



Dimensionierung eines nachgiebigen Ausbaus in druckhaftem Gebirge

Workshop „Tunnelbauforschung in Leoben,
Schwanau und Bochum“

30.09.2013

Ruhr-Universität Bochum

Dipl.-Ing. Anna-Lena Hammer

- **Motivation**
- Vorgehen
- Versuche
- Berechnungen
- Zusammenfassung und Ausblick

Ausbaudimensionierung einer nachgiebigen Schale

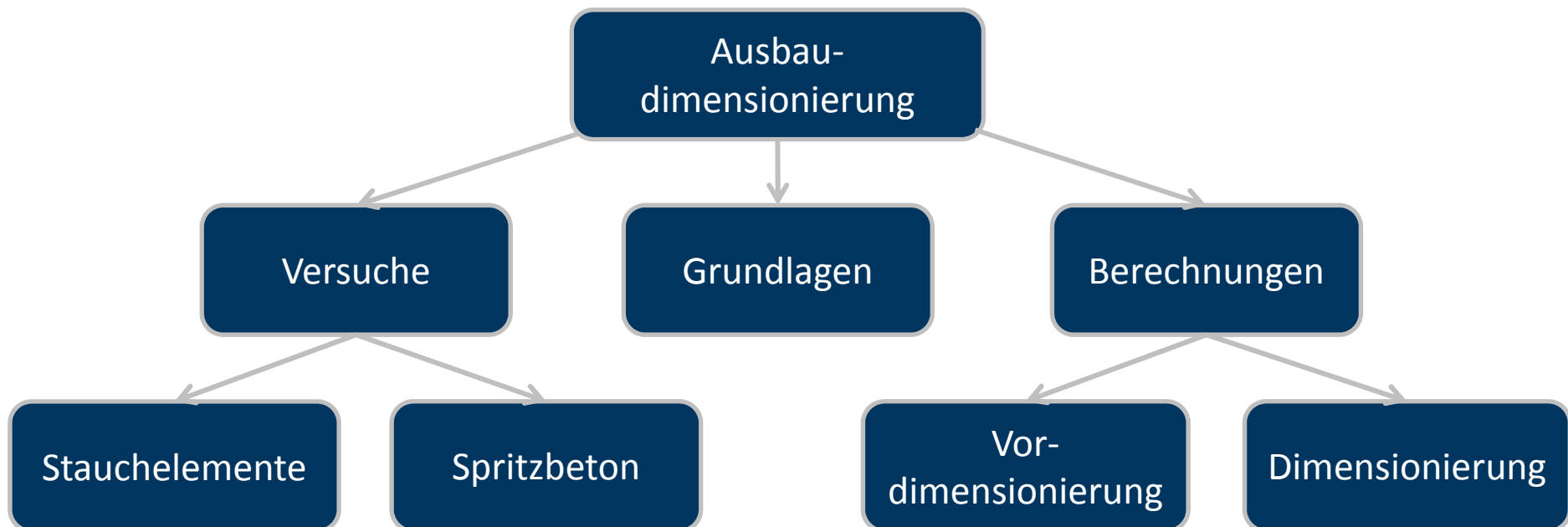
- Nachgiebiger Ausbau mit Spritzbetonschale und Stauchelementen hat sich in druckhaftem Gebirge bewährt
- Stauchelemente ermöglichen kontrollierte Stauchung bei Ausnutzung der Anfangsfestigkeit des Spritzbetons
 - Berechnungsmethoden für den Einsatz von Stauchelementen weiterentwickeln



Hammer: Dimensionierung eines nachgiebigen Ausbaus in druckhaftem Gebirge

Ausbaudimensionierung einer nachgiebigen Schale

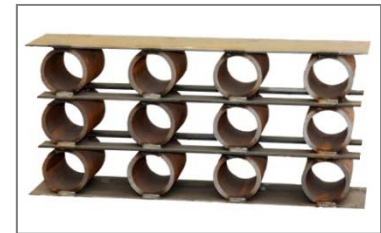
- Nachgiebiger Ausbau mit Spritzbetonschale und Stauchelementen hat sich in druckhaftem Gebirge bewährt
- Stauchelemente ermöglichen kontrollierte Stauchung bei Ausnutzung der Anfangsfestigkeit des Spritzbetons
 - Berechnungsmethoden für den Einsatz von Stauchelementen weiterentwickeln



- Motivation
- **Vorgehen**
- Versuche
- Berechnungen
- Zusammenfassung und Ausblick

Versuche

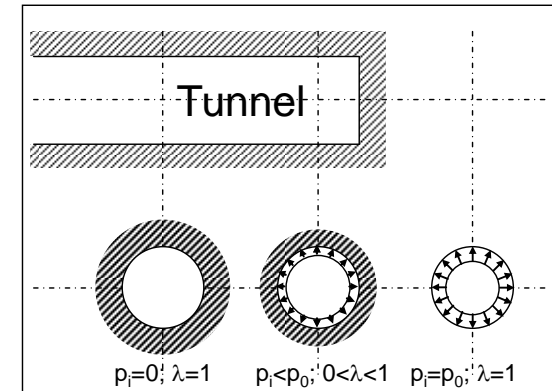
- Versuche zum Last-Verformungsverhalten von Stauchelementen unter gleichen Ausgangsbedingungen
 - Unterschiedliche Randbedingungen bilden Einbauungenauigkeiten und Gebirgsbewegungen ab
- Auswertung von Vortriebsdaten zur Festigkeitsentwicklung von Spitzbeton verschiedener Projekte und Versuche
 - Betrachtung mehrerer Ansätze zur Beschreibung von Spritzbeton
 - Versuche an Spritzbeton zur Gewinnung von Parametern zur realitätsnahen Analyse



