als Vorzugsvariante für langlebige Grubenbaue, Adaption auf breites Spektrum geomechanischer Bedingungen möglich
- Normalbeton und low-pH Beton korrodieren, für Bewertung der Langzeitsicherheit sind Standortbedingungen und Baustoffeigenschaften zu berücksichtigen

- Inhalte des Vortrages basieren auf FuE-Vorhaben „Ausbau von Grubenbaue für ein HAW-Endlager in Tongestein - AGEnT“
- Verbundprojekt zwischen BGE TECHNOLOGY GmbH und DMT GmbH & Co. KG
- Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), vertreten durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA)

