



# Forschungsarbeiten der ETH zur Felsmechanik des Opalinustons und Auswirkungen auf das Sachplanverfahren in der Schweiz

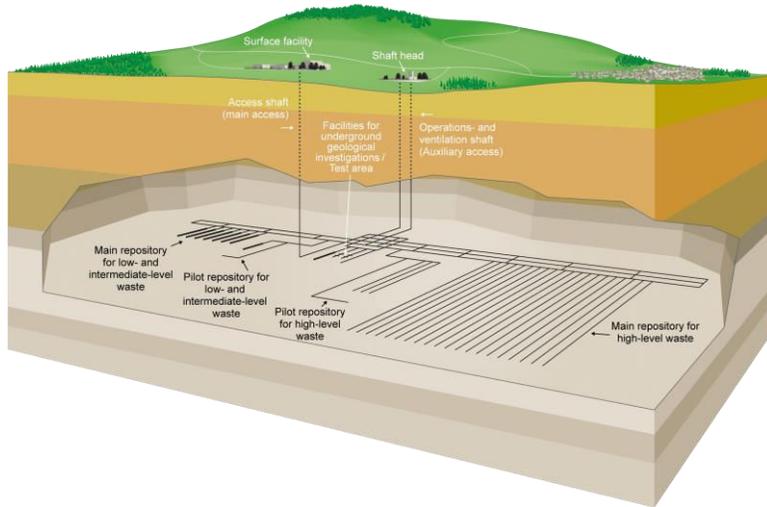
Simon Löw, Prof. em. für Ingenieurgeologie der ETH Zürich

# Inhalt

- Einleitung und Überblick der Forschungsprojekte
- Ein paar wissenschaftliche High-Lights
- Bedeutung für das Sachplanverfahren

# Schlüsselfragen zur bautechnischen Eignung des Opalinustons

## Strukturkontrollierte Verbrüche



Druckhaftes Gebirge

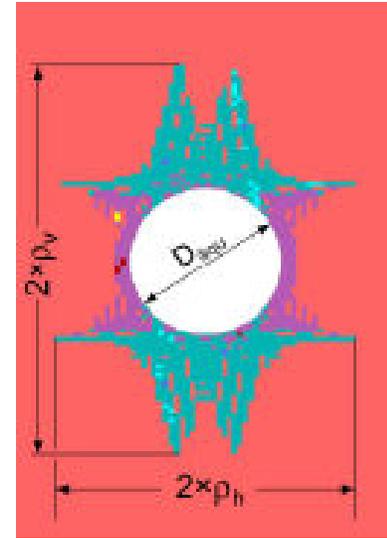
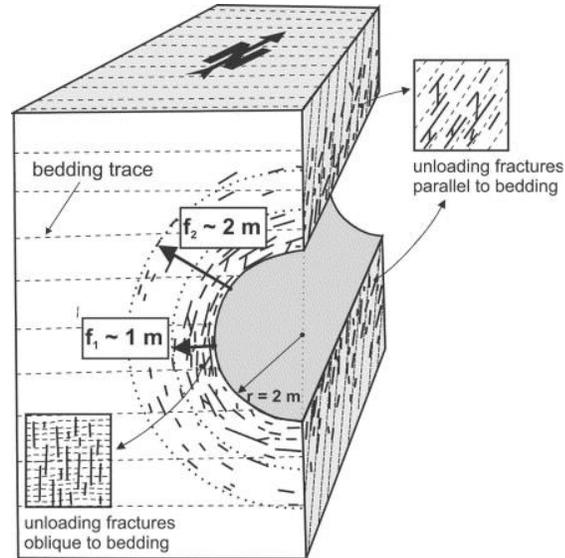
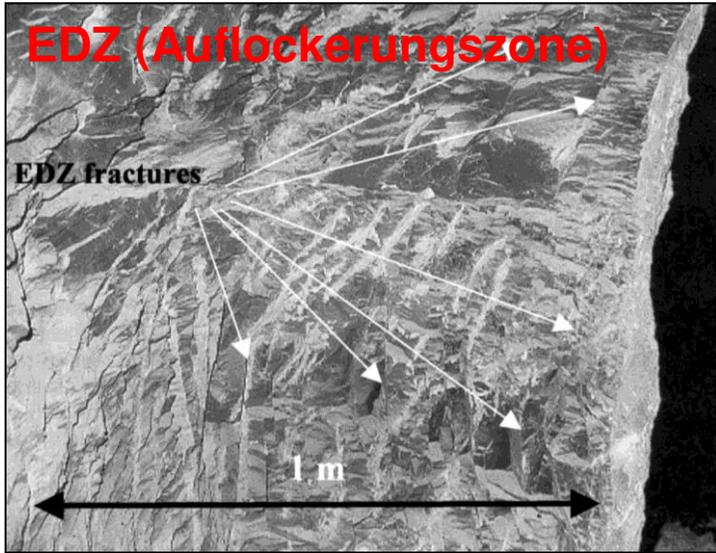


Quellendes Gebirge (Solhebung)

### Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit

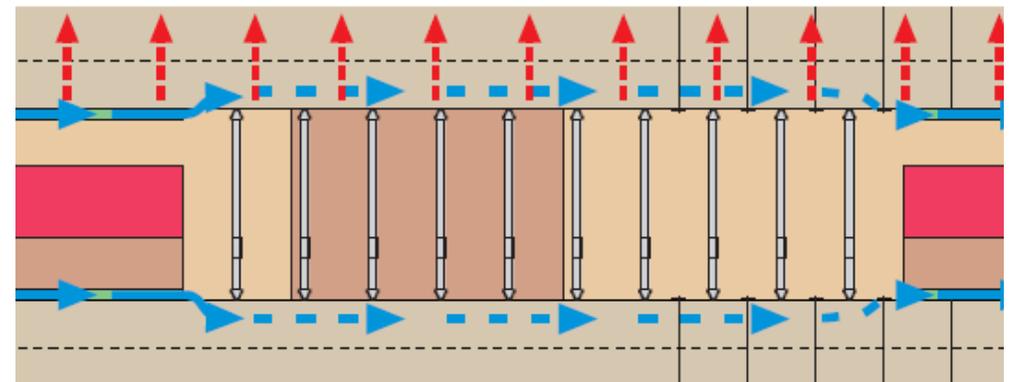
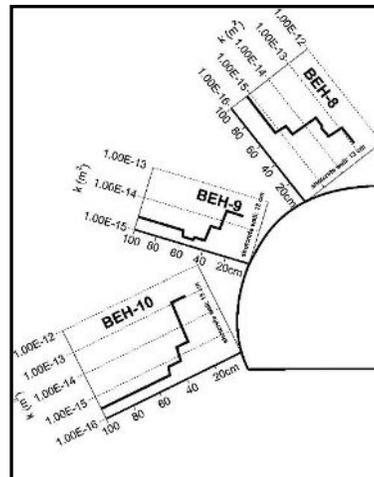
Kriteriengruppe	Kriterien
1. Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2. Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3. Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4. Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschließung und Wasserhaltung

# Schlüsselfragen zu Lagerbedingten Einflüssen auf die Langzeitstabilität



Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit

Kriteriengruppe	Kriterien
1. Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2. Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3. Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4. Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung



# Wichtigste felsmechanische Forschungsprojekte der ETH

- 2003-2007 (Erarbeitung Konzeptteil SGT):
  - Vortriebs-induzierte Deformationen im «intakten» Opalinuston. EZ-B Experiment Mont Terri. PhD Salina Yong (S. Löw)
- 2008-2013 (SGT Etappe 1):
  - Vortriebs-induzierte Deformationen und Kinematik in Störzonen vom Opalinuston. RC Experiment Mont Terri. PhD Reto Thöny (F. Amann)
- 2012-2016 (SGT Etappe 2):
  - Hydro-mechanische gekoppelte Deformationsprozesse im Opalinuston. Laborversuche ETH und Politecnico di Torino. PhD Katrin Wild (F. Amann)
- 2017-2021 (SGT Etappe 3):
  - Prozesse der Selbstabdichtung der EDZ im Opalinuston. SE-P Experiment Mont Terri. PhD Molly Williams (M. Ziegler)
- 2019-2024 (SGT Etappe 3):
  - Progressive Gebirgschädigung im Opalinuston unter veränderlichen Sättigungsbedingungen. PF-Experiment Mont Terri. (M. Ziegler)
- 2017-2022 (SGT Etappe 3):
  - TBM Vortrieb, Ortsbruststabilität und in-situ Quellen im Sanierungstunnel Belchen. (M. Ziegler)

# EZ-B Mine-By Experiment Mont Terri: 3 Experiment Phasen



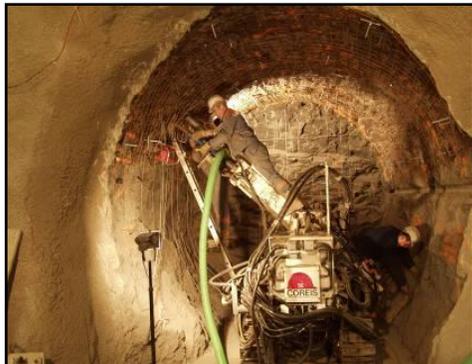
## Pre-excavation Stage (10dec2004-02mar2005):

- ⊕ Characterise local geology, hydrogeology & fractures
- ⊕ Drill longitudinal observation boreholes
- ⊕ Set benchmark measurements



## Syn-excavation Stage (03-21mar2005):

- ⊕ Excavate the EZ-B tunnel in stages
- ⊕ Monitor rock mass response



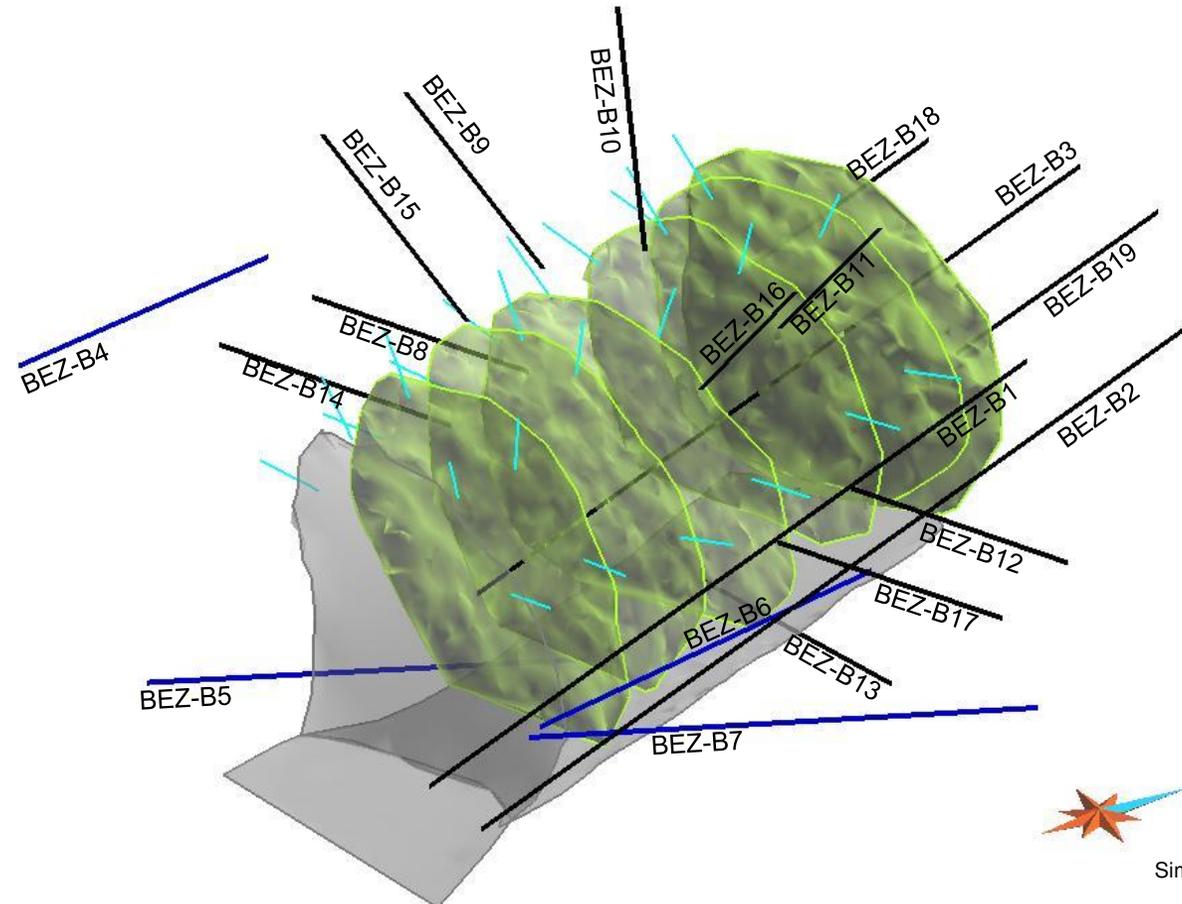
## Post-excavation Stage (22mar2005-11oct2006):

- ⊕ Drill radial observation boreholes
- ⊕ Define the EDZ/EdZ surrounding niche
- ⊕ Model mechanics of EDZ formation