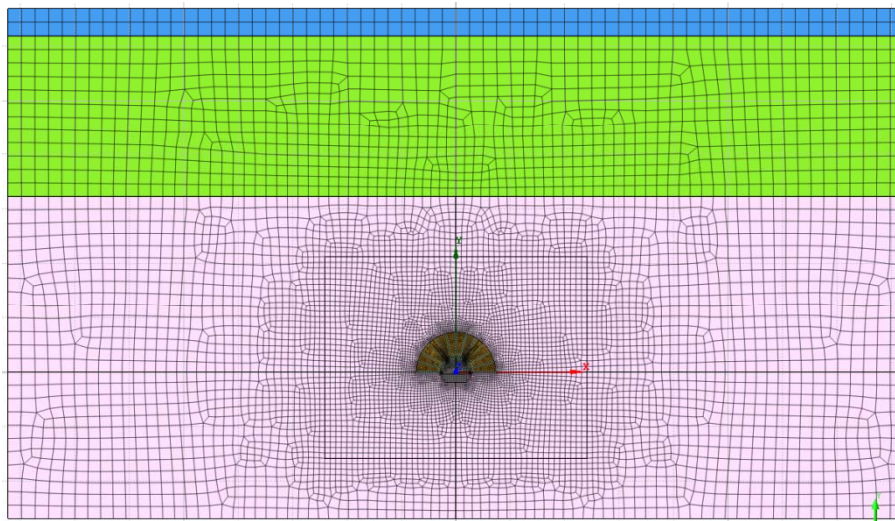
Hammer: Dimensionierung eines nachgiebigen Ausbaus in druckhaftem Gebirge

Berechnungen

- analytische Berechnungsmethoden
 - zur Vordimensionierung und zur Abschätzung des Systemverhaltens
 - als Anwendungsempfehlung möglicher Stauchelemente für Projektfall



[Sulem, Panet, Guenet, 1987]



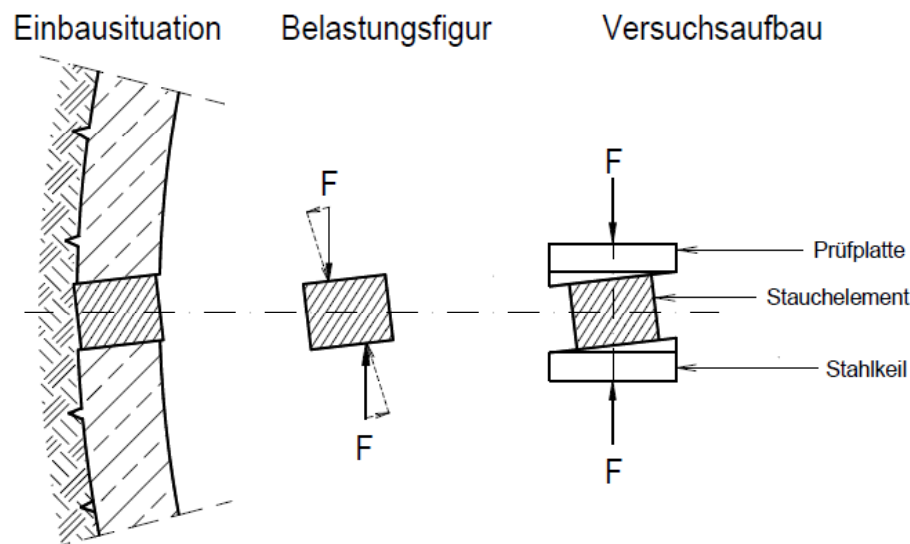
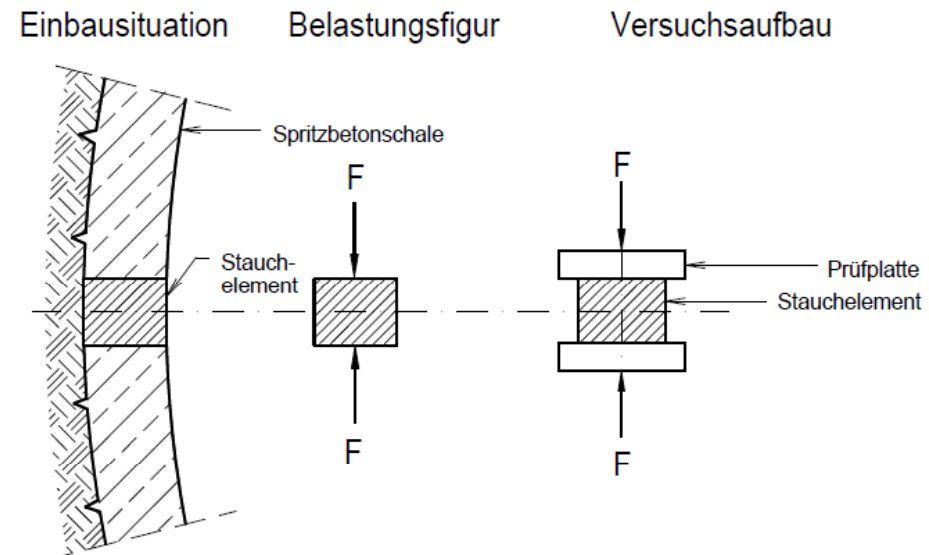
- numerische Berechnungsmethoden
 - Darstellung der Ausbauelemente: Spritzbeton, Stauchelemente, Anker
 - Untersuchung des Einflusses der Gebirgsqualitäten

