



Kurzprotokoll

Erstell-Datum: 9. April 2014 Seiten: 7 Anhänge: 3 Beilagen: 1
Ort: ETH Zürich, Raum NO C 60
Sitzungsdatum: 14. Februar 2014
Zeit: 9:00 – 18:00 Uhr
Vorsitz: Simon Löw
Anwesend: Ca. 170 Teilnehmende, 13 Referenten (Beilage 1), Vertreter des ENSI: Andreas Dehnert, Jürgen Hansmann, Martin Herfort, Markus Hugi, Ann-Kathrin Leuz, Rainer Mailänder, Meinert Rahn, Vincent Roland, Jürg Schmid (ENSI-Rat), Manuel Sentis, David Suchet, Thomas van Stiphout

Verteiler intern: GEOL, KOMM, INTL, TISA, WIM
Verteiler extern: Publikation auf Website der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung EGT
Protokollführer: M. Herfort / SAS
Visum:

Visum Vorgesetzte: *HEM*
RAH

Klassifizierung keine
Aktenzeichen 33KRI.EGT
Referenz ENSI 33/347
Schlagwörter Geologische Tiefenlagerung, Tongestein, Felsmechanik, Bautechnik, Sachplan SGT



Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»

Zusammenfassung

Bei der schweizerischen Standortsuche für geologische Tiefenlager spielen felsmechanische und bautechnische Eigenschaften von Tongesteinen eine wichtige Rolle. Im Rahmen der Bewertung der in Etappe 2 des Sachplans Geologische Tiefenlager weiter untersuchten Standortgebiete beschäftigen sich das ENSI und die Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) mit geologischen, felsmechanischen und bautechnischen Fragestellungen, welche für die bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers im Opalinuston oder in ähnlichen Tongesteinen sowie für die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers relevant sind. Dabei spielen Randbedingungen (In-situ-Spannungsverhältnisse, Tiefenlage, Hohlraumquerschnitte), die felsmechanischen Eigenschaften, das Gebirgsverhalten sowie geeignete bautechnische Massnahmen ebenso eine Rolle wie die Unsicherheiten in den jeweiligen geologischen und hydromechanischen Prognosemodellen.

Für das ENSI und seine Experten stellen sich heute eine Vielzahl spezifischer Fragen, welche für die laufenden Arbeiten der Etappe 2 des Sachplans und insbesondere für die auszuwählenden Standortgebiete relevant sind. Diese Fragen wurden an dem eintägigen Symposium an der ETH Zürich disku-



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KRI.EGT / ENSI 33/347
Titel: Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»
Datum / Sachbearbeiter: 9. April 2014 / M. Herfort / SAS

tiert. Der Einladung waren 13 Referenten aus dem In- und Ausland und ca. 170 Teilnehmende, überwiegend aus der Schweiz, gefolgt:

Das Symposium bot einen Überblick über den heutigen Stand der Kenntnisse zu felsmechanischen Prozessen einschliesslich deren Relevanz für die Bautechnik und Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers im Opalinuston und in ähnlichen tonreichen Gesteinen. Die offene und konstruktive Diskussion, bei der die Experten um eine verständliche Sprache bemüht waren, wurde von den Teilnehmenden geschätzt, auch wenn den anspruchsvollen fachtechnischen Inhalten nicht immer von allen Teilnehmenden gefolgt werden konnte.

Beilagen:

- 1 Programm des Symposiums

Anhang (abrufbar auf www.egt-schweiz.ch/symposium):

- 1 Kurfassungen der Vorträge
- 2 Folienpräsentationen
- 3 Video-Aufzeichnung der Vorträge