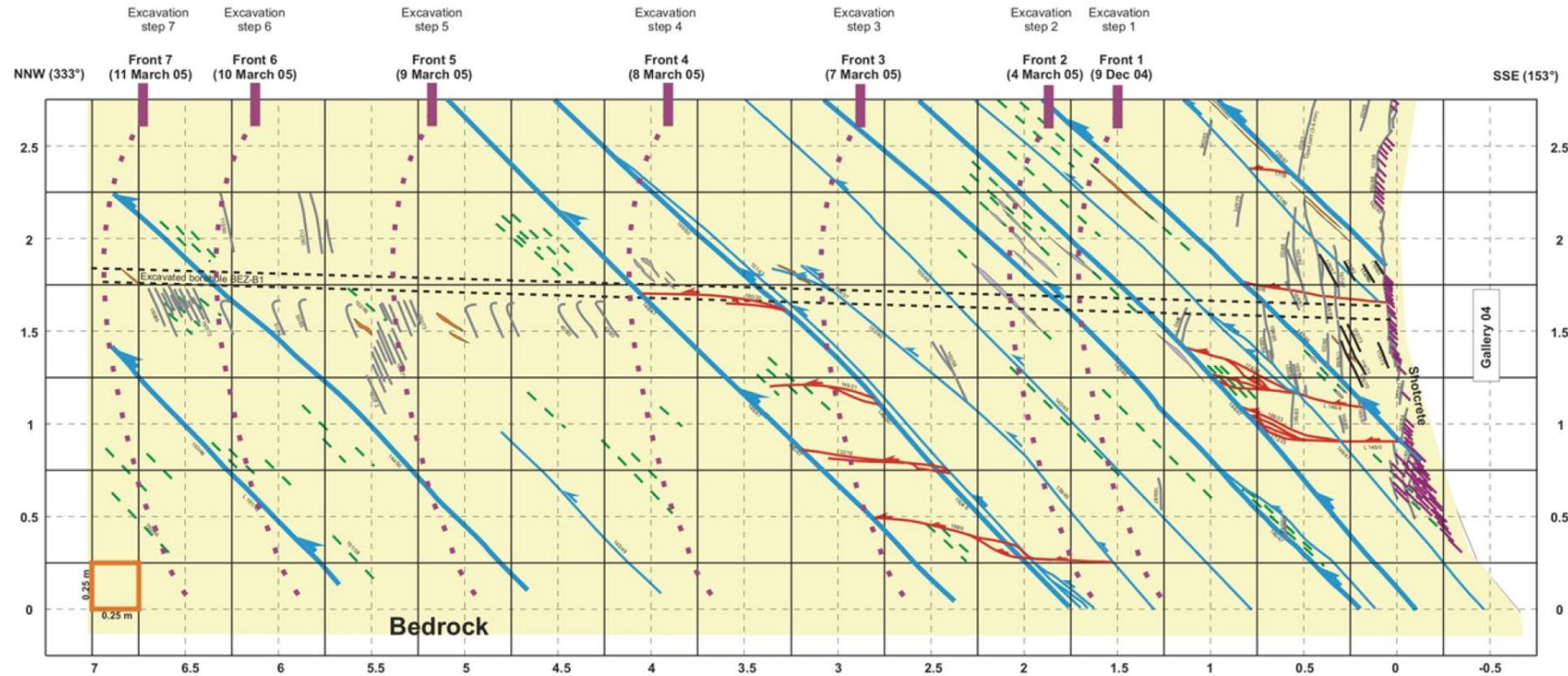
# Progressiver Stollen-Ausbruch und Monitoringbohrungen

(Yong et al. 2013)

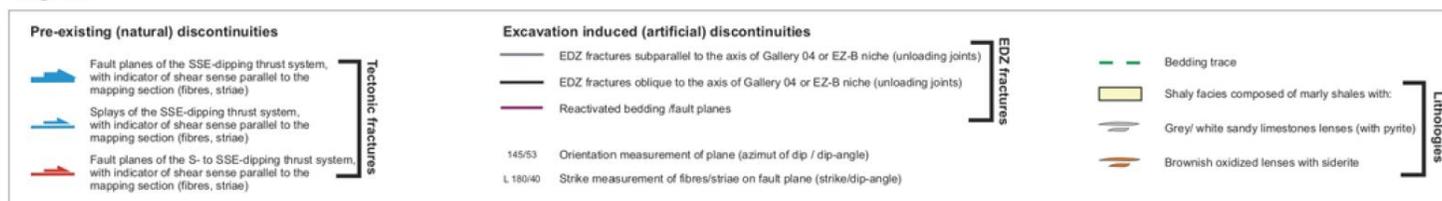
	M	T	W	T	F	S	S
DEC 2004			1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26
JAN 2005	27	28	29	30	31	1	2
	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23
FEB 2005	24	25	26	27	28	29	30
	31	1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20
MAR 2005	21	22	23	24	25	26	27
	28	1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31			



# Detailkartierung der tektonischen in induzierten Bruchstrukturen



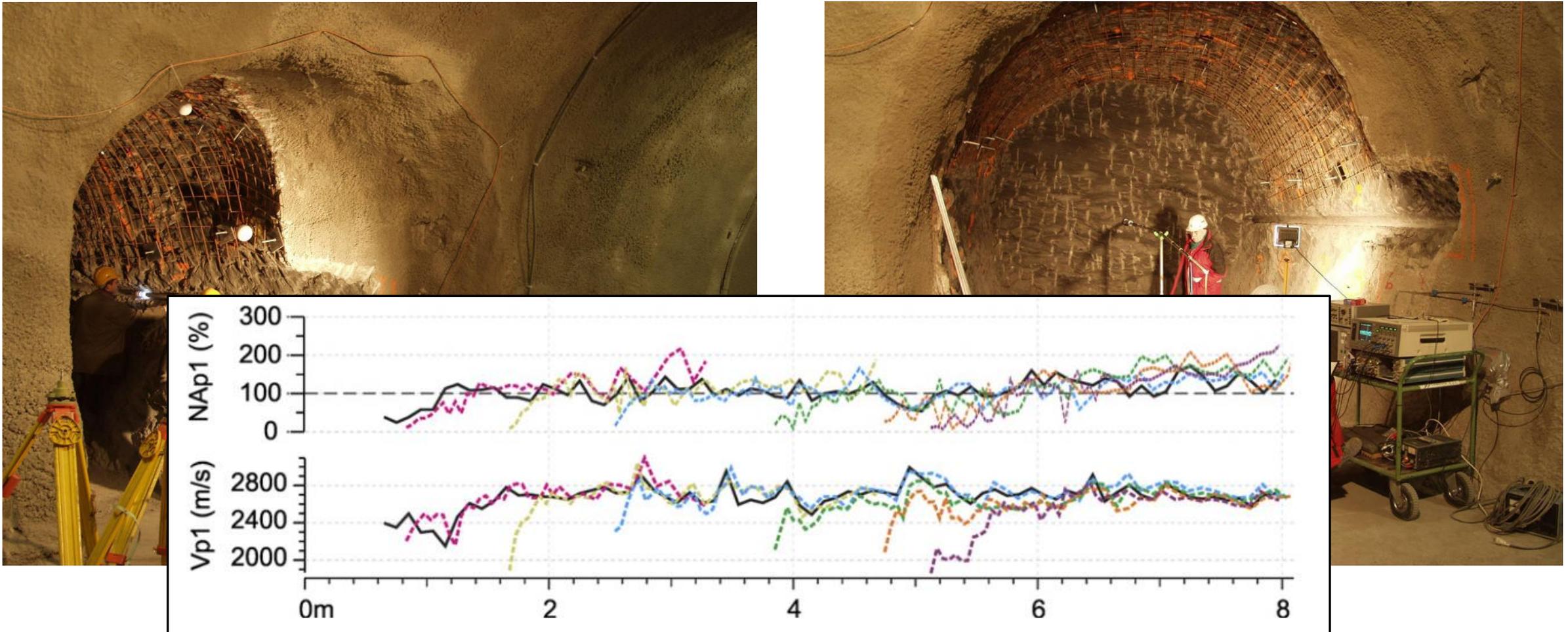
## Legend



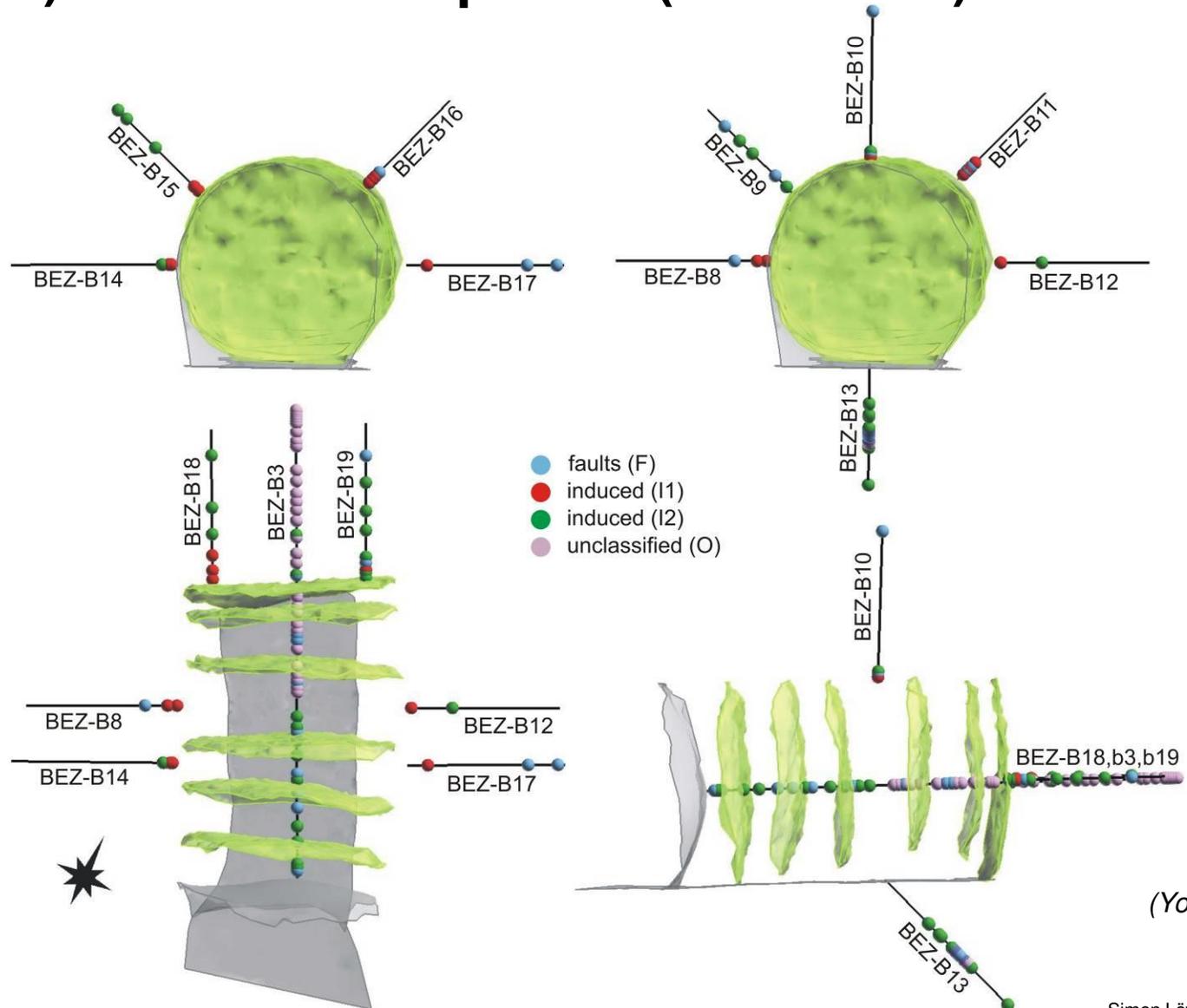
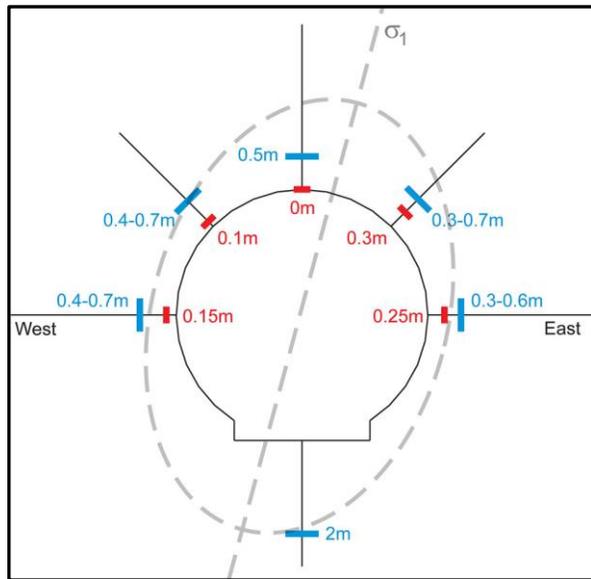
(Yong et al. 2017)

# Optische und seismische Messungen in Beobachtungsbohrungen (vor, während und nach dem Vortrieb) durch ETH und BGR

(Yong 2013)