- Motivation
- Vorgehen
- **Versuche**
 - **Stauchelemente**
 - **Spritzbeton**
- Berechnungen
- Zusammenfassung und Ausblick

Versuchsaufbau Stauchelemente

Versuch I – zentrische Belastung

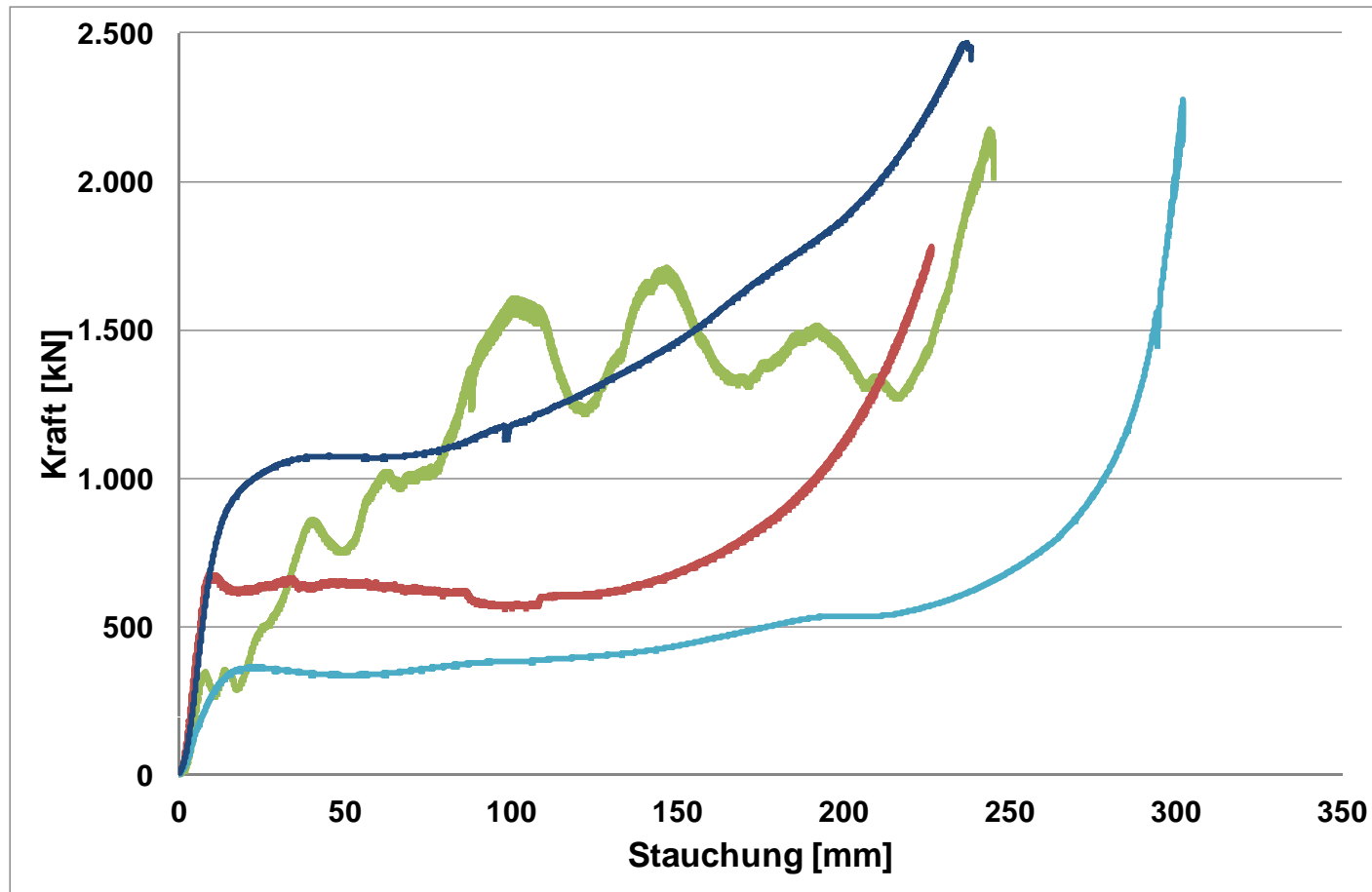
- Normalfall Belastung im Tunnelbau
- Orientierung an Tauerntunnel – nachträgliche Gegenüberstellung der Daten möglich