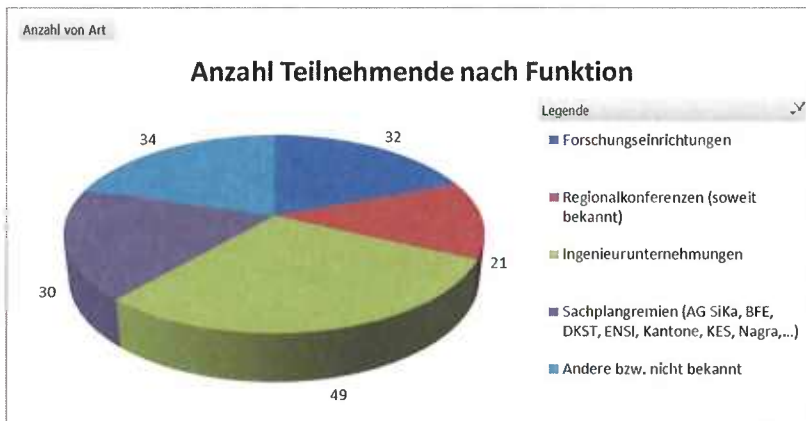
Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KRI.EGT / ENSI 33/347
Titel: Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»
Datum / Sachbearbeiter: 9. April 2014 / M. Herfort / SAS

Protokoll

Über den Bau von Tunneln und Stollen in Tongesteinen liegen weltweit viele Erfahrungen vor. Über die Frage der grundsätzlichen bautechnischen Machbarkeit hinaus, die in der Schweiz mit den Entsorgungsnachweis beantwortet wurde, stellen sich bei der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle sicherheitstechnische Anforderungen an die Barrierenwirkung (Dichtheit) des Tongesteins, welche durch den Bauvorgang nicht unzulässig beeinträchtigt werden darf. Verschiedene Experten befassen sich deshalb damit, wie sich die Gebirgseigenschaften während Bau, Betrieb und nach Verschluss eines Tiefenlagers zeitlich und räumlich entwickeln und wie die Schädigung des Gebirges minimal gehalten werden kann. Die Barrierenwirkung des Tongesteins muss letztendlich den Schutz von Mensch und Umwelt vor radioaktiven Stoffen über einen sehr langen Zeitraum gewährleisten können. In den vergangenen Jahrzehnten wurden dazu viele Forschungsarbeiten initialisiert und durchgeführt, insbesondere in untertägigen Felslabors (über 30 Jahre Forschung im belgischen Felslabor Mol im Boom-Clay, 18 Jahre Forschung im Felslabor Mont Terri im Opalinuston und 13 Jahre Forschung im französischen Felslabor Bure im Callovo-Oxford-Ton).

Ziel des Symposiums «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen» war es, sich einen Überblick über den heutigen Kenntnisstand zu den felsmechanischen Prozessen und deren Relevanz für die Bautechnik und die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers im Opalinuston zu verschaffen. Die Erkenntnisse fliessen in Etappe 2 des Sachplanverfahrens in die bau- und sicherheitstechnische Überprüfung der Vorschläge geologischer Standortgebiete ein, um beispielsweise die seitens der Nagra vorgeschlagene Tiefenlage und die Stützmittel der Lagerstollen zu beurteilen.

Am Symposium nahmen ca. 170 Personen mit unterschiedlichem Hintergrund (siehe Graphik) teil.



Das Tagungsprogramm mit 13 Fachvorträgen und internationalen Referenten aus 6 Ländern (Deutschland, Frankreich, Kanada, Österreich, Schweiz und Spanien) gliederte sich in 3 Teile: in einem ersten Teil wurden die felsmechanischen Labor- und In-situ-Experimenten an Tongesteinen präsentiert und diskutiert. Der zweite Teil vermittelte einen Überblick über Erfahrungen von Untertagebauwerken in Tongesteinen mit Beispielen aus Frankreich, Kanada, Spanien und der Schweiz. Der dritte und letzte Teil war der bautechnischen Auslegung geologischer Tiefenlager in der Nordschweiz gewidmet, wie er gegenwärtig im Rahmen der Etappe 2 des Sachplanverfahrens evaluiert wird.

Die Kurzfassungen der einzelnen Vorträge (Anhang 1), die Folienpräsentationen (Anhang 2) und die Video-Aufnahmen (Anhang 3) sind über die Homepage des Symposiums (www.egt-schweiz.ch/symposium) öffentlich zugänglich.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KRLEGT / ENSI 33/347
Titel: Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»
Datum / Sachbearbeiter: 9. April 2014 / M. Herfort / SAS

Die folgenden Fragen und Antworten entstanden während den Diskussionen am Symposium. Die hier wiedergegebenen Antworten widerspiegeln nicht die abschliessende Meinung des ENSI, sondern sollen möglichst die stattgefundene Diskussion wiedergeben.