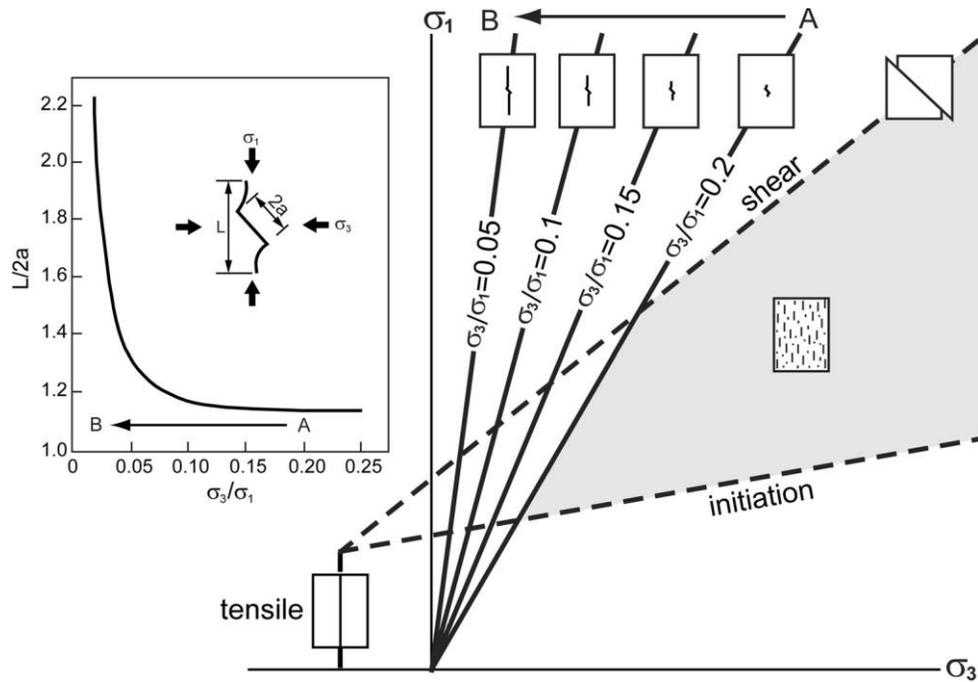


# Makroskopische (optisch) und mikroskopische (seismisch) Rissbildung

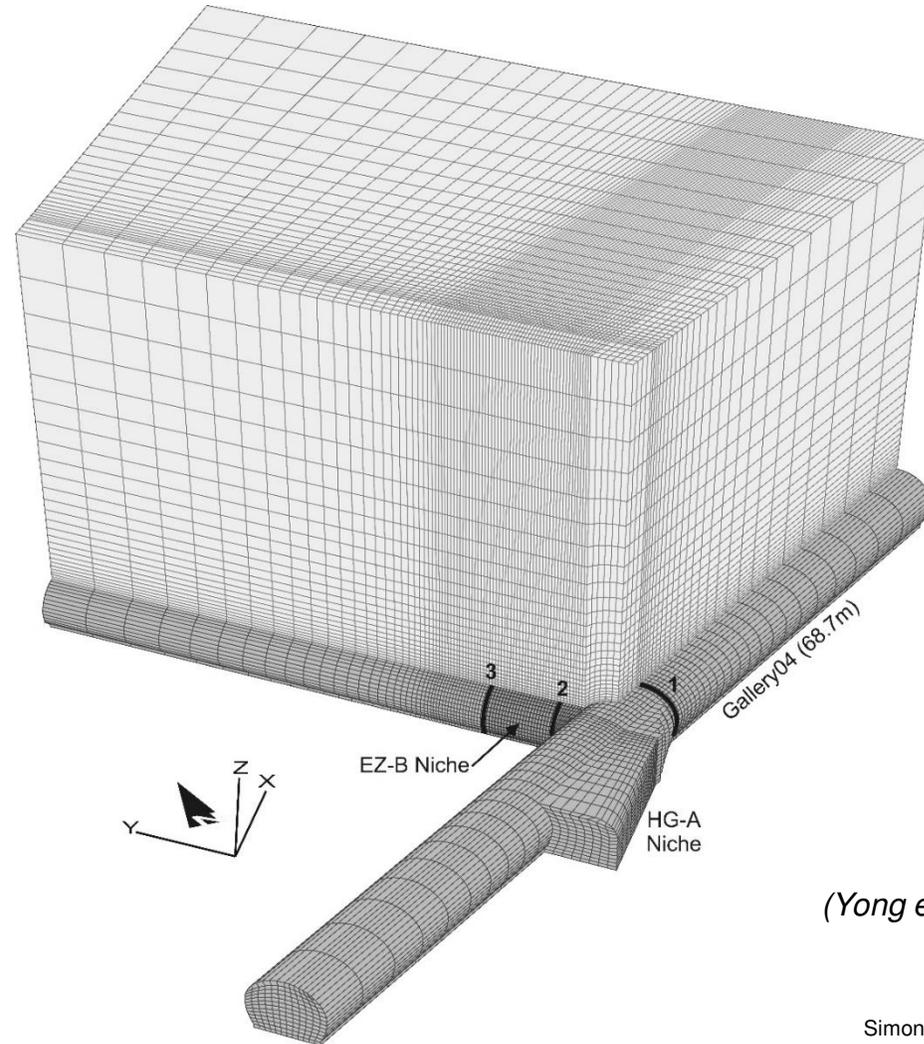


(Yong et al. 2017)

# 3D-Modellierung der elastischen Spannungen und Rissbildung durch einen progressiven Ausbruch der EZ-B Nische (3DEC, FLAC<sup>3D</sup>)

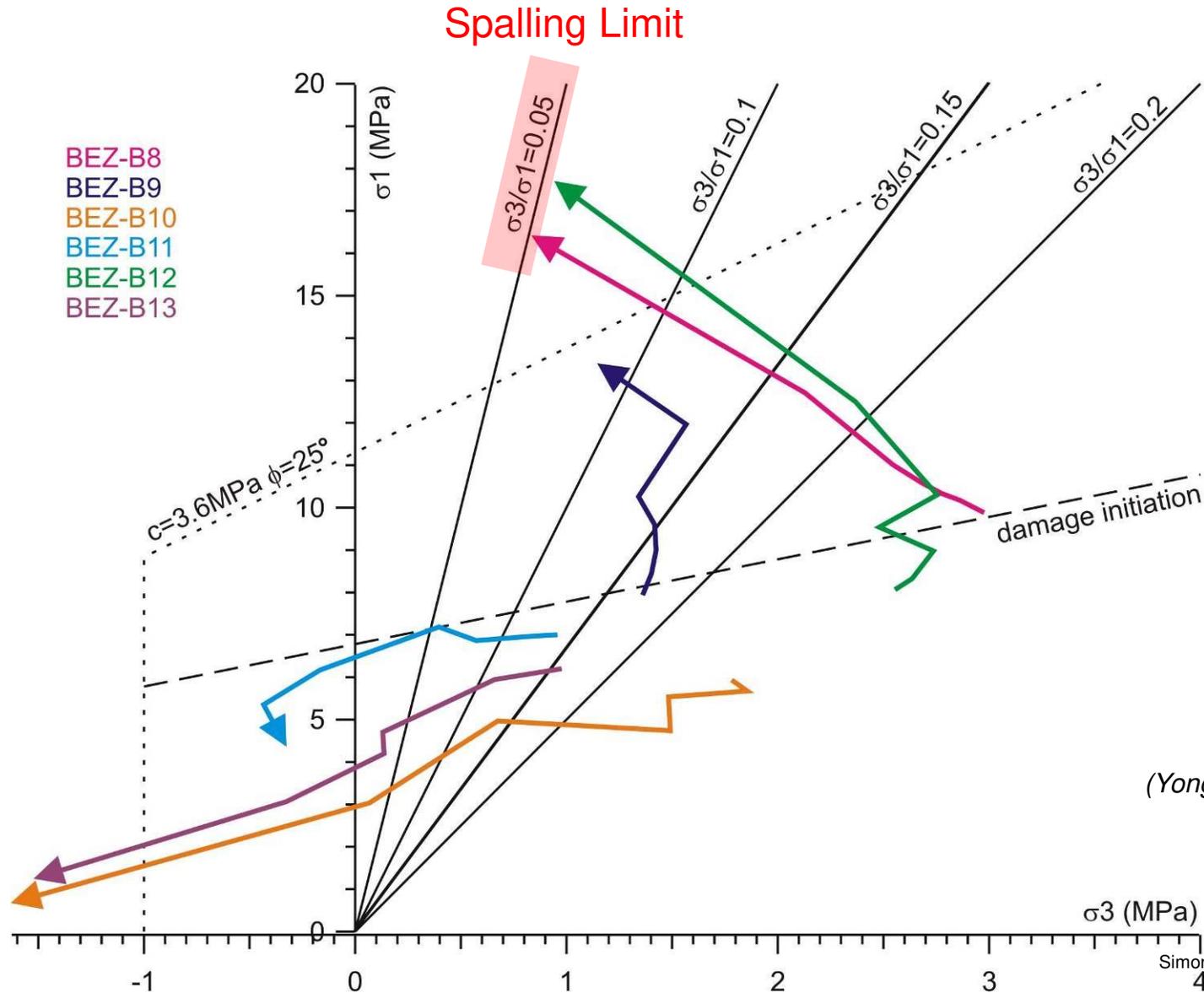
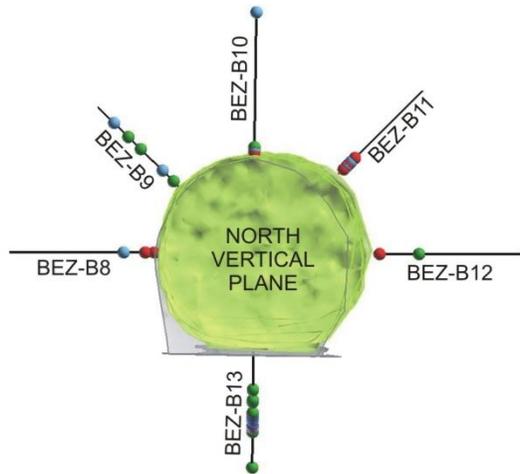
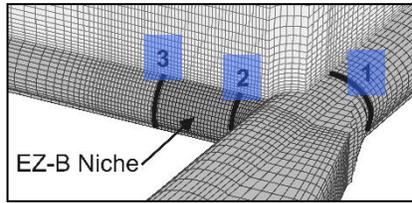


Kriterium für Rissbildung (Abschalungen)



(Yong et al. 2013, 2017)

# Modellierte Spannungen und Rissbildungen entlang radialer Bohrungen

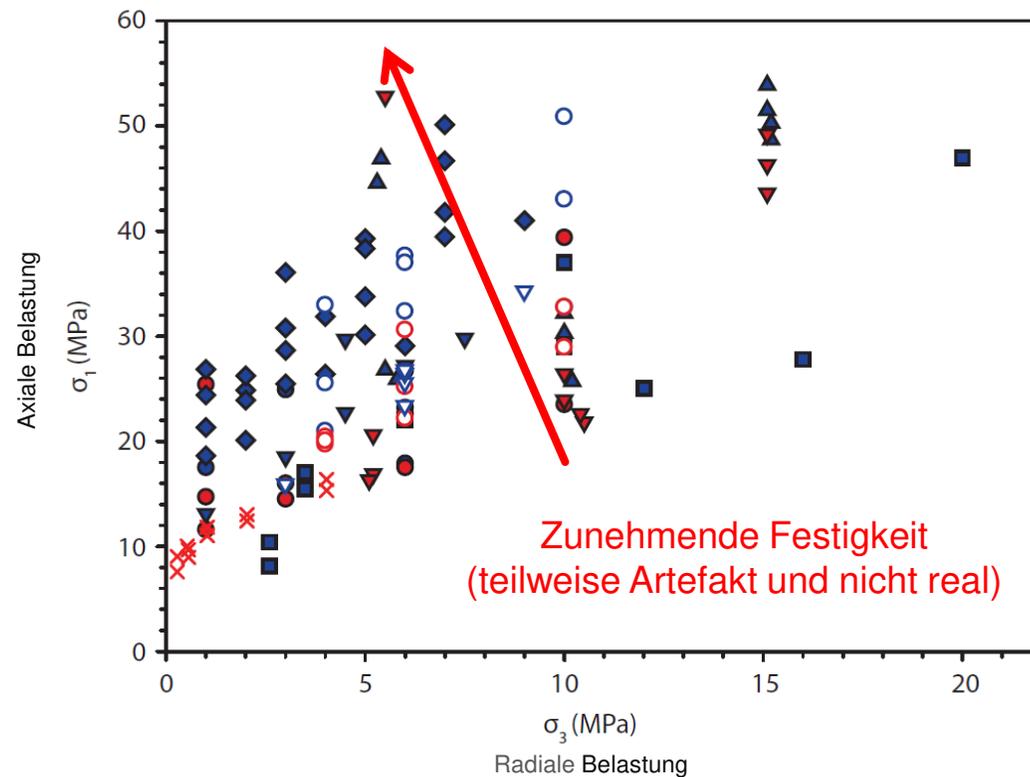
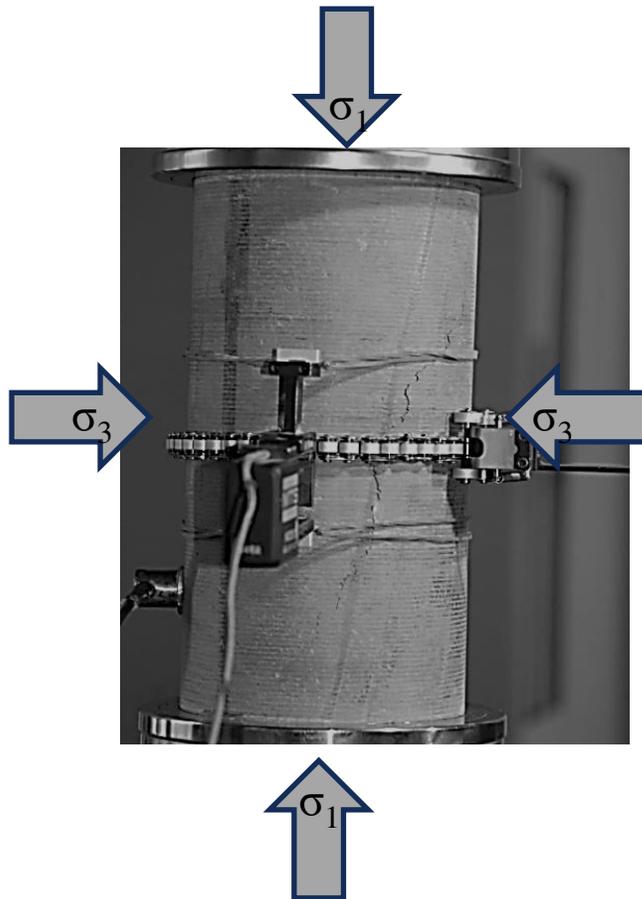


