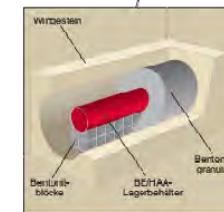
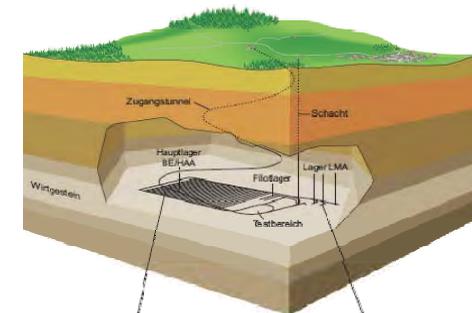
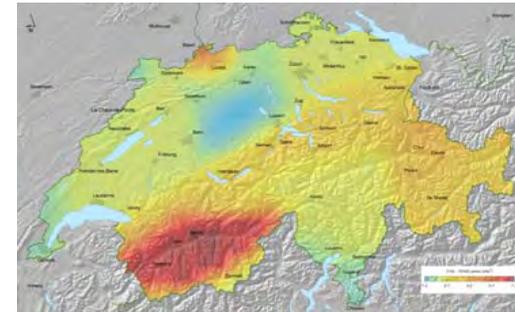
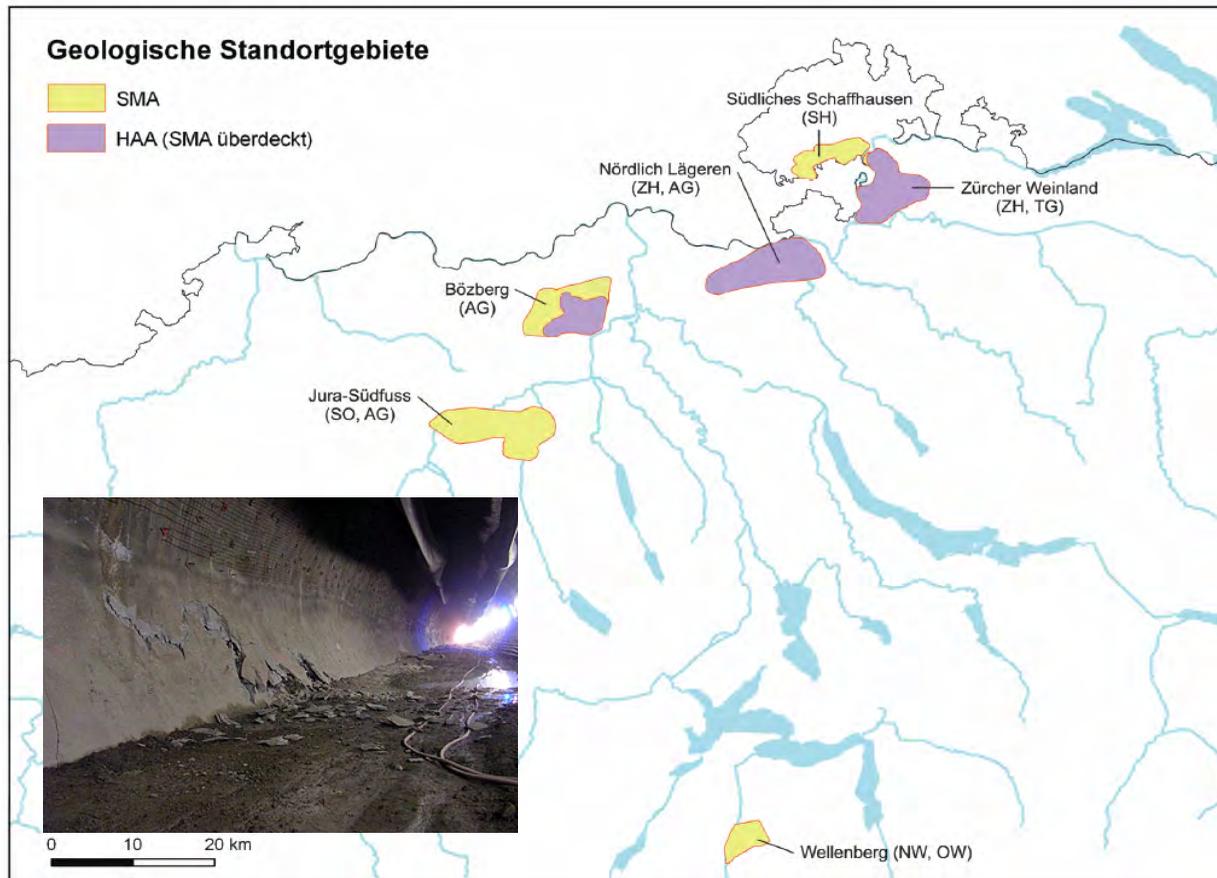
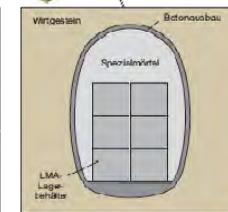