Diskussion

Die folgenden Fragen und Aussagen entstammen Aufzeichnungen des Protokollführers und sollen den Verlauf der Veranstaltung nachzeichnen. Die Aussagen repräsentieren damit nicht die Meinung des ENSI oder der EGT.

Bleibt genug Zeit für die vielen Untersuchungen, um alle Fragen zu klären?

Ja, die notwendigen Untersuchungen können durchgeführt werden, da die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers schrittweise erfolgt und damit neue Erkenntnisse bei der Lagerrealisierung kontinuierlich einfließen können.

Welchen Einfluss hat die Veränderung des Stresszustands (Entspannung), die bei der Entnahme von Bohrkernproben für Laborversuche typischerweise entsteht, auf die Resultate?

Der Einfluss existiert, kann aber nicht genau quantifiziert werden. Es ist deshalb wichtig, dass neben Laborversuchen auch in-situ Messungen direkt im Gebirge (Felslabor) gemacht werden.

Ist das Langzeitverhalten von Rissbildungen (Auflockerungszone) belastbar zu beschreiben und vorherzusagen?

In der Materialkunde ist dies für viele Materialien gängige Praxis, so zum Beispiel für Gesteine wie Granit und Schiefer. Für Tongesteine wie den Opalinuston liegen umfangreiche Ergebnisse aus Forschung der vergangenen 20 Jahre vor.

Wird der Einfluss der Wärmeentwicklung im Tiefenlager beim Design und bei der Interpretation der Versuche berücksichtigt?

Im Makro-Massstab (Labor, Felslabor) wurde und wird dies bereits untersucht, im Mikro-Massstab (Tonmineral-Körner) bisher nicht. Viele Versuche werden bei Raumtemperatur durchgeführt.

Gibt es Messungen (Monitoring) felsmechanischer Parameter und Prozesse?

Es gibt verschieden Messungen, z. B. Dilatometer-Messungen in Bohrlöchern, Laserscans etc.

Welcher Heilungsprozess läuft innerhalb 300 Jahren in der Auflockerungszone ab?

Die Entwicklung der Auflockerungszone wird teilweise anders verlaufen als in vielen Experimenten in einem offenen Stollen abgebildet, da ein rasches Verfüllen der Lagerstollen (nach ca. 2 Jahren) vorgesehen ist. Die wichtigsten Prozesse, die für das Selbstabdichtungsvermögen der Tongesteine verantwortlich sind, sind Quellung und Konsolidation.

Wie wurde die Trennflächendichte für die Berechnung der Klüftöffnung bei gegebener Verformung bestimmt?

Die Trennflächendichte ist ein Fit-Parameter, d. h. er wird durch Rechensimulationen ermittelt, bis die berechnete Kurve möglichst genau mit den gemessenen Punkten übereinstimmt.

Wachsen die Brüche in der Auflockerungszone mit der Zeit weiter?

Die Experimente zeigen, dass nach einiger Zeit die ursprüngliche hydraulische Dichtigkeit wieder hergestellt wird, nicht jedoch die mechanische Stabilität.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KRI.EGT / ENSI 33/347
Titel: Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»
Datum / Sachbearbeiter: 9. April 2014 / M. Herfort / SAS

Unterscheiden sich die hydraulischen Durchlässigkeiten der «sandigen Fazies» des Opalinustons von anderen Ausprägungen des Gesteins?

Nein, die hydraulischen Durchlässigkeiten der verschiedenen Fazies (sandig, tonig, kalkig) sind gleich. Die Festigkeiten sind jedoch unterschiedlich, die sandige Fazies ist stabiler als die tonige Fazies.

Wie lange leben die Stollen, wie oft muss saniert werden?