(Yong et al. 2013)

# Wichtigste felsmechanische Forschungsprojekte der ETH

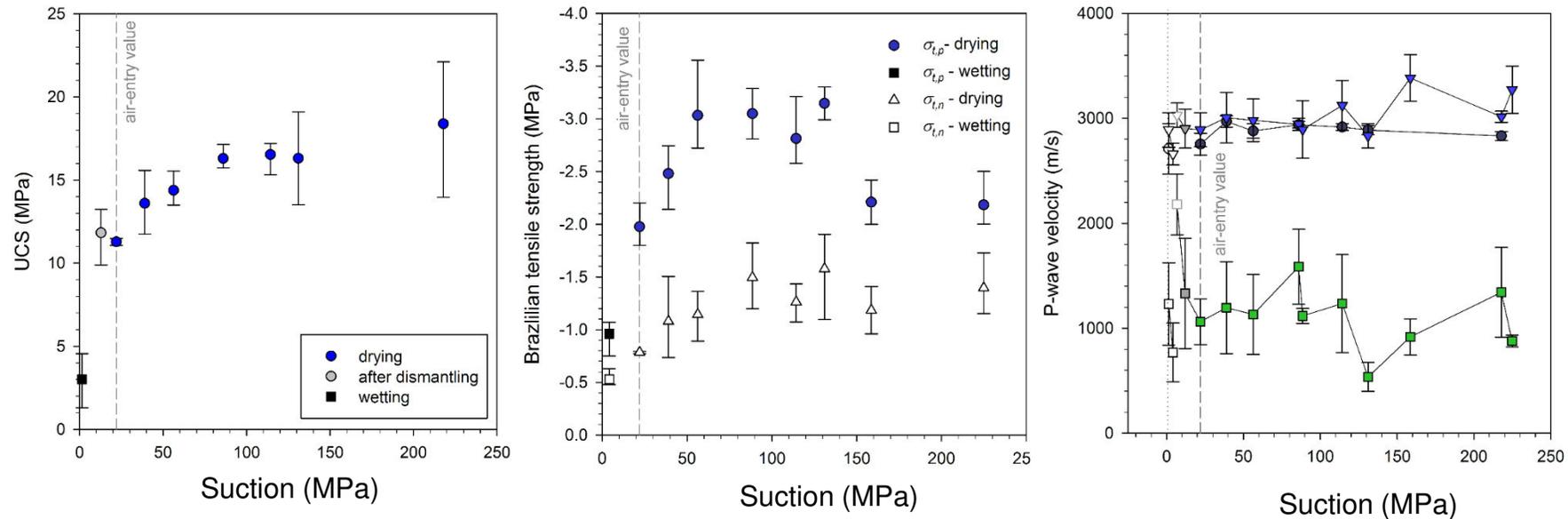
- 2003-2007 (Erarbeitung Konzeptteil SGT):
  - Vortriebs-induzierte Deformationen im «intakten» Opalinuston. EZ-B Experiment Mont Terri. PhD Salina Yong (S. Löw)
- 2008-2013 (SGT Etappe 1):
  - Vortriebs-induzierte Deformationen und Kinematik in Störzonen vom Opalinuston. RC Experiment Mont Terri. PhD Reto Thöny (F. Amann)
- 2012-2016 (SGT Etappe 2):
  - Hydro-mechanische gekoppelte Deformationsprozesse im Opalinuston. Laborversuche ETH und Politecnico di Torino. PhD Katrin Wild (F. Amann)
- 2017-2021 (SGT Etappe 3):
  - Prozesse der Selbstabdichtung der EDZ im Opalinuston. SE-P Experiment Mont Terri. PhD Molly Williams (M. Ziegler)
- 2019-2024 (SGT Etappe 3):
  - Progressive Gebirgschädigung im Opalinuston unter veränderlichen Sättigungsbedingungen. PF-Experiment Mont Terri. (M. Ziegler)
- 2017-2022 (SGT Etappe 3):
  - TBM Vortrieb, Ortsbruststabilität und in-situ Quellen im Sanierungstunnel Belchen. (M. Ziegler)

# Felsmechanische Laborversuche an Bohrkernen des Opalinustons (Mont Terri) zeigen eine grosse scheinbare Streuung der Bruchfestigkeit.



(Wild 2016)

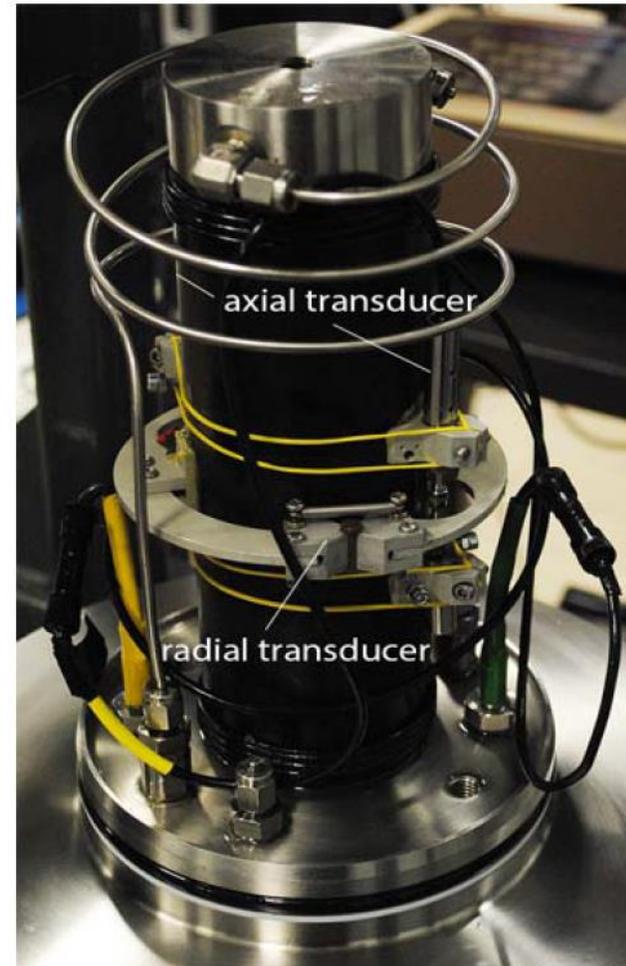
# Der Sättigungsgrad und die Saugspannung haben eine grosse Auswirkung auf die felsmechanischen Kennwerte



- Substantial influence of suction on strength and stiffness
- State dependent anisotropy
- Similarities with soils: “shrinkage limit” equals the “air-entry value”
- Strength loss due to cyclic RH variations obvious

Wild et al. (2015)

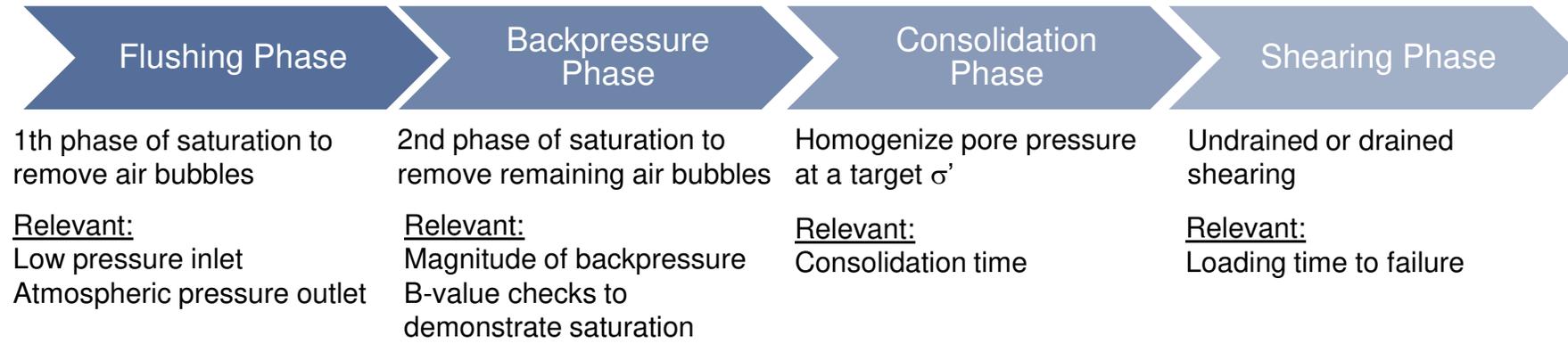
# Die Bestimmung zuverlässiger felsmechanischer Kennwerte des Opalinustons im Triaxialversuch ist sehr komplex und zeitaufwändig



(Wild et al. 2017)

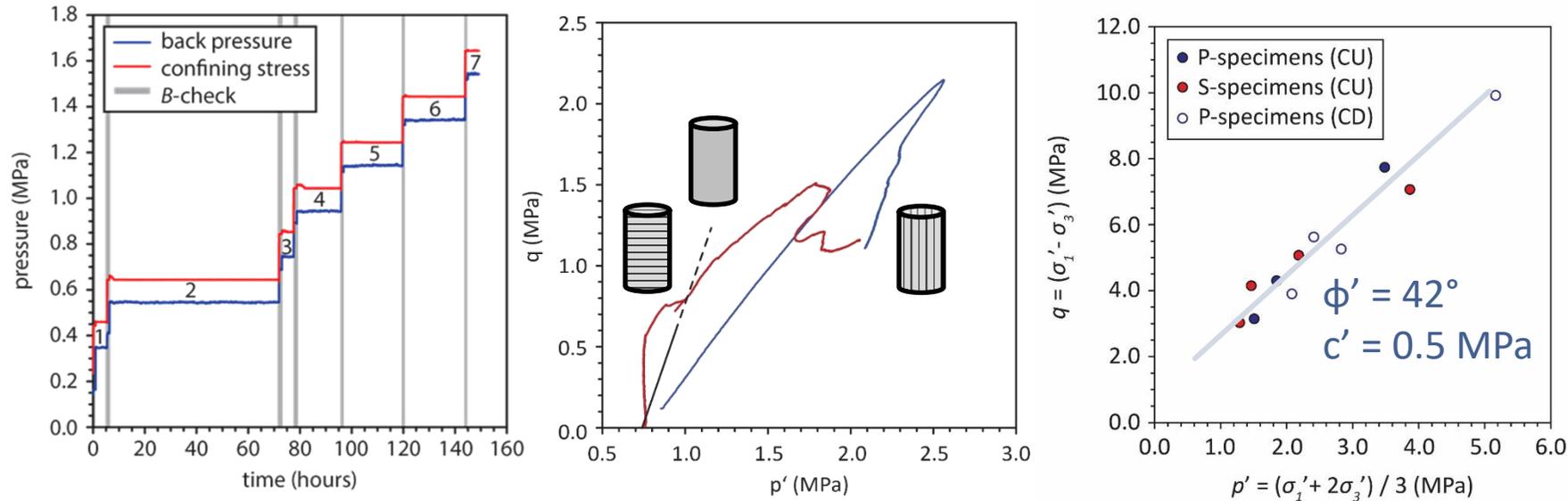
# Qualitätskriterien von Triaxialversuchen zur Bestimmung von $\phi'$ und $C'$

Wiederaufsättigung, Konsolidation und Scherung der Proben unter kontrollierten Bedingungen