Erdbeben und mögliche Auswirkungen auf ein Tiefenlagerbauwerk



Lagerbehälter BE/HAA



Lagerbehälter LMA

Bilder: NAGRA, ATG, Schweizerischer Erdbebendienst

Grundlagendokumente

- "Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis", ENSI-G03, April 2009
- "Projekt Opalinuston, Gutachten zur Erdbebensicherheit", Résonance ,August 2003
- "Effects of earthquake on the deep repository for spent fuel in Sweden based on case studies and preliminary model results", SKB TR-02-24, Juni 2002
- "Earthquake induced rock shear through a deposition hole", Börgesson L. et al, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXVII, Kalmar Sweden, 2003
- "Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse", NAGRA Technischer Bericht 08-03, Oktober 2008
- "Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Begründung der Abfallzuteilung, der Barrieresysteme und der Anforderungen an die Geologie, Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit", NAGRA Technischer Bericht 08-05, Oktober 2008
- "Seismische Auswirkungen auf Lagerstätten", ASK-E2, Basler & Hofmann 1978
- "Gotthard-Basistunnel – Bergschläge und Mikrobeben in der MFS Faido", Fachtagung für Untertagebau - Swiss Tunnel Congress 2007

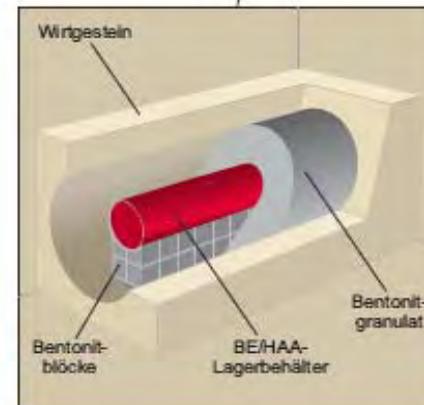
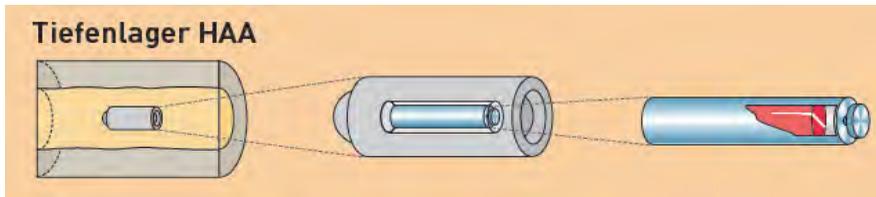
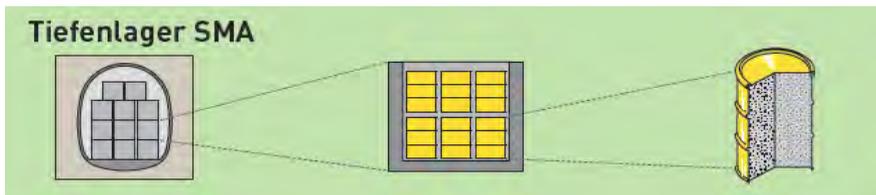
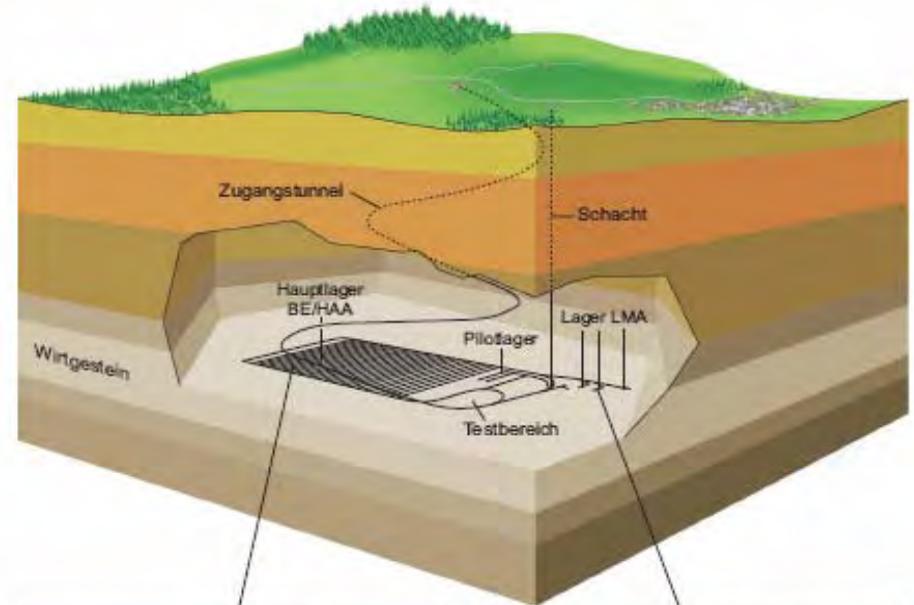
Gliederung