Versuch II – exzentrische Belastung

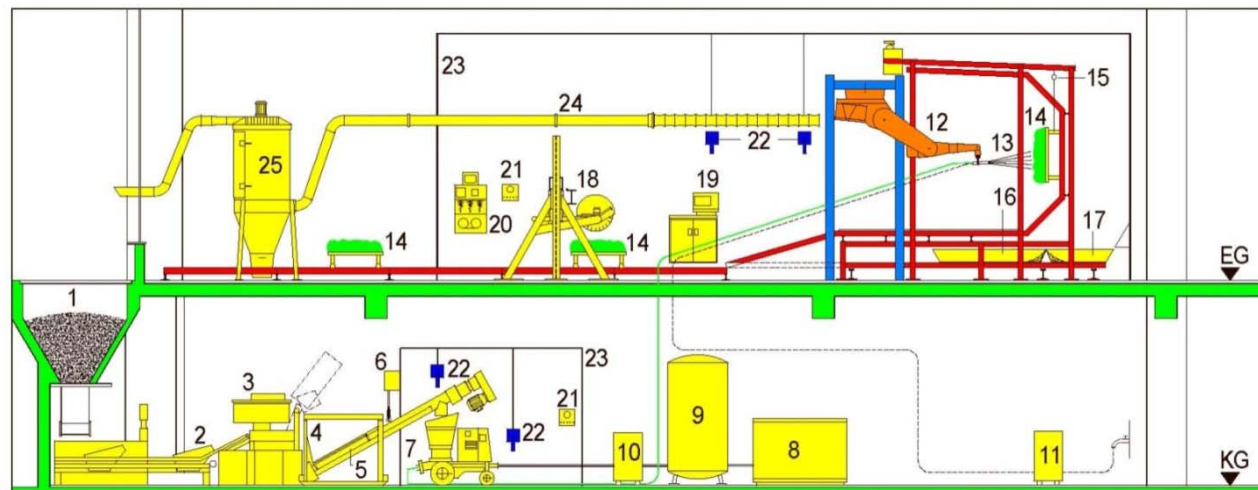
- Berücksichtigung von 5%-iger Schiefstellungen als Einbautoleranz
- Scherbeanspruchung wirkt auf Stauchelement

Versuch I – zentrische Belastung



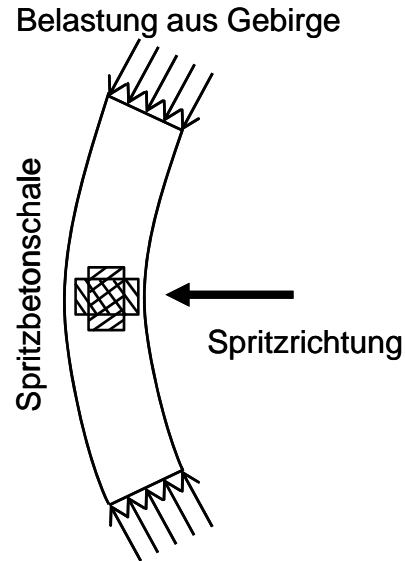
Spritzbetonversuche

- Spritzbetonversuche im Versuchsstand
- Spritzbetonversuche anhand Rezeptur Tauerntunnel, um Festigkeitsentwicklung besser abzubilden und Daten für numerisches Modell zu gewinnen
 - Voruntersuchung, ob Bohrkernentnahme parallel zur Spritzrichtung zu reduzierten Druckfestigkeiten führt



SCOTT – Sprayed COncrete Testing unit for Tunnelling

Spritzbetonversuche



- in Spritzbetonschale wirken größten Druckspannungen senkrecht zur Spritzrichtung
- Annahme: Bohrkernentnahme parallel zur Spritzrichtung führt zu reduzierten Druckfestigkeiten bis zu 20 %

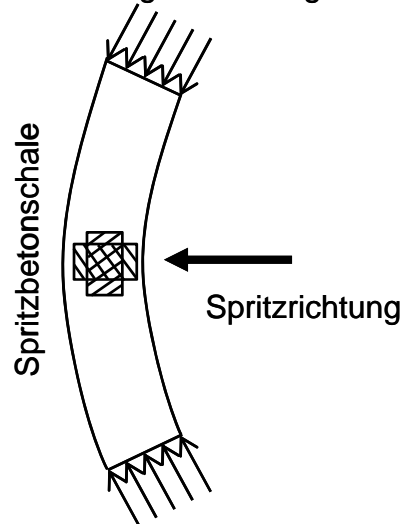


- Bestimmung von Druckfestigkeiten zu angegebenen Zeitpunkten
- Kontinuierliche und zyklische Belastung zur Bestimmung des E-Moduls