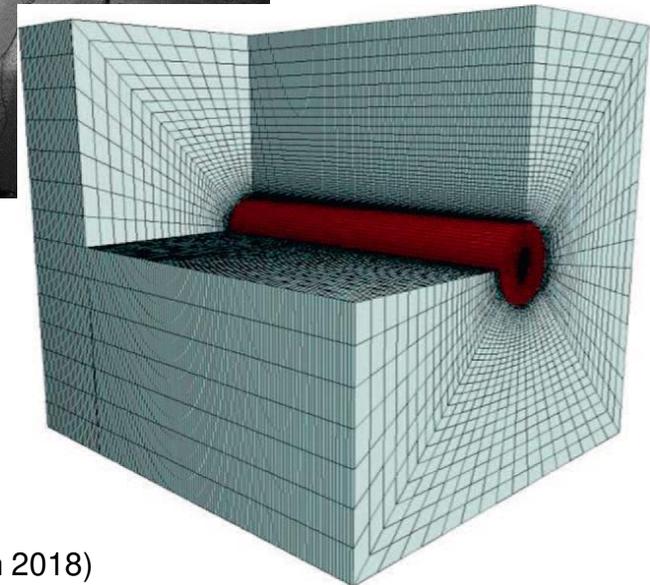
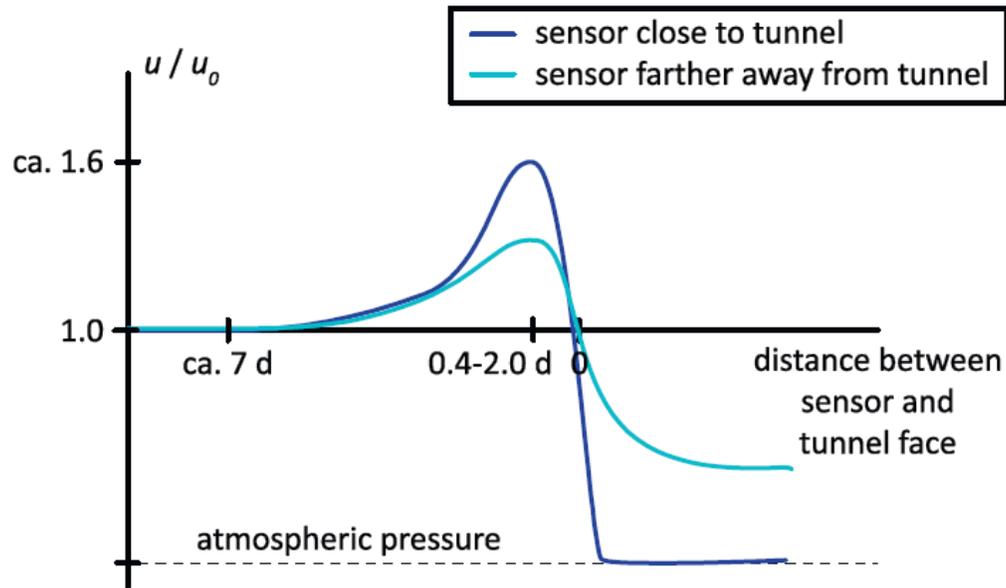
- Kriterien basieren auf einem Versuchsprotokoll nach Stand der Technik
- Proben werden in einem 3-stufigen Verfahren 1) gesättigt 2) vollständig konsolidiert und 3) langsam genug differentiell belastet
- Sechs Kriterien (3 datenbasierte, 3 theoretische):
  - Magnitude des Porenwassergegendrucks beim Sättigen und Skempton's B-Wert
  - Theoretisch erforderliche Zeit zur Konsolidierung und Wassergehalts-/Dehnungsänderungen
  - Theoretisch erforderliche Zeit zur Herbeiführung der Bruchs und Skempton's  $\bar{A}$ -Wert

# Resultate von drainierten und undrainierten Triaxialversuchen



- Skempton's pore pressure coefficient  $B$  strongly depends on effective confinement
- different poro-elastic behavior of P- and S-specimens during elastic shearing
- confinement suppresses dilatancy  $\rightarrow$  pore pressure at peak increases (compared to initial pore pressure) with increasing confinement
- no significant difference in effective strength between P- and S-specimens

# Auswirkungen der Porendrucke auf transiente Hohlraumverformungen



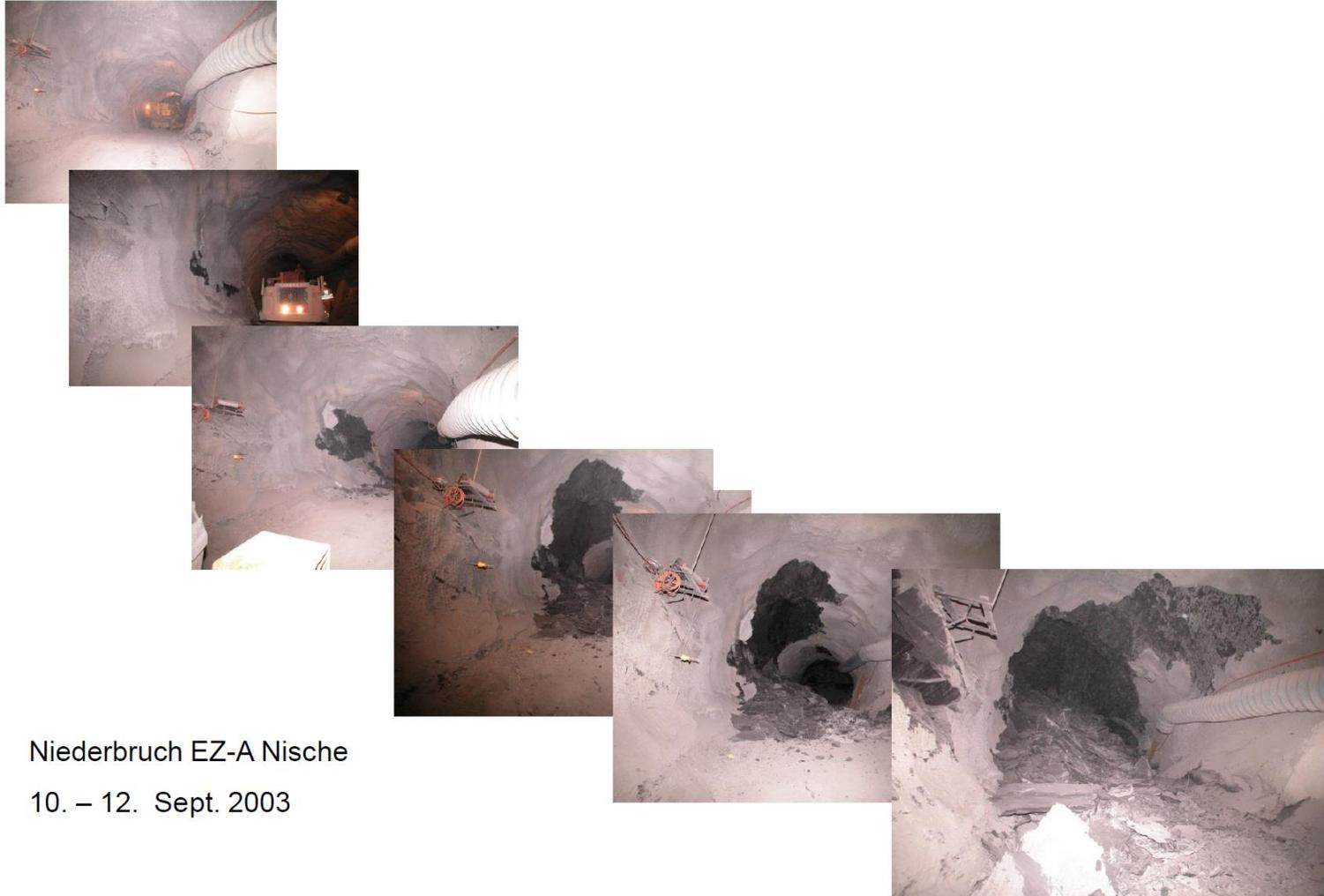
EDZ may evolve rapidly with time. Our research suggest that effective stress states that evolve during unloading add substantial strength, but excess pore pressure dissipation dominate both long term deformations and EDZ development.

(Wild & Amann 2018)

# Wichtigste felsmechanische Forschungsprojekte der ETH

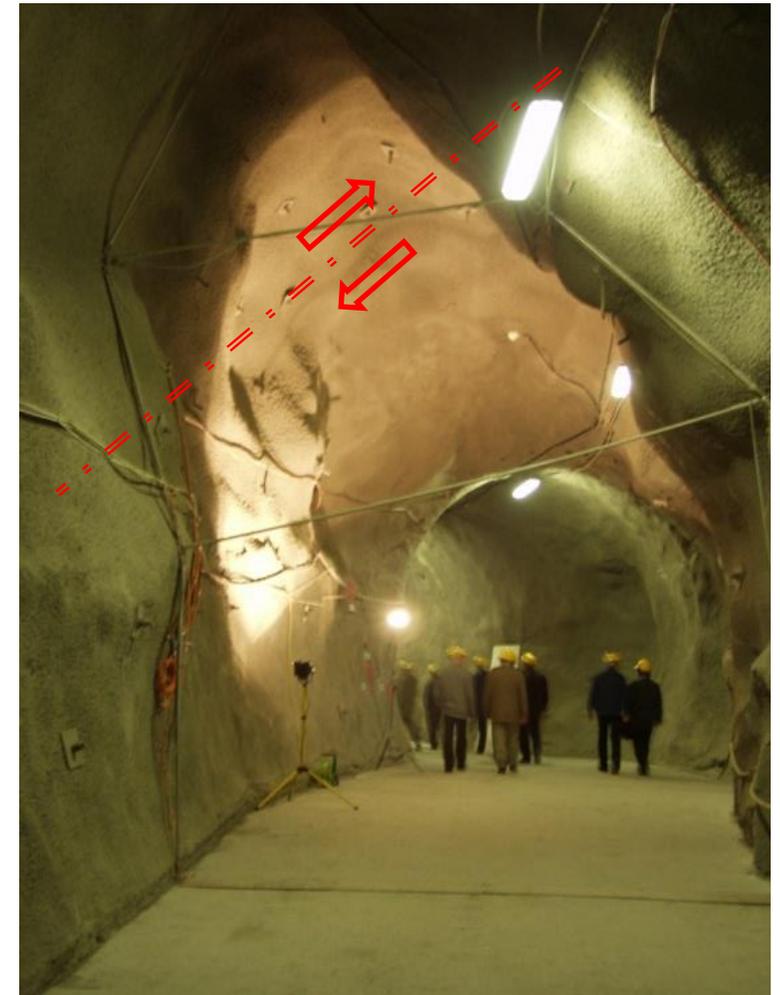
- 2003-2007 (Erarbeitung Konzeptteil SGT):
  - Vortriebs-induzierte Deformationen im «intakten» Opalinuston. EZ-B Experiment Mont Terri. PhD Salina Yong (S. Löw)
- 2008-2013 (SGT Etappe 1):
  - Vortriebs-induzierte Deformationen und Kinematik in Störzonen vom Opalinuston. RC Experiment Mont Terri. PhD Reto Thöny (F. Amann)
- 2012-2016 (SGT Etappe 2):
  - Hydro-mechanische gekoppelte Deformationsprozesse im Opalinuston. Laborversuche ETH und Politecnico di Torino. PhD Katrin Wild (F. Amann)
- 2017-2021 (SGT Etappe 3):
  - Prozesse der Selbst-Abdichtung der EDZ im Opalinuston. SE-P Experiment Mont Terri. PhD Molly Williams (M. Ziegler)
- 2019-2024 (SGT Etappe 3):
  - Progressive Gebirgschädigung im Opalinuston unter veränderlichen Sättigungsbedingungen. PF-Experiment Mont Terri. (M. Ziegler)
- 2017-2022 (SGT Etappe 3):
  - TBM Vortrieb, Ortsbruststabilität und in-situ Quellen im Sanierungstunnel Belchen. (M. Ziegler)