- Grundlagendokumente
- Zustände
- Einwirkungen
- Mögliche bauliche Auswirkungen
- Beurteilung Betriebsphase
- Beurteilung Nachverschlussphase
- Offene Fragen, Forschungsbedarf
- Zusammenfassung

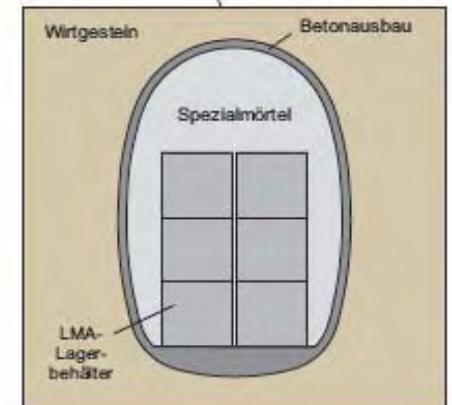


Zustände

- Betriebsphase (ca. 50-100 Jahre) mit unverfüllten Kavernen und Stollen
- Nachverschlussphase (> 100'000 Jahre) mit verfüllten Kavernen und Stollen



Lagerstollen BE/HAA

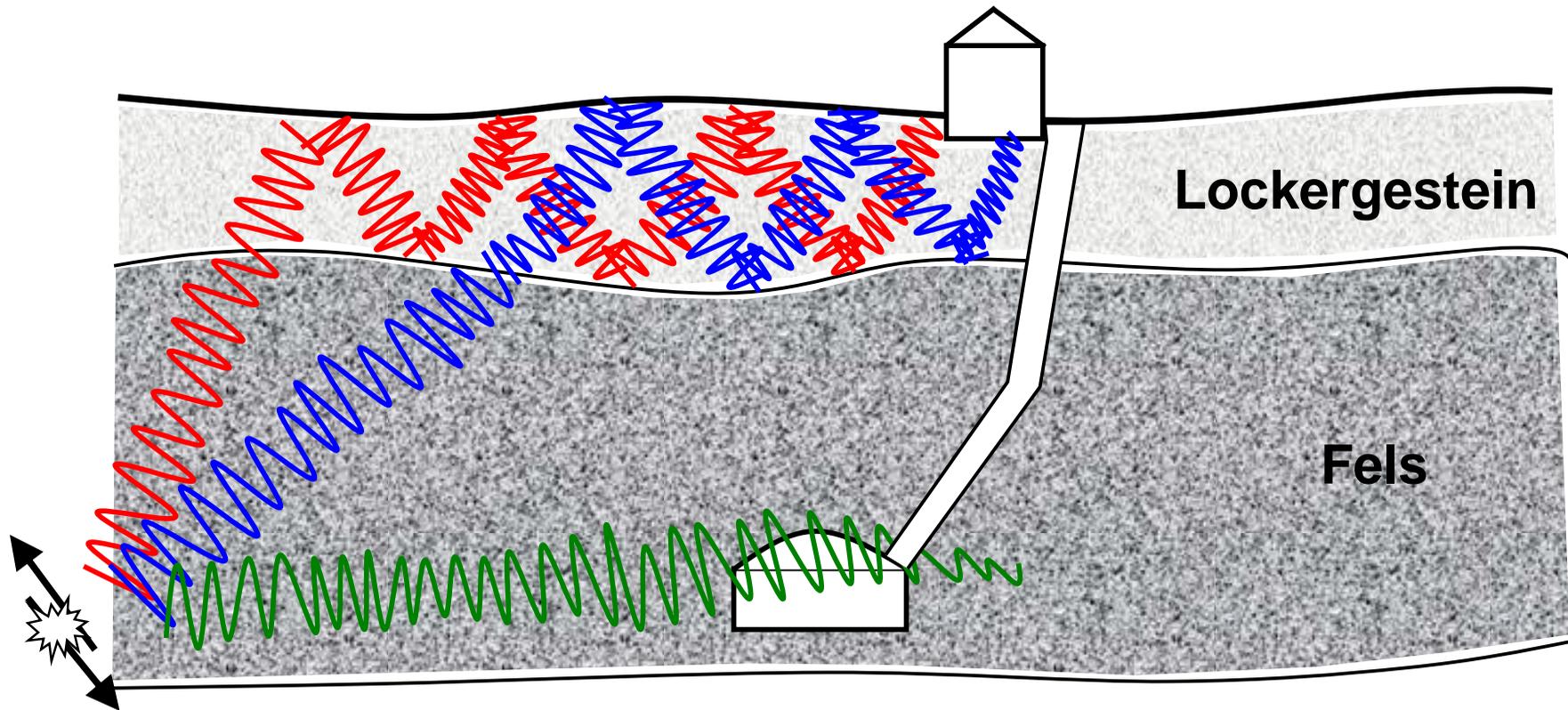


Lagertunnel LMA

Quelle: NAGRA

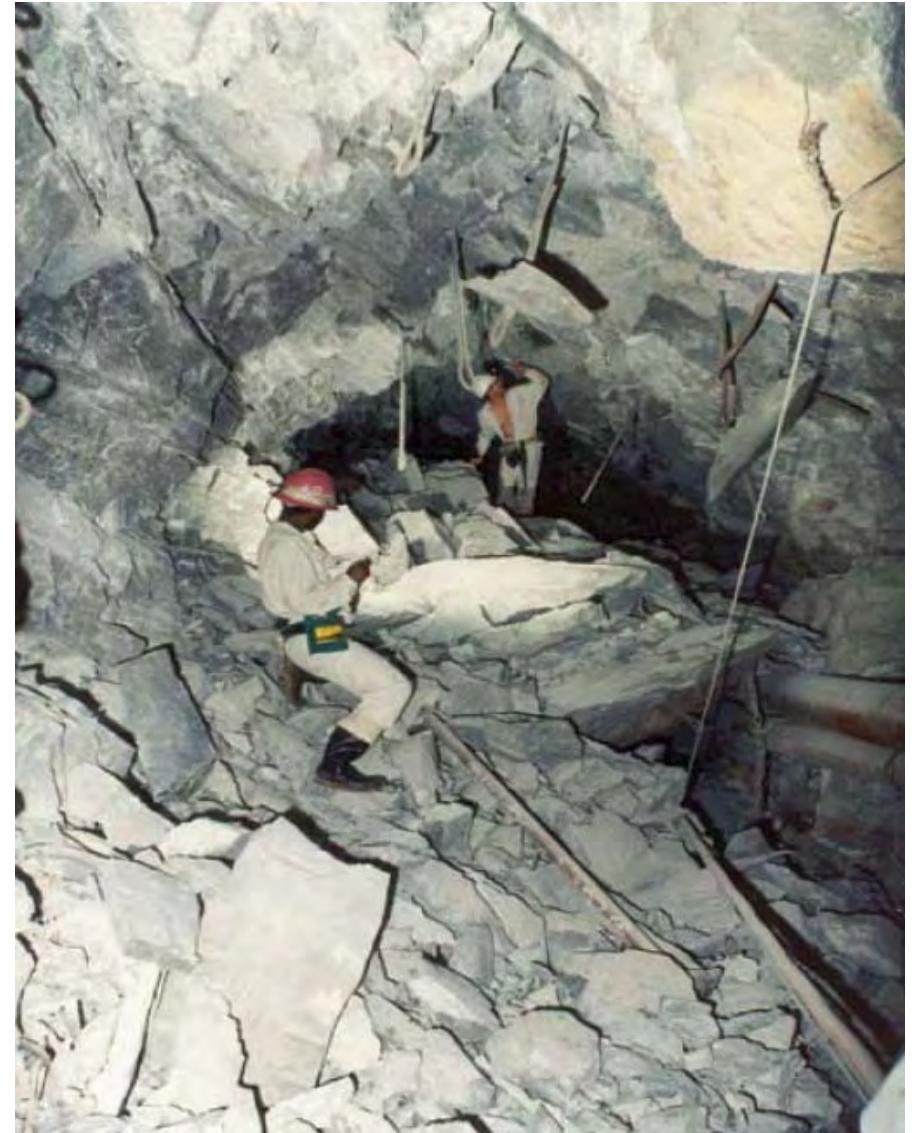
Einwirkungen

- Erschütterungen durch entfernte Erdbebenherde in Abhängigkeit von der Geologie
- Grosse Verschiebungen durch nahe Verwerfungen