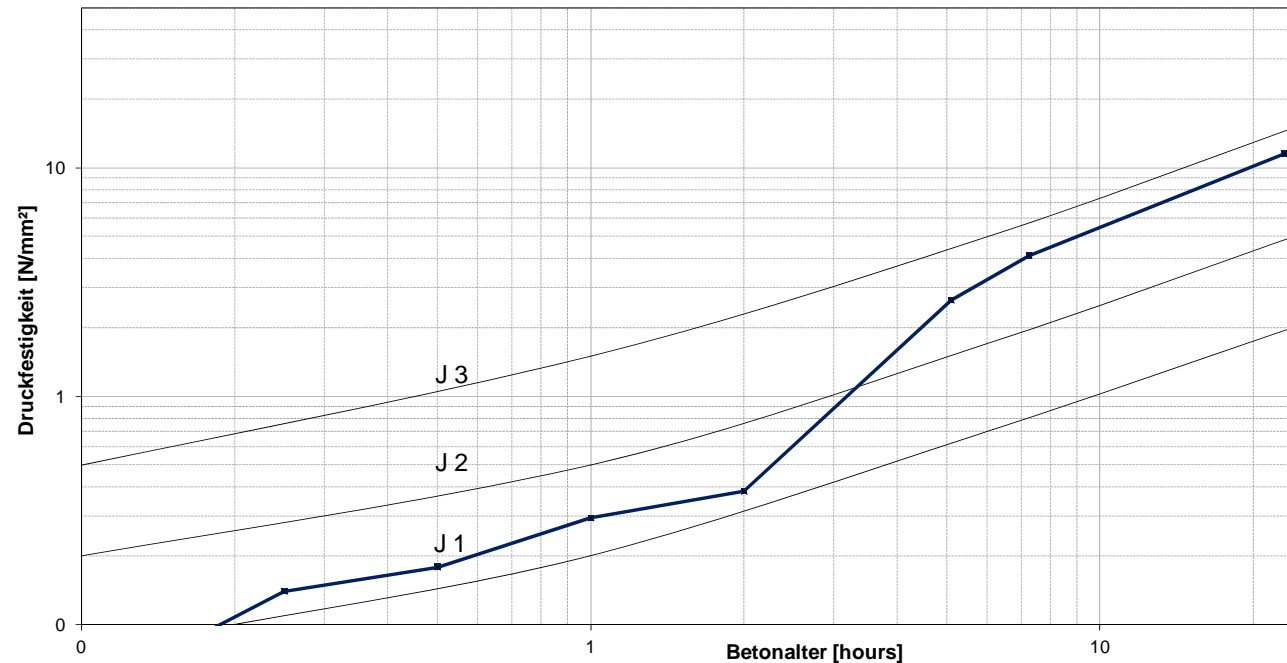
Prüfung	
Frühfestigkeit	nach Norm
Druckfestigkeit	2 d
Druckfestigkeit	4 d
Druckfestigkeit	7 d
Druckfestigkeit	10 d
Druckfestigkeit	14 d
Druckfestigkeit	21 d
Druckfestigkeit	28 d

Spritzbetonversuche

Belastung aus Gebirge



Frühfestigkeitsentwicklung Spritzversuch 23.09.13



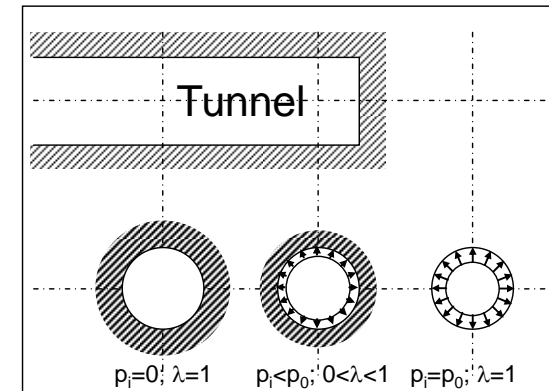
Prüfalter	Druckfestigkeit in Spritzrichtung	Druckfestigkeit gegen die Spritzrichtung	Abweichung
2d	18,3 N/mm ²	18,3 N/mm ²	0 %
4d	20,9 N/mm ²	19,9 N/mm ²	-4,8 %
7d	22,5 N/mm ²	21,2 N/mm ²	-5,8 %

- Motivation
- Vorgehen
- Versuche
- **Berechnungen**
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Analytische Berechnungsverfahren

Kennlinienverfahren

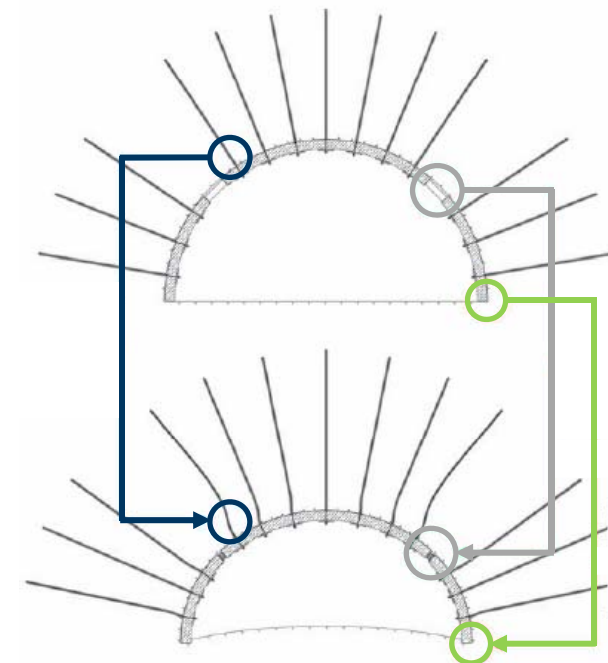
- für kreisrunde, tiefliegende Tunnel
- hydrostatischer Primärspannungszustand
- Kombination aus Ausbaucharakteristik, Verschiebungsentwicklung infolge des Vortriebs, zeitabhängiger Spritzbetonfestigkeit