# Auswirkungen steiler Störzonen auf Struktur-kontrollierte Verbrüchen

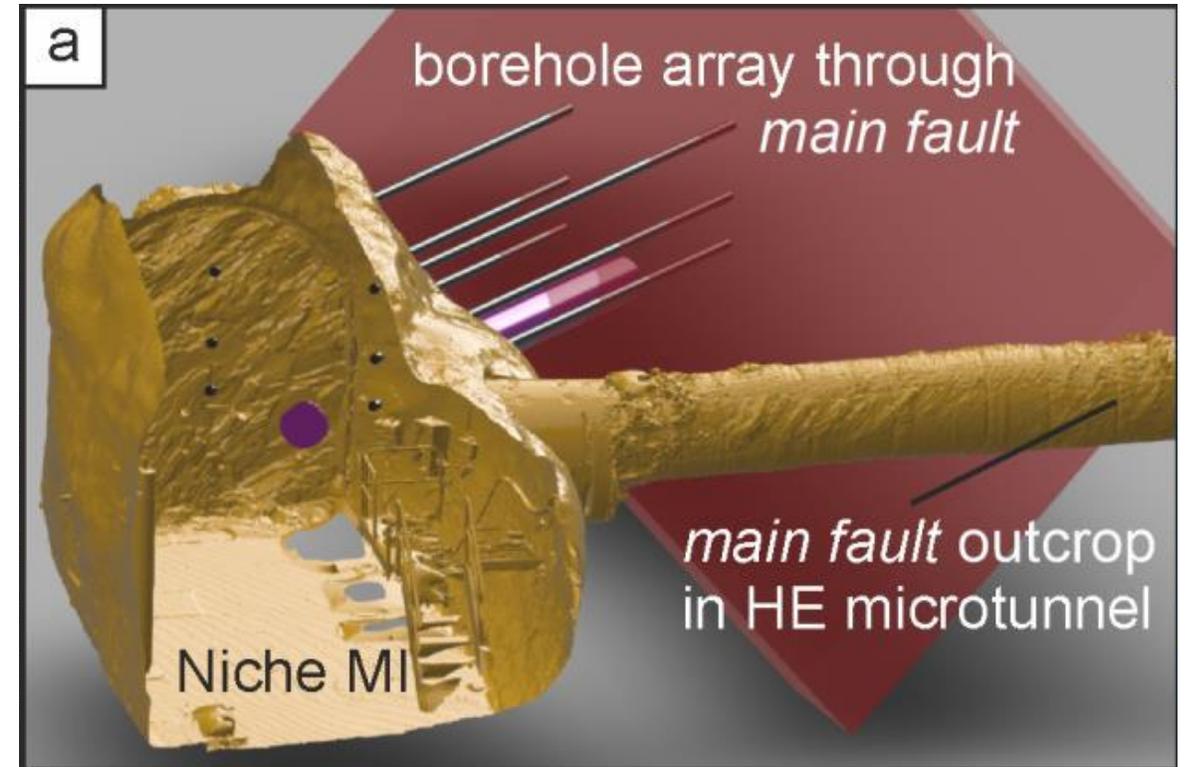
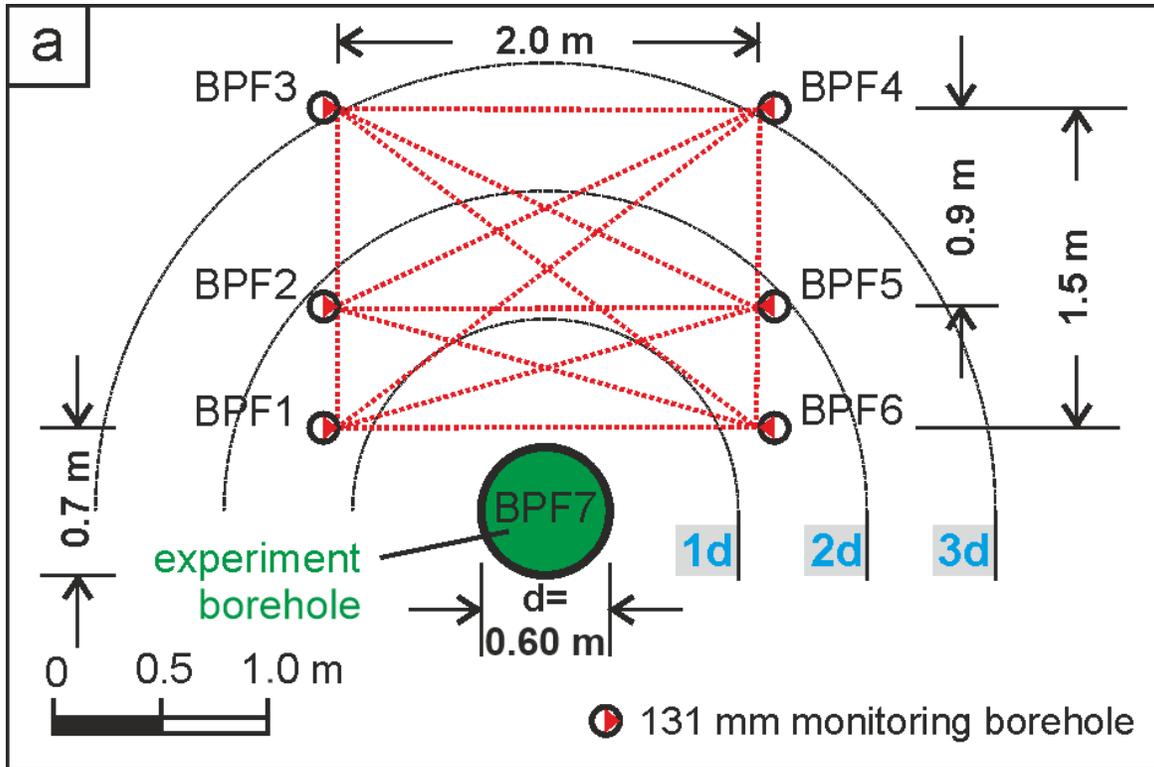


Niederbruch EZ-A Nische

10. – 12. Sept. 2003



# PF-Projekt: Geometrie der Grossbohrung und Beobachtungsbohrungen

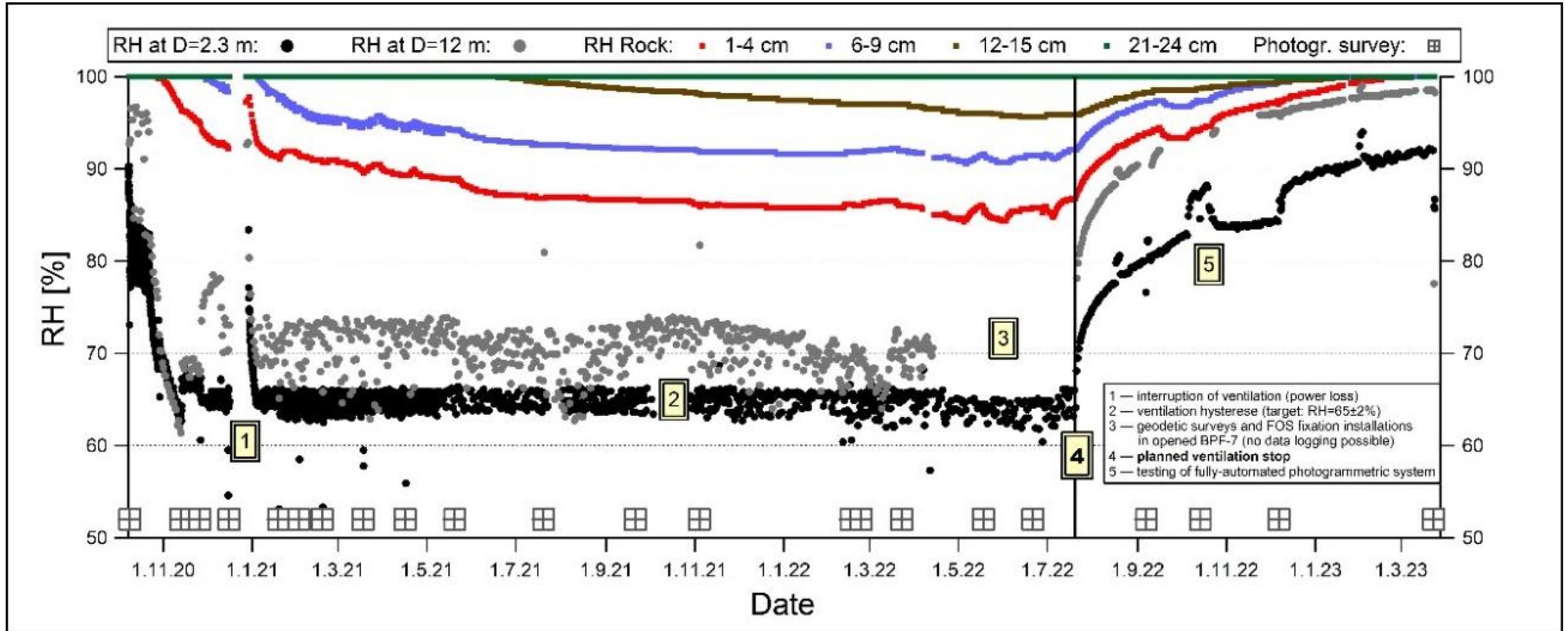


# Kontinuierliche photogrammetrische Vermessung der Ausbrüche

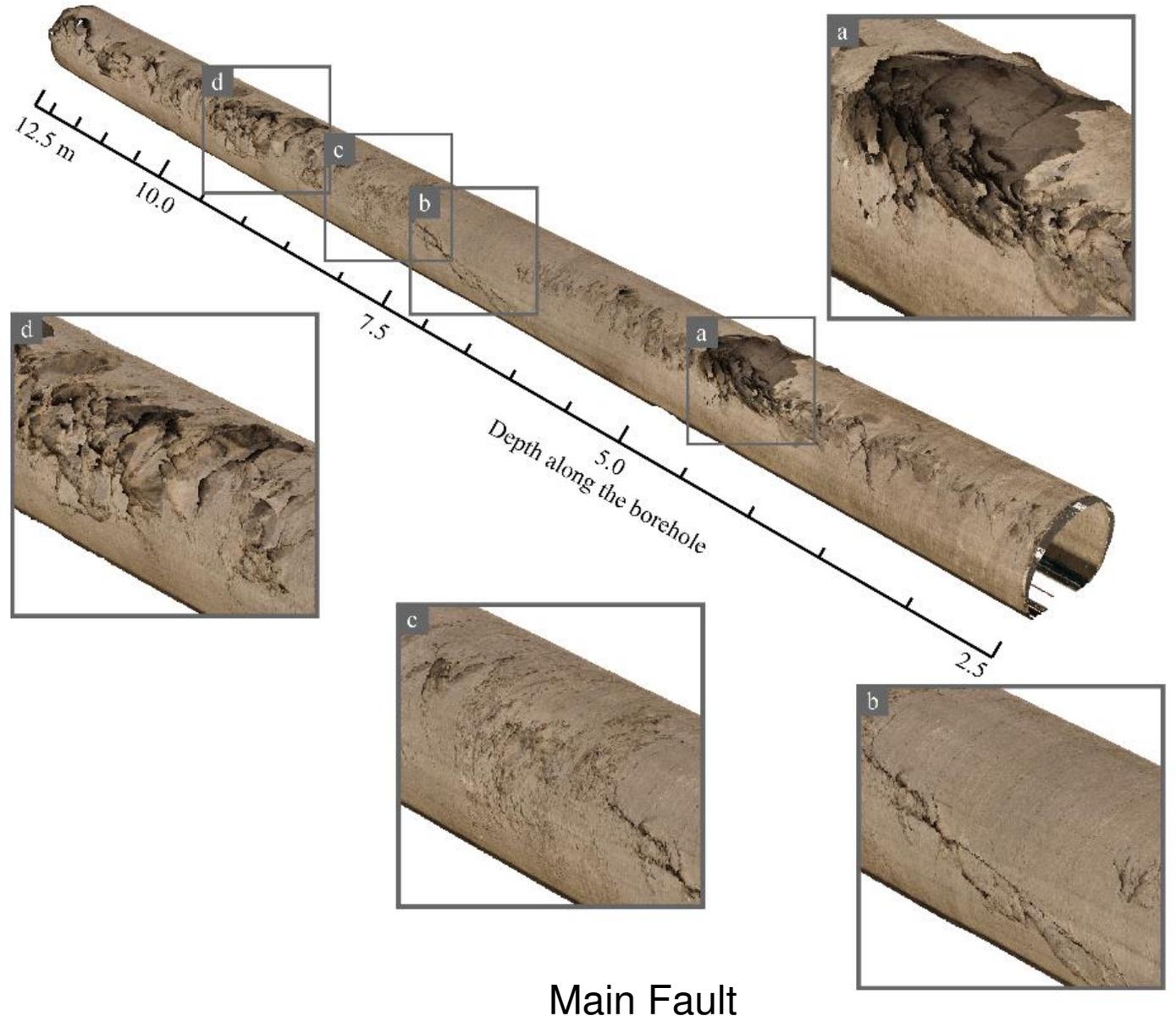
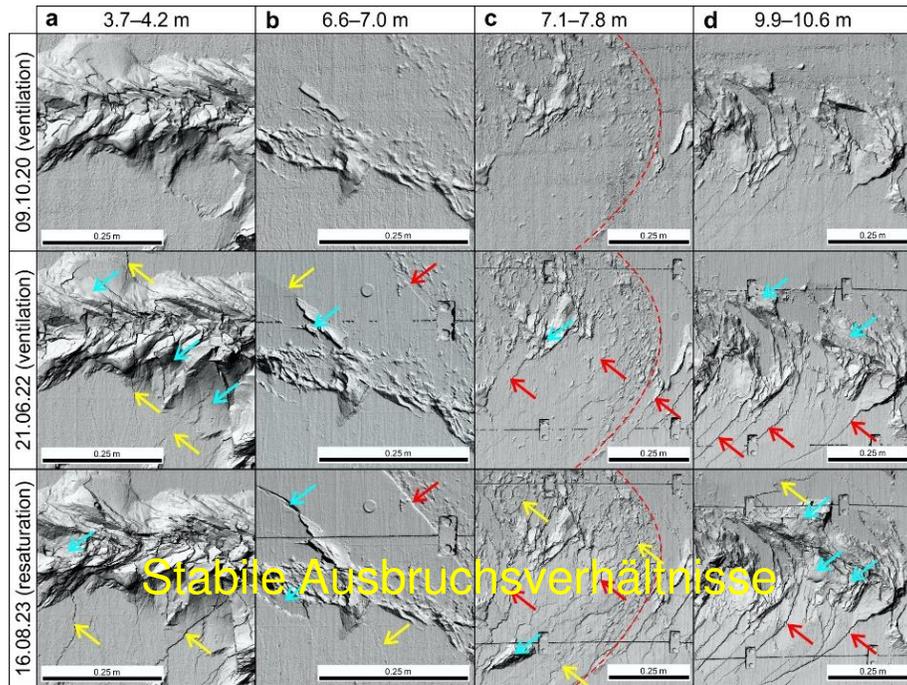