Im Mont Terri sind die Stollen für ca. 20 a Lebensdauer ausgelegt und müssen dann nach und nach renoviert werden. Im Tiefenlager bleiben die Einlagerungsstollen jeweils nur wenige Jahre offen.

Woher kommt das im Voreinschnitt eines Tunnels in Tongesteins auftretende Wasser?

Das Wasser stammte im gezeigten Beispiel nicht aus dem Tongestein, sondern aus dem Grenzbereich zwischen Quartär und Molassefels.

Wie können Richtung und Betrag der maximalen Hauptspannung S_H gemessen werden?

Es gibt verschiedene Methoden, jedoch ist die Ungewissheit recht gross im Vergleich zu Messungen der minimalen Hauptspannung S_h .

Spielen neben der Orientierung der Stollen nicht auch die Spannungsverhältnisse eine Rolle?

Doch, auch diese sind wichtig.

Die Schichtung ist in der Nordschweiz stets horizontal, welche Optimierungsmöglichkeit hinsichtlich der Vortriebsrichtung gibt es hier noch?

Im Hinblick auf die Minimierung der Auflockerung besteht in diesem Fall kein Optimierungspotenzial.

Beruhend die gezeigten Kurven eher auf Simulationen oder auf harten, gemessenen Daten?

Die Kurven beruhen meist auf Simulationen.

Werden Feuer oder Überflutung berücksichtigt?

Diese Risiken sind nicht Teil des geotechnischen Problems, müssen aber im Rahmen der Gesamtbeurteilung (Bau und Betrieb) analysiert und berücksichtigt werden.

Welche Rolle spielt der Prozess des Kriechens?

Für die Einlagerungstunnel ist der Prozess unwichtig aufgrund der kurzen Standzeiten. Für die Zugänge und Logistik-Tunnels muss der Prozess jedoch berücksichtigt werden.

Wird das EKRA-Konzept für geologische Tiefenlager umgesetzt?

Ja. Das im Kernenergiegesetz (KEG) verankerte Konzept des «geologischen Tiefenlagers» geht im Wesentlichen auf das EKRA-Konzept zurück.

Sind die grossen Kavernen (K04 etc.) nicht problematisch?

Diese grossen Kavernen sind nur für ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) vorgesehen. Dort ist das Problem weniger kritisch, weil massive Stützmittel (z.B. Beton-Tübbinge) eingebaut werden können, um den Hohlraum zu stabilisieren.

Allgemeine Feststellungen

Die Messung von Klüftöffnungsweiten (Apertur) im Labor ist möglich, im Gelände aber wenig sinnvoll.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KRI.EGT / ENSI 33/347
Titel: Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»
Datum / Sachbearbeiter: 9. April 2014 / M. Herfort / SAS

Eine Rissbildung entsteht viel schneller bei Zugbelastung (Sekunden) als bei Druckbelastung (Jahre). Zugbelastungen sollten vermieden werden.

Ein Wassereintrich von der Oberfläche oder aus einem durchfahrenen Aquifer kann für ein Tongestein katastrophal sein und muss vermieden oder beherrscht werden. Diese Anforderung wurde bereits in der Richtlinie ENSI-G03 formuliert.

Im Zeitraum der Offenhaltung der Zugänge und Logistiktunnel eines Tiefenlagers (mehrere Jahrzehnte) sind Renovierungsarbeiten zu erwarten. Die Schäden am Bauwerk dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen.

Durch die Entlastung von Gesteinsproben bei der Entnahme aus dem Untergrund werden die In-situ-Gesteinsfestigkeiten eher unterschätzt.

Die Einflüsse von Topographie und Störungen auf das Spannungsfeld sind lokal begrenzt. Dies gilt sowohl lateral als auch vertikal.

Die Bedeutung von Kriechprozessen (engl.: «creep») für die Beurteilung ist noch offen.

Die Meinungen zur Existenz von freiem Porenwasser und zur Bedeutung eines Porenwasserdrucks oder von molekularen Adhäsionskräften für die Gesteinsfestigkeit und Verformbarkeit gehen auseinander. Fakt ist, dass ein gewisser Anteil des Porenwassers mobilisierbar ist.