[Sulem, Panet, Guenet, 1987]

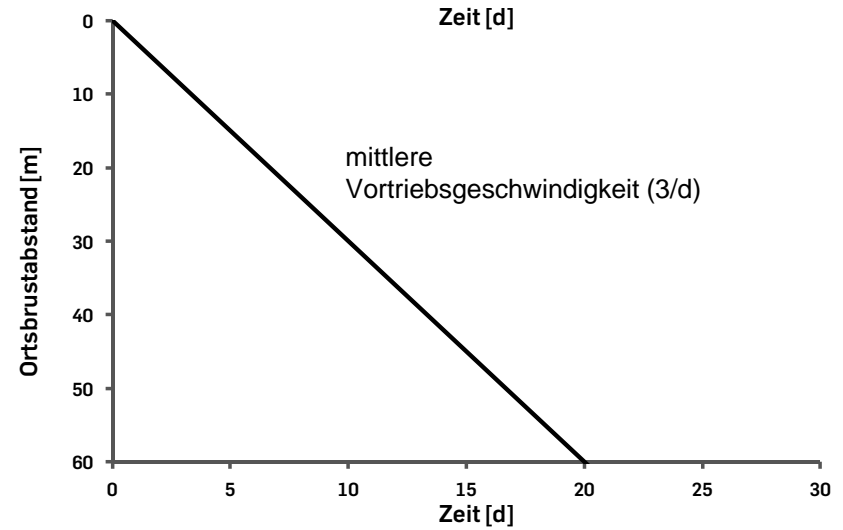
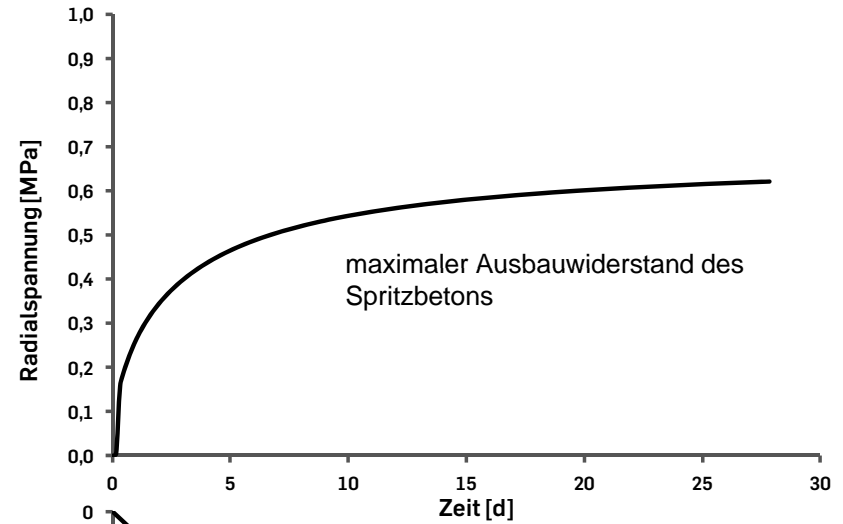
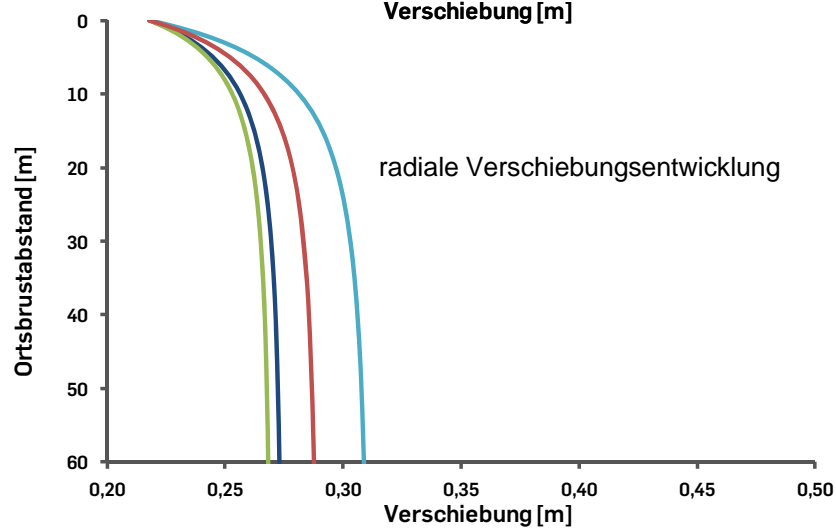
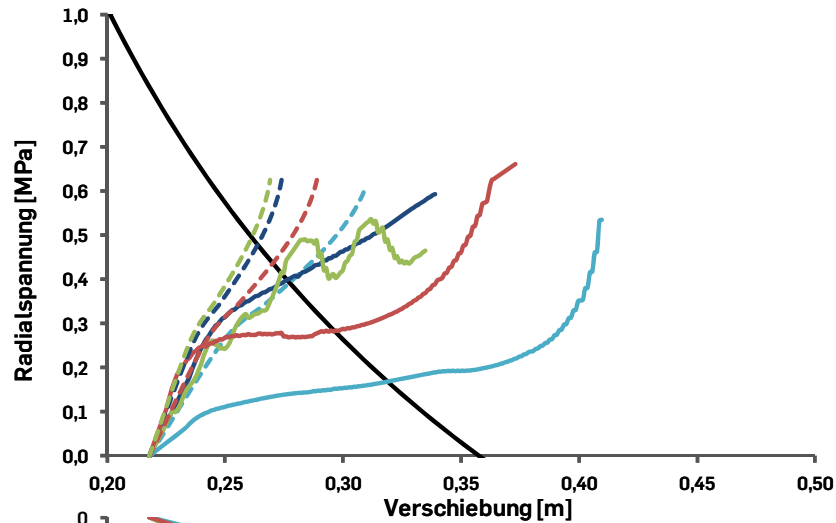
Neues Bemessungsverfahren