Einwirkungen

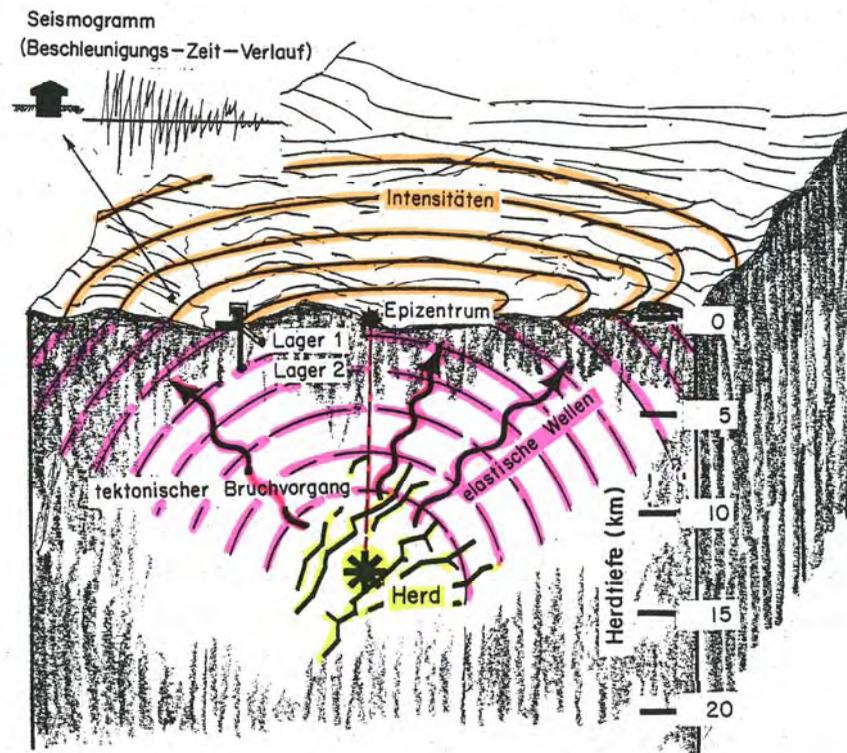
- Bergbauinduzierte Erdbeben
- möglich vorallem in der Bauphase
- Beispiele:
 - AlpTransit Gotthard, MFS Faido
 - Goldminen in Südafrika



Quelle: www.iype.org.za/

Mögliche bauliche Auswirkungen

- Verschiebungen (längs Verwerfungen)
- Instabilitäten des Bodens (Einsturz, Bergschlag...)
- Schwingungen (Ausbreitung elastischer Wellen)
- Sekundäre Auswirkungen (z.B. Wassereinbruch)

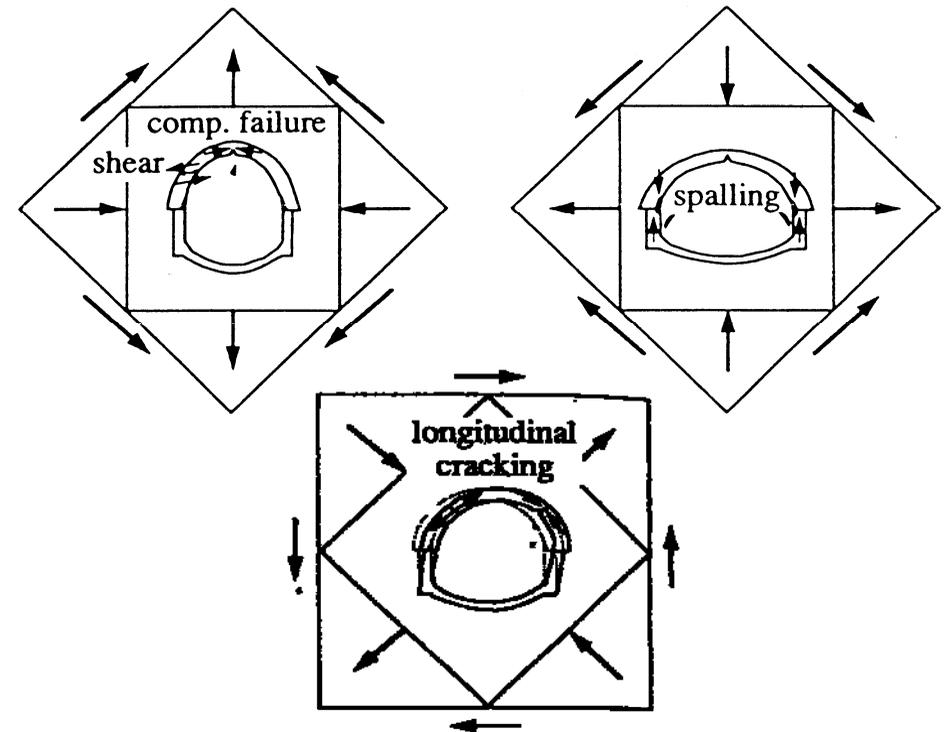


Mögliche bauliche Auswirkungen

- Erschütterungen können die Struktur und insbesondere die Infrastruktur während der Beobachtungsphase schädigen (Stollen, Kavernen und Zugänge)