Schlussfolgerungen des ENSI

Das Symposium bot einen breiten Überblick über den heutigen Stand der Kenntnisse zu felsmechanischen Prozessen einschliesslich deren Relevanz für die Bautechnik und Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers im Opalinuston und in ähnlichen tonreichen Gesteinen.

Die Diskussionen am Symposium waren offen, konstruktiv, lebhaft und detailliert. Es zeigte sich einmal mehr, dass Wissenschaft und Forschung durch immer detailliertere Experimente und Simulationen komplexe Fragestellungen lösen können, dabei aber oft neue Detailfragen auftauchen. Wichtig ist, dass der zur Beantwortung von spezifischen Fragen notwendige Kenntnisstand stufengerecht erreicht werden kann. Es ist dabei klar zwischen den heute notwendigen Kenntnissen (Etappe 2, Aus- bzw. Abwahl von Gebieten aufgrund eindeutiger Nachteile) und den notwendigen Kenntnissen für den Sicherheitsnachweis (Etappe 3) zu unterscheiden. Der Stellenwert der fachlichen Diskurse für die anstehenden Entscheide darf deshalb nicht ausser Acht gelassen werden.

Isolierte Betrachtungen einzelner Phänomene sind häufig nicht zielführend. Notwendig sind gesamthafte Betrachtungen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen und der Einbezug von Erkenntnissen aus verschiedenen Quellen, wie z. B. Laborexperimente, gross-skalige Versuche im Felslabor, Geländeuntersuchungen, Modellrechnungen, Auswertung von Erfahrungswerten aus verwandten Disziplinen, Abwägen von Chancen und Risiken etc. Bei der Realisierung von Tiefenlagern kann auf zahlreiche Erfahrungen aus konventionellen Bereichen (Tunnelbau, Bergbau, Tiefbau) zurückgegriffen werden. Das Interesse vieler Ingenieurunternehmungen aus dem nicht-nuklearen Bereich am Symposium zeigt, dass umgekehrt andere Branchen von den Erkenntnissen profitieren können, die im Rahmen der Tiefenlagerrealisierung gewonnen werden.

Vorträge und Diskussionen waren teilweise auf einem sehr hohen und abstrakten Niveau. Die Teilnehmenden aus den Regionalkonferenzen konnten den Ausführungen, wie Fragen gegen Schluss der Veranstaltung gezeigt haben, nur schwer folgen. Dazu kommt, dass Forschung nicht immer linear verläuft und damit auch der Eindruck entstanden sein könnte, dass auf vielen Forschungsgebieten erst Ansätze eines Verständnisses vorhanden sind. Das Einladen der Regionalkonferenzen zu einer



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KRI.EGT / ENSI 33/347
Titel: Symposium «Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tongesteinen»
Datum / Sachbearbeiter: 9. April 2014 / M. Herfort / SAS

solchen Fachtagung diene der transparenten Information und grösstmöglicher Offenheit, muss aber für zukünftige Symposien hinterfragt werden. Für die Regionalkonferenzen sind Informationsveranstaltungen, in denen vereinfachte, weniger fachlastige Beiträge auf Deutsch gehalten werden, besser geeignet.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

ETH zürich

Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI

Expert Group for Nuclear Waste Disposal EGT

Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich

«Rock Mechanics and Rock Engineering of Geological Repositories in Opalinus Clay and Similar Claystones»

«Felsmechanik und Bautechnik von geologischen Tiefenlagern im Opalinuston und ähnlichen Tonsteinen»

Date: Friday, 14 February 2014

Location: ETH Zurich, Department of Earth Sciences, Room C60, 8092 Zürich

Time: 09:00 am – 6:00 pm

Symposium Final Program

Part 1: Rock Mechanical Lab- and in-situ Experiments in Claystones

Teil 1: Felsmechanische Labor- und In-situ-Experimente an Tongesteinen

(Chair: Simon Löw)