- Großteil der Verschiebungen wird durch Stauchelemente „absorbiert“
- relative Scherverschiebung zwischen Spritzbetonschale und Gebirge sowie Scherbeanspruchung der Anker
- Setzungen der Kalottenfüße



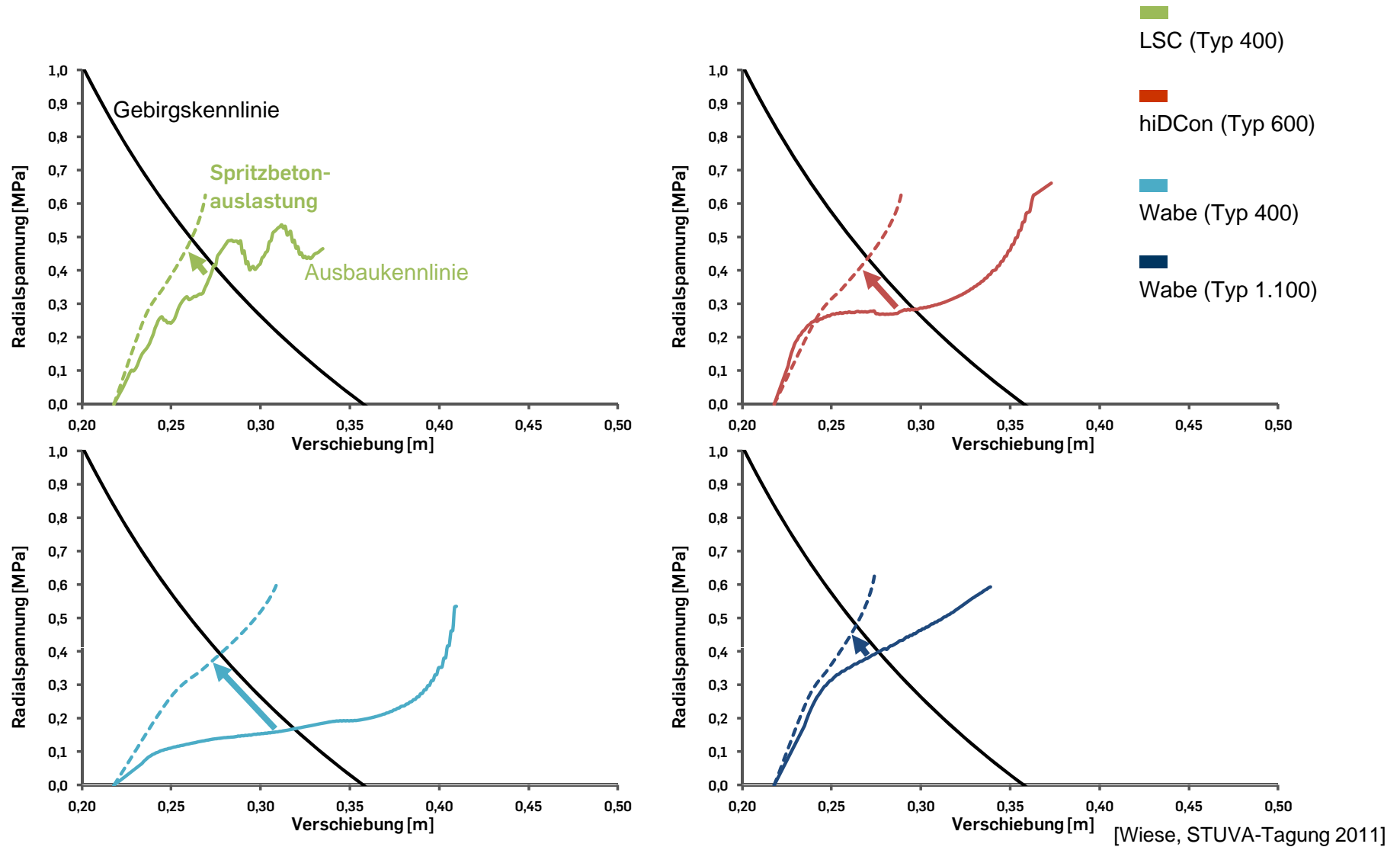
[nach Radonicic, Schubert, 2011]