Quelle: ATG, Baustelle Faido 2006



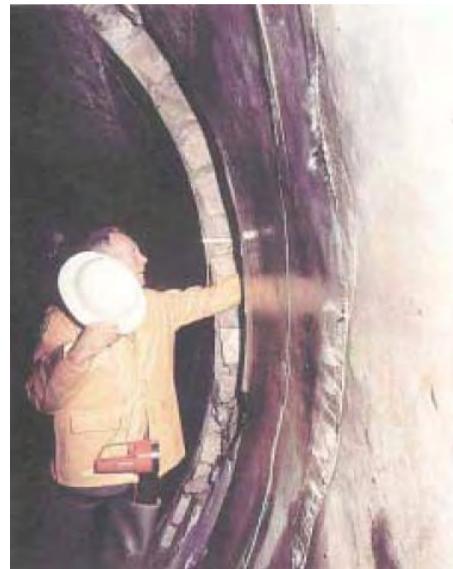
aus [Asakura et al. 1996]

Mögliche bauliche Auswirkungen

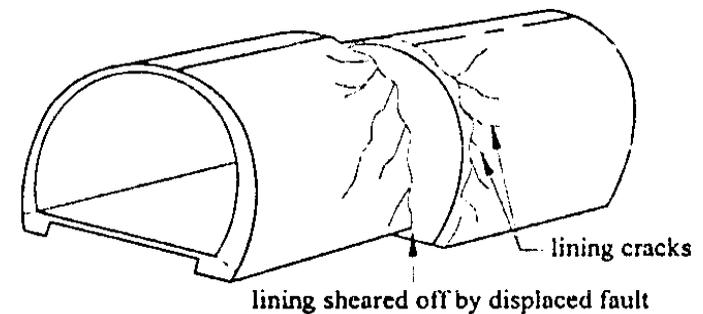
- Grosse relative Verschiebungen während der Betriebs- und Nachverschlussphase können nicht aufgenommen werden
- Wasserspiegelschwankungen und zusätzlicher dynamischer Wasserdruck
- Bodenverflüssigung im Verfüllmaterial
- Lastzunahme durch Erdbeben



aus [TR-02-24]



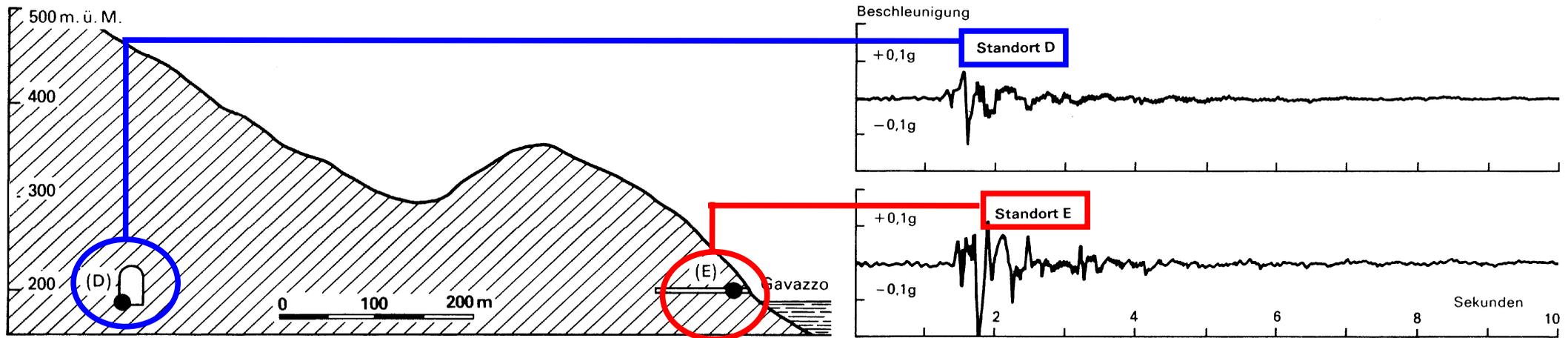
aus [TR-02-24]



aus [Wang et al. 2001]