- 09:00 – 09:20 **Welcome and introduction**
Simon Löw (Präsident Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung EGT)
- 09:20 – 09:50 **Challenges associated with laboratory testing on Opalinus Clay, test interpretation, and definition of rock mechanical properties**
Florian Amann, Katrin Wild (ETH Zurich)
- 09:50 – 10:20 **Micro- und meso-mechanische Simulationen zum Verformungsverhalten von Tongesteinen**
Heinz Konietzky (TU Bergakademie Freiberg)
- 10:20 – 10:40 Coffee Break
- 10:40 – 11:10 **Overview of geomechanical test results from Opalinus Clay core samples**
Silvio Giger, Paul Marschall (Nagra, Wettingen), Lyesse Laloui, Alessio Ferrari, Valentina Favero (EPF Lausanne)
- 11:10 – 11:40 **Lab experiments for the mechanical behavior of different shales and claystones**
Frederic Pellet (University of Lyon)
- 11:40 – 12:10 **Digital Image Correlation experiments at the Tournemire Underground Rock Laboratory**
Stephen Hedan, Anne-Laure Fauchille, Valéry Valle (University of Poitiers), Justo Cabrera (IRNS France), Philippe Cosenza (University of Poitiers)
- 12:10 – 13:00 Lunch Break (Catering)

EGT-Präsident / Vorsitz:
Prof. Dr. Simon Löw
Eidgenössische Technische Hochschule ETH
Sonneggstrasse 5, NO G 68.1, 8092 Zürich
Tel. +41 44 633 3231
loew@erdw.ethz.ch

Sekretariat:
Dr. Martin Herfort
c/o Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
ENSI
5200 Brugg, Industriestr. 19
Tel. +41 56 460 85 26
martin.herfort@ensi.ch

Part 2: Experiences of Underground Constructions in Claystones

Teil 2: Erfahrungen von Untertagebauwerken in Tongesteinen

(Chair: Wulf Schubert)

- 13:00 – 13:30 **Mine-by experiments and subsurface excavations in claystones**
Derek Martin (Univ. of Alberta, Edmonton)
- 13:30 – 14:00 **Transient deformation and excavations in claystones**
Eduardo Alonso (UPC Barcelona)
- 14:00 – 14:30 **Rock mass behavior during excavations in the Mont Terri Underground Rock Laboratory**
Paul Bossart, Christophe Nussbaum (swisstopo, Wabern), Fabrice Burrus (Groupe Grands Travaux, Delémont), Erik Frank (ENSI, Brugg)
- 14:30 – 15:00 **Erfahrungen beim Tunnelbau im Opalinuston des Tafel- und Faltenjuras**
Walter Steiner (B+S AG, Bern)
- 15:00 – 15:20 Coffee Break

Part 3: Construction and Layout of Geological Repositories in Northern Switzerland

Teil 3: Bau und Auslegung geologischer Tiefenlager in der Nordschweiz

(Chair: Meinert Rahn)

- 15:20 – 15:50 **In-situ-Spannungen in den potenziellen Standortgebieten der Nordschweiz aus Spannungsdaten und 3D geomechanisch-numerischen Modellen**
Oliver Heidbach (GFZ Potsdam), Tobias Hergert (KIT Karlsruhe), John Reinecker (GeoThermal Engineering GmbH), Karsten Reiter (GFZ Potsdam), Silvio B. Giger, Tim Vietor, Paul Marschall, Michael Schnellmann (Nagra)
- 15:50 – 16:20 **Aspekte der bautechnischen Auslegung geologischer Tiefenlager**
Wulf Schubert (TU Graz)
- 16:20 – 16:50 **Issues related to the design of a deep geological repository in Opalinus Clay: Parameter study with a conventional design model**
Philippe Nater (Pöyry Schweiz AG), Thomas Fries (Nagra)
- 16:50 – 17:20 **Rock mechanics of Callovo-Oxfordian claystones at the Meuse Haute Marne URL and consequences for the Cigéo repository design**
Gilles Armand (ANDRA, Châtenay-Malabry)
- 17:20 – 18:00 **Discussion and Conclusions**
S. Löw (Präsident Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung EGT),
D. Martin (Univ. of Alberta, Edmonton)