Semiautomatic recording of borehole breakouts with 0.2 mm resolution from 3-D photogrammetry

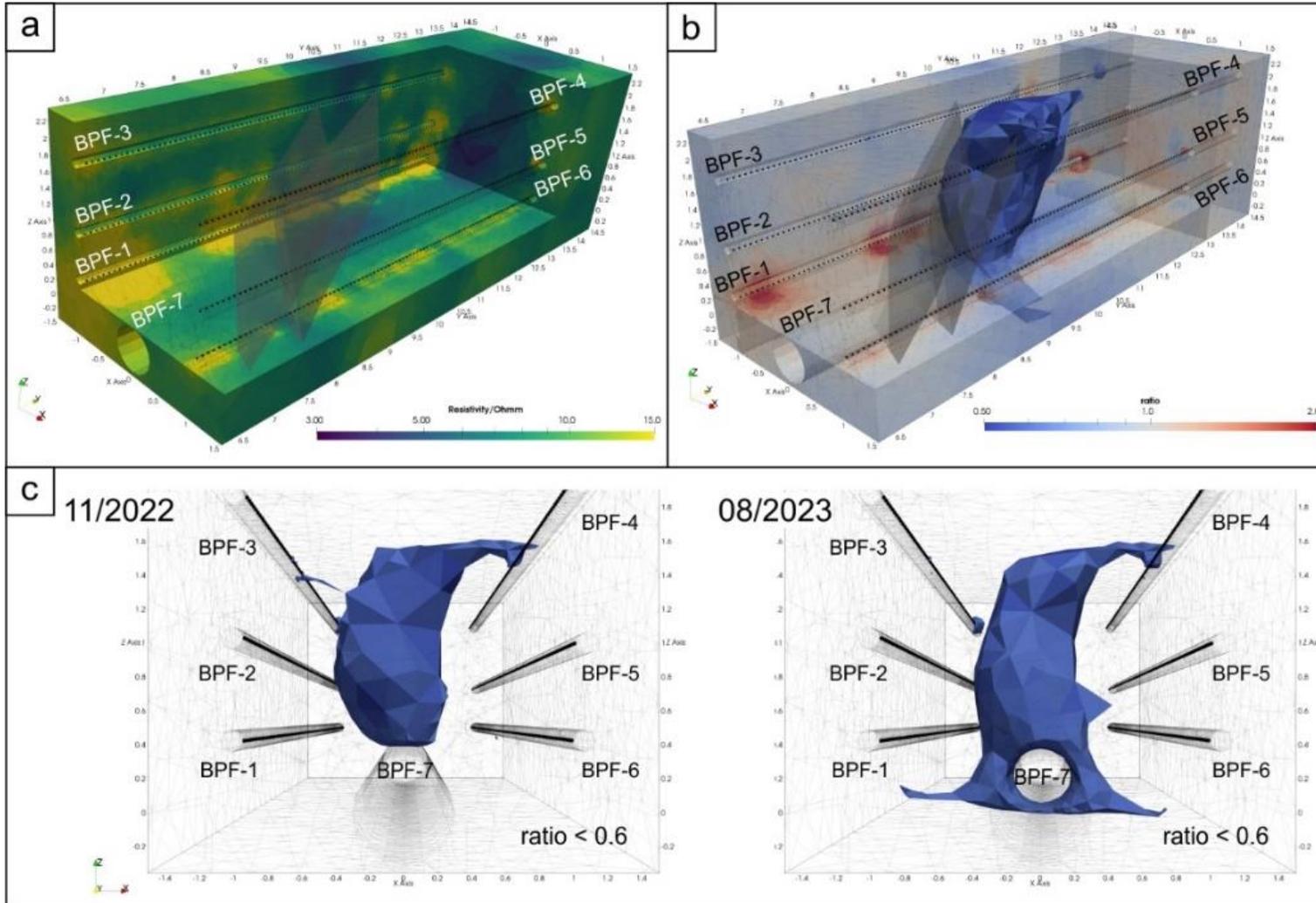
# Ventilation and Resaturation History



# Abgewickelte Bohrlochwand mit Entwicklung von Ausbrüchen (blau), Reaktivierung von Scherzonen (rot) und neuer Rissbildung (gelb) im Hangenden und Liegenden des Main Fault.



# Elektrische Tomographie deutet auf Fluidmigration im Liegenden des Main Fault über eine Distanz von 5.4 Tunnelradien (Aufsättigungsphase)



Relative change in electrical resistivity between August 2023, November 2022 and December 2020 (Reference). Volume elements with a ratio of lower than 0.6 are highlighted.

# Inhalt

- Einleitung und Überblick der Forschungsprojekte
- Ein paar wissenschaftliche High-Lights
- **Bedeutung für das Sachplanverfahren**

# Beurteilung Lagerausbau Stand 2009 (SGT Etappe 1)

## Frage 7

Tiefer gelegene Opalinuston die Stollen ab einer gewissen Tiefe müssten und Beton ungenügend aufweise.

- a) Ist die Notwendigkeit der Technik oder Stand der Einigkeit über diese Notwendigkeiten die baulichen Möglichkeiten die baulichen
- b) Es fällt auf, dass beim Spritzbeton verwendet wird die Notwendigkeit von Beton
- c) Sind das jetzt vorgesehenen Stollen bei Verschluss) sind Untergrund verbaut werden Eigenschaften unproblematisch

Kommission Nukleare Entsorgung KNE

## Ausbaukonzept gemäss NTB 08-04

Das Ausbaukonzept der Nagra für NTB 08-04 im intakten Gestein aus tektonisch stärker beanspruchten mit deutlich herabgesetzter Gesteinsfestigkeit. Zusatzmassnahmen, bestehend aus Spritzbetonlage aus niedrig-plastischem Sohlausbau, vorgesehen.



Kommission Nukleare Entsorgung KNE

## Untersuchungen der ETH zu den Ausbaukonzepten

Untersuchungen der ETH (Amann und Löw, 2008) führen zum Schluss, dass die vorgesehenen Tiefenlagen die maximale Tiefenlage aus bautechnischer Sicht darstellen. Verschärfte Anforderungen in der östlichen Zone (<800 m.u.T.) für den Opalinuston mit diesen Anforderungen realisierbar sind.

Gemäss diesen Untersuchungen werden vollflächige Stützmittel als Sicherungskonzepte (Spritzbeton, Stahlträger) wahrscheinlich selbst im intakten Material realisierbar. Klüften (TJ) bei grösseren Überlagerungen (300-400 m) zu vermeiden werden. Innerhalb tektonischer Einheiten, vor relevanten Abständen und Eigenschaften erdgebunden davon ausgegangen werden, dass bereits bei Überdeckungen Ausbaukonzepte mit grossen Überdeckungen notwendig werden.

Kommission Nukleare Entsorgung KNE

3. Sitzung

## Vollflächige Stützmittel

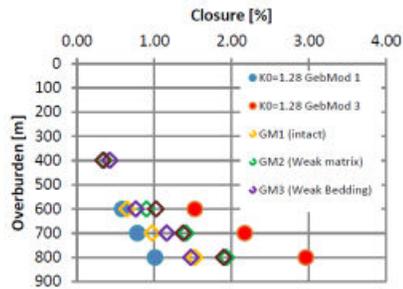


Kommission Nukleare Entsorgung KNE

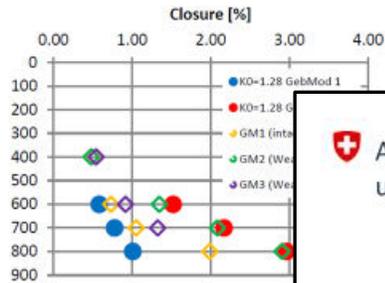
3. Sitzung Technisches Forum Sicherheit, 18. Dezember 2009

# Regionalkonferenz Jura Ost 18.8.2014 (SGT Etappe 2)

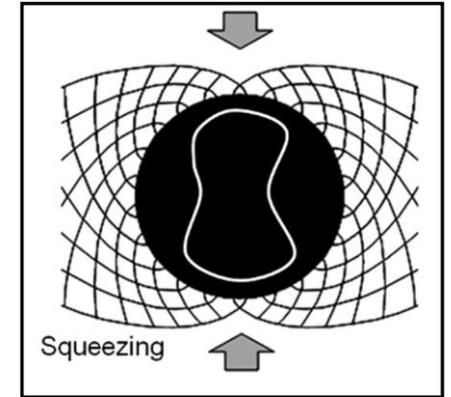
Gebirgskonvergenz (Deformation in der Auflockerungszone) als Funktion der Tiefenlage für HAA Stollen und SMA Kaverne (Nagra 2014 unpubl.)



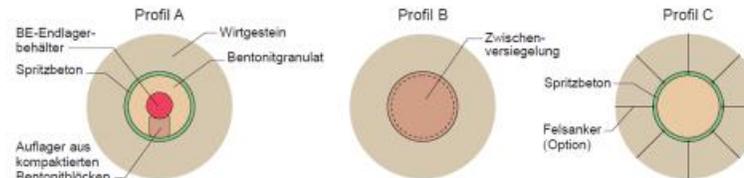
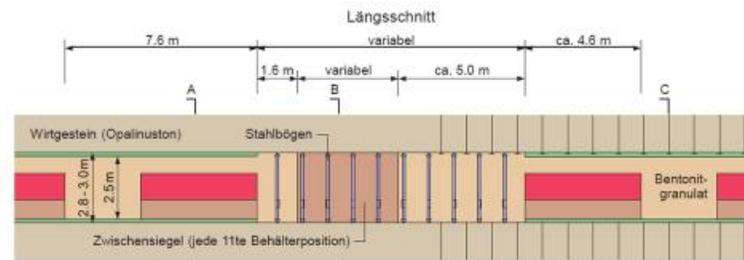
Bautechnische Risiken und Langzeitsicherheit Nordschweiz 18.8.2014



Simon Löw, ETH Zurich

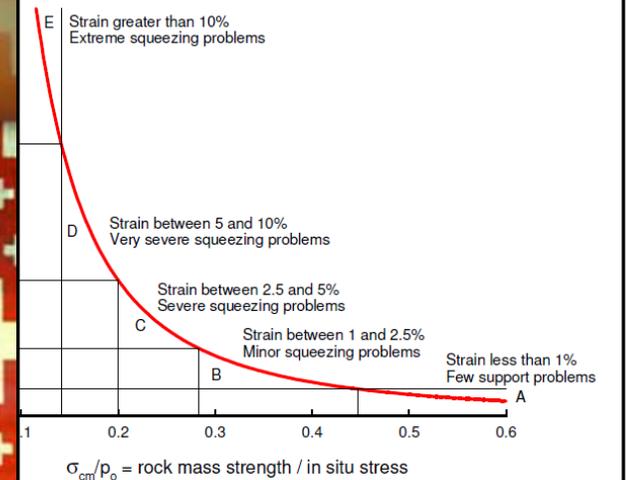


Ausbaukonzept HAA Lagerstollen zur Reduktion der Ausdehnung und Wasserzirkulation in der Auflockerungszone