Beurteilung Betriebsphase

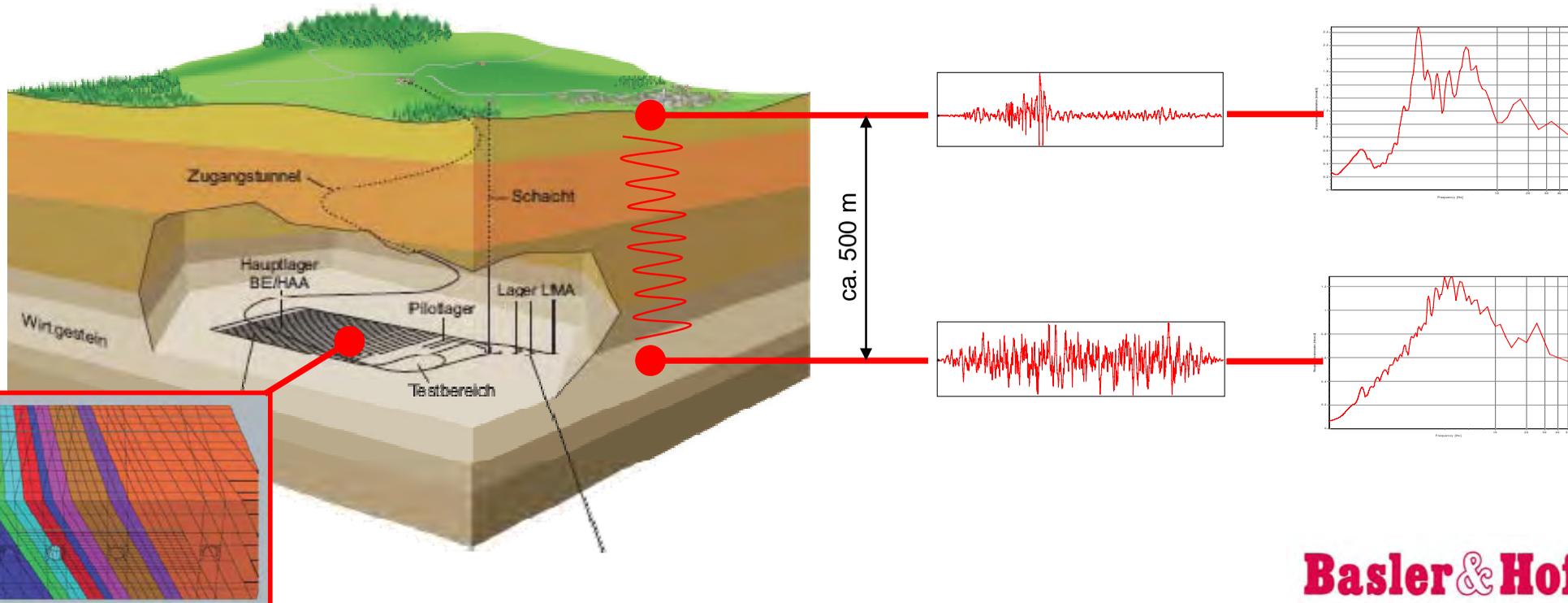
- Auslegung des Bauwerks (Lagerstollen, Kavernen und Zugangsstollen) und Installationen auf grosse Beschleunigungen technisch machbar (Beispiel KKWs)
- Erdbebenerschütterungen werden mit zunehmender Überlagerung (Bereich der Lagerung) kleiner (ca. 50% bei Überlagerungen > 500m).
- Schäden während Betriebsphase erkennbar / reparierbar



Friul Erdbeben vom 15. September 1976 aus [ASK-E2, 1978]