Kennlinienverfahren

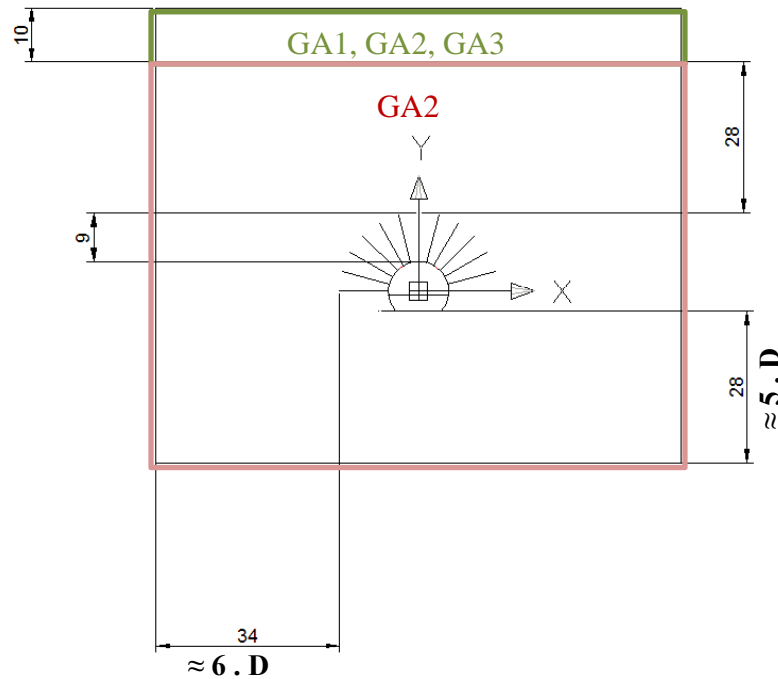


[Wiese, STUVA-Tagung 2011]

Kennlinienverfahren

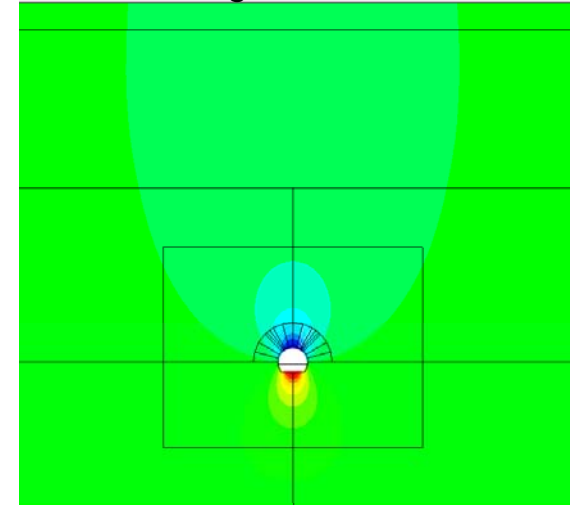


Numerische Berechnungen

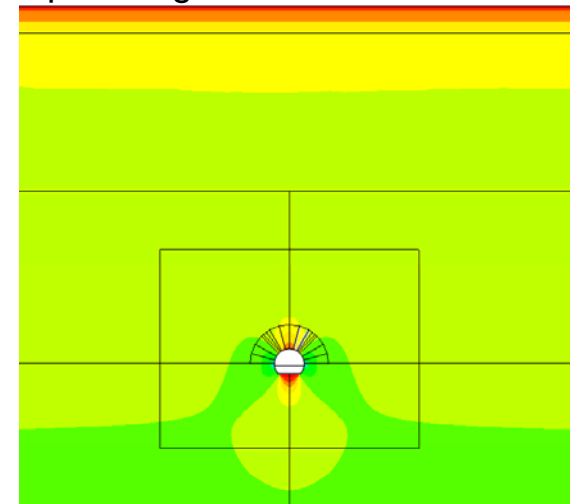


- FE-Modellierung mit DIANA
- Modell Tauerntunnel
- Versuchsdaten der Stauchelemente werden linearisiert berücksichtigt

Verschiebungen



Spannungen



- Motivation
- Vorgehen
- Versuche
- Berechnungen
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Ergebnisse

- aus den Versuchen...
 - Systemverhalten der Stauchelemente
 - Spritzbetonfestigkeitsentwicklung gegen Spritzrichtung
- aus den analytischen Berechnungen...
 - Vergleichbarkeit der Elementtypen über Einbindung des Systemverhaltens der Stauchelemente
- aus den numerischen Berechnungen...
 - Verschiebungsentwicklungen
 - Einfluss tektonischer Störungen



Ausblick

- zu den Versuchen...
 - Spritzbetonversuche mit Rezeptur Tauerntunnel zur Bestimmung des Materialverhaltens
- zu den analytischen Berechnungen...
 - Beurteilung zur bestmöglichen Beschreibung des Gebirges beim Kennlinienverfahren
 - Aufbereitung der Vor- und Nachteile beider Verfahren
- zu den numerischen Berechnungen...
 - Weiterentwicklung des Modells
 - Einbindung verschiedener Stoffgesetze
 - Implementierung der Versuchsergebnisse



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