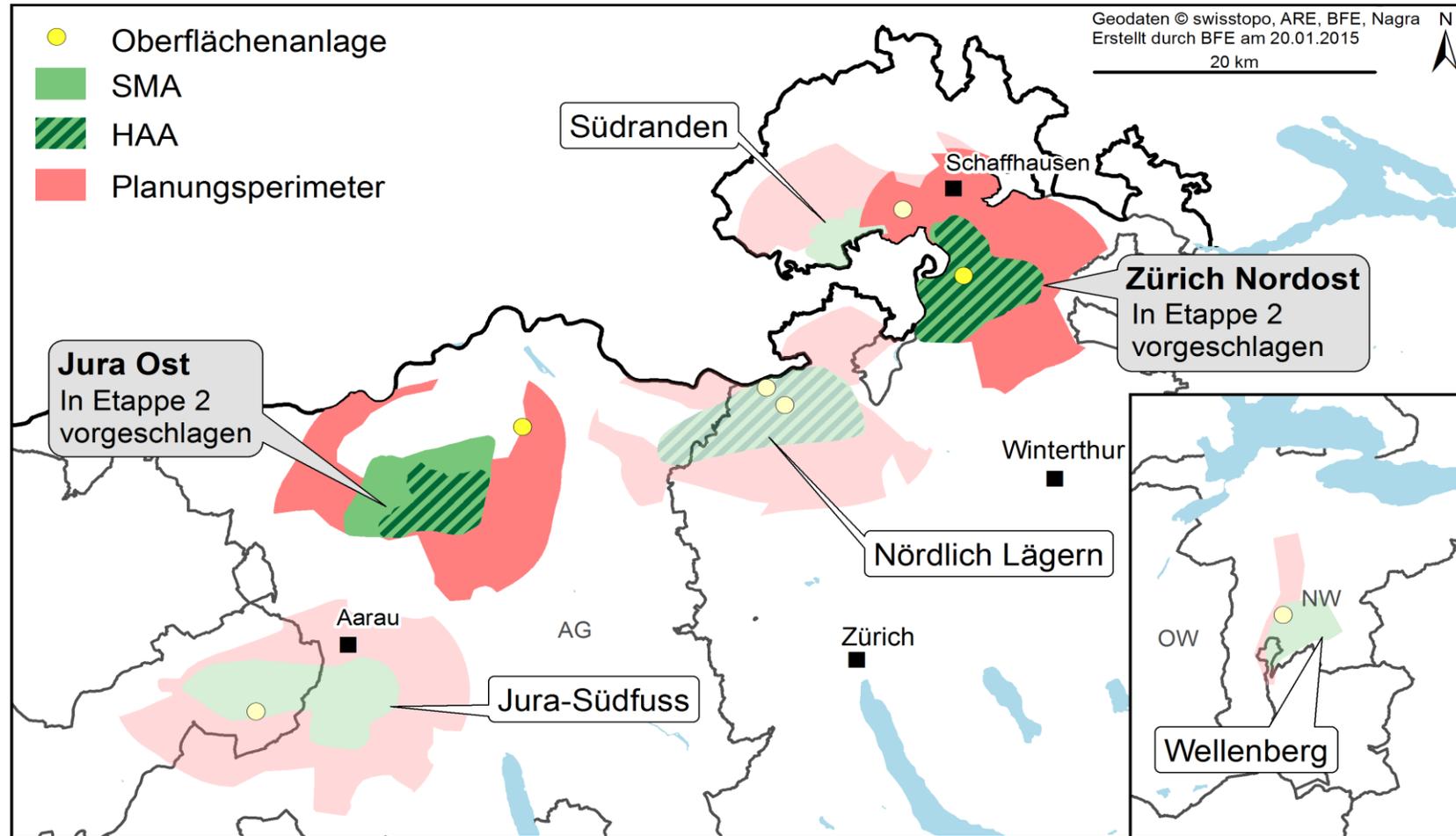


Bautechnische Risiken und Langzeitsicherheit Nordschweiz 18.8.2014

Simon Löw, ETH Zurich



# Sachplan Etappe 2 – Januar 2015: «2x2-Vorschlag» der Nagra



BFE (2016)

# Prüfresultate Bautechnik SGT Etappe 2, 5.11.2015 (ENSI) und 13.11.2015 (Behördenseminar)

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Engineering Geology

## Resultate der Prüfung (1)

Die Datenbasis an **belastbaren felsmechanischen Versuchen** ist sehr klein. Die vorgeleiteten effektiven Gesteins-Festigkeiten und die undrainierten Scherfestigkeiten sind konsistent und überschätzen meist die tatsächlichen Festigkeiten (u.a. aufgrund von teilgesättigten Proben). Die Vorgehensweise bei der Quantifizierung der Umrechnung von Gewichtungsfaktoren ist nicht nachvollziehbar.

	Number of tests	Quality level A	Quality level B	Quality level C	Quality level D	Weighting = 100%	Weighting = 50%	Weighting = 25%	Weighting = 10%	Assessment table	Strength increase	Strength increase	Strength increase	
Jahns 2013	24	8	6	5	8	6	5	5	2	6	7	9	2	22
Rummel & Weber 1999	14		14		14					13	1			14
Jahns 2010	9	9			9					9				9
Jahns 2007	23		23		23					23				23
Schnier & Stührenberg 2007	14		14		14					14				14
Popp & Salzer 2006	8		8		8					8				8
Rummel & Weber 2004	30		30		30					29	1			30
Rummel et al. 1999	10		10		10					10				10
Ojala et al. 1999	12		2		2	10				7	5			12

Assessment according to NAB 14-01

Assessment by Amann/Vogelbein

Bewertung der Versuche zur effektiven Scherfestigkeit

Brugg 5.11.2015 | SGT E2: Prüfberichte zur maximalen Tiefenlage aus bautechnischer Sicht

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Engineering Geology

## Bedeutung der Prüfresultate: Felsmechanische Kennwerte

Die langjährigen Untersuchungen der Nagra und anderer Institutionen zeigen, dass der Opalinuston ein sehr komplexes Materialverhalten aufweist, welches mit Standardverfahren erfasst und beschrieben werden kann:

- Die mechanischen Eigenschaften sind nicht nur abhängig von der Wassersättigung während der Versuchsdurchführung, sondern auch von der Tiefe und Belastungsgeschichte. Der Opalinuston zeigt so ein Verhalten, das von Locker- wie von Festgesteinen abweicht.
- Viele früheren Versuche an Opalinuston-Proben sind heute nicht mehr auswertbar, da sie nicht den qualitativen Anforderungen entsprechen oder Angaben zur Versuchsdurchführung fehlen. Die bisherige Nutzung der Nagra zur Verwendung solcher „alten“ Versuche in Etappe 2 der SGT-Prüfung ist als nicht zulässig zu bewerten.
- Neue Versuche erfordern neue Bohrungen, eine Probennahme in verschiedenen Tiefenbereichen, eine spezielle Lagerung, und einen zeitlich aufwendigen mehrphasigen Versuchsablauf (ca. 4-8 Wochen pro Versuch).
- Wenige Labors sind weltweit in der Lage, dieses komplexe Materialverhalten zuverlässig zu untersuchen.

Brugg 5.11.2015 | SGT E2: Prüfberichte zur maximalen Tiefenlage aus bautechnischer Sicht

**ETH**  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Engineering Geology

## Bedeutung der Prüfresultate: Maximale Tiefenlage

Eine Modellierung der tatsächlichen bautechnischen Verhältnisse und Auswirkungen in den Standortgebieten ist heute mit grossen Unsicherheiten behaftet, da zuverlässige tiefenabhängige Gesteins- und Gebirgs-Kennwerte in den vorgeschlagenen Standortgebieten fehlen. Das komplexe Materialverhalten des Opalinustons, welches von der Nagra zutreffend beschrieben wird, erfordert heute:

- Eine systematische Analyse der bautechnischen Gefährdungsbilder, umfassend sowohl reguläre geotechnische Verhältnisse und Gebirgsverhaltensweisen als auch aussergewöhnliche geologische Situationen (z.B. spitzwinklig zur Tunnelachse streichende Störungszonen).
- Robuste Argumentationen oder Nachweise der Umsetzbarkeit und Wirksamkeit aller notwendigen Massnahmen zur Bewältigung unerwünschter Ereignisse für alle Lagerkomponenten und Zustände.

Brugg 5.11.2015 | SGT E2: Prüfberichte zur maximalen Tiefenlage aus bautechnischer Sicht | Simon Löw

# Nachforderung ENSI zu 2x2: Nördlich Lägern offen (BFE 2016)

**Nagra muss Daten nachreichen**  
 Laufenburg/Hochrhein (msb) Die Suche der Schweiz nach einem Standort für ein Atomendlager könnte sich bis zu einem Jahr verzögern. Grund dafür ist, dass das eidgenössische Bundesamt für Energie (BFE) die Nagra jetzt anweist, zusätzliche Berichte nachzureichen. Ohne diese sei eine „abschließende Beurteilung“ der potenziellen Standorte nicht möglich, wie das BFE mitteilt.

**Auswahlverfahren «Nördlich Lägern ist nicht vom Tisch»**  
 Für Tiefenlagerexperte Thomas Flüeler kam der Zweitvorschlag zu früh. **Mit Thomas Flüeler sprach Martin Läubli**  
 Sind Sie überrascht, dass das Sicherheitsinspektorat Ensi von der Nagra zusätzliche technische Unterlagen verlangt? Überhaupt nicht. Im Januar wurden wir überrascht, als die Nagra eine derart

**KOMMENTAR Zu früh gefreut**  
 Atom Müll: Der Bund rüffelt die Nagra, und Nördlich Lägern ist weiterhin ein möglicher Lagerort

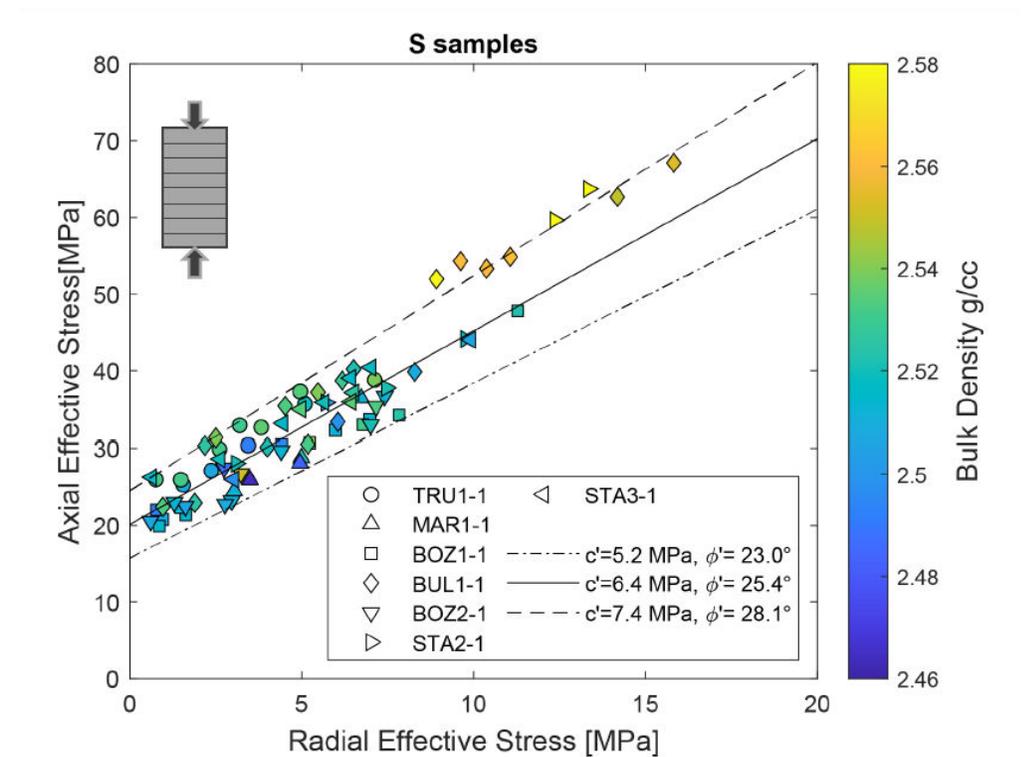
**Tiefenlager doch wieder ein Thema**  
 Zu den zwei Standortvorschlägen der Nagra, die für ein Tiefenlager für radioaktiven Abfall infrage kommen, könnte der Standort Nördlich Lägern im Kanton Zürich wieder zum Thema werden. Dieser fiel aus bautechnischen Gründen bei

**Nagra muss Wahl besser begründen**  
**WEINLAND** Die Aufsichtsbehörde Ensi kann noch nicht nachvollziehen, weshalb die Nagra nur das Weinland und den aargauischen Bözberg für das Endlager vorschlägt. Der Schock sass bei manchen einem Jahr. Somit entscheidet der Bundesrat erst 2018 über die zwei Standortvorschläge der Nagra. Dass das Ensi die Vorschläge an den Absender zurückgeschickt hat, hat zu entgegengesetzten Reaktionen geführt. Von einer gewissen Überraschung spricht fe sicher gebaut werden kann, auch wenn dies im Vergleich zu 700 Metern sicherheitstechnische Nachteile habe. «Wenn man nicht so tief gehen muss, soll man es daher auch nicht tun», sagt Fritsch. Die Nagra geht jedoch davon

Nachlieferungen der Nagra (2016) führen zu keiner substantiellen Verbesserung der Datengrundlage

# SGT Etappe 3: 144 Triaxialversuche folgen nach Nagra den erforderlichen Qualitätskriterien (RGB Seminar 3)

STAOGebiet	JO		NL			ZNO	
Bohrung	BOZ-1-1	BOZ-2-1	STA-2-1	STA-3-1	BUL-1-1	MAR-1-1	TRU-1-1
UndrÄnirte Versuche	19	18	10	10	28	16	26
DrÄnirte Versuche	2		2	3	3	3	3
Total p/Bohrung	21	18	12	13	31	20	29
<b>Total pro STAOGebiet</b>	<b>39</b>		<b>56</b>			<b>49</b>	
<b>Insgesamt</b>	<b>144</b>						



Fazit: Die Forschungsprojekte der ETH haben in den letzten 20 Jahren signifikant zu einer Verbesserung der felsmechanischen Grundlagen im Sachplanverfahren geföhrt.

## Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Und danke an viele Partner und Mitarbeitenden der Professur für Ingenieurgeologie ETH, im Speziellen:

ENSI: Meinert Rahn, Martin Herfort, Felix Altdorfer, Ann-Kathrin Leuz, Ernando Saraiva, Marc Hugentobler  
Mont Terri: Christoph Nussbaum, David Jäggi, BGR; SED; Politecnico di Torino: M. Barla  
ETH: Martin Ziegler, Florian Amann, Corrado Fidelibus, Salina Yong, Reto Thöny, Katrin Wild, Molly Williams