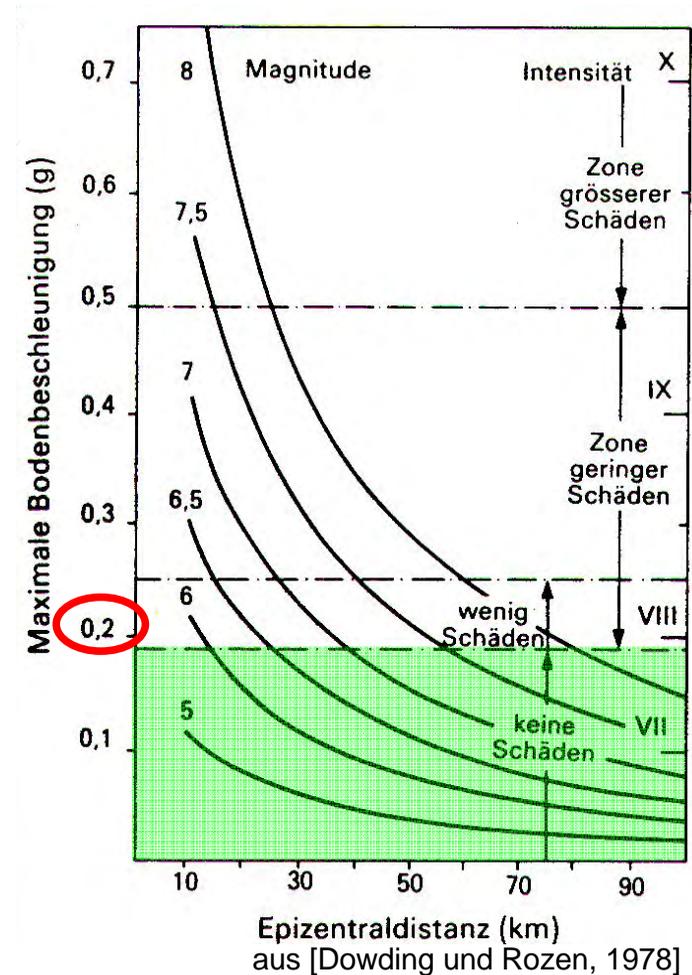
Beurteilung Betriebsphase

- Bemessungsspektren bestimmen, für vorgesehene Tiefen
- FE – Modellierung der Lagerbauten (mit und ohne Betonausbau; SAA, HAA)
- Bemessung und Konstruktive Gestaltung
- Vergleich mit ständigen Einwirkungen (Überlagerungsdruck)



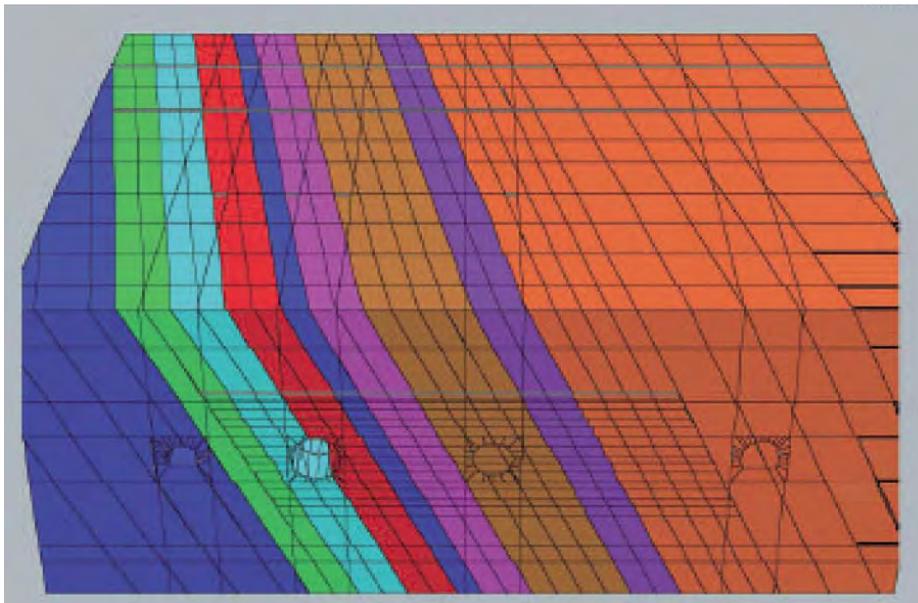
Beurteilung Betriebsphase

- Erschütterungsschäden wurden in Tunneln bisher für Beschleunigungen von mehr als 2 m/s^2 beobachtet
- Tunnelbauwerke mit weniger frei schwingenden Massen
- Einbauten und Installationen können empfindlicher sein



Beurteilung Betriebsphase

- Beobachtete strukturelle Schäden sind auf vorhandene Verwerfungen mit grossen Verschiebungen zurückzuführen
- Wahrscheinlichkeit einer neuen Verwerfung während der Betriebsphase sehr gering
- Selbstinduzierte Mikrobeben in ruhigen Felsformationen unwahrscheinlich und auf die Bauphase beschränkt



aus Swiss Tunnel Congress 2007

Beurteilung Nachverschlussphase

- Erschütterungen führen zu vernachlässigbar kleinen differentiellen Verschiebungen
- grosse Verschiebungen infolge naher Verwerfungen können zu Schäden führen und können durch bauliche Massnahmen nicht aufgenommen oder verhindert werden
- aktive Verwerfungen durch die Lage des Tiefenlagerbauwerks ausschliessen (respect distance)
- Abklärungen zu den maximal möglichen Verschiebungen der Lagerbehälter und der Struktur erforderlich. (Einwirkung und Widerstand)



aus [W. G. Byers Collection 1978]

Offene Fragen, Forschungsbedarf

- Berechnungsmethode für Tiefenlager entwickeln (Wellenausbreitung zwischen Erdbebenherd und Bauwerk)
Numerische FE-Methode für Tiefenlagerbauwerke (Felsmechanik)
Vergleich mit Überlagerungsdruck
- Bemessungsbeben festlegen (Bemessungsspektren, Beschleunigungszeitverläufe, Verschiebungszeitverläufe)

	Oberflächenbauwerke	Tiefenlagerbauwerke
Betriebsphase (50 – 100 Jahre)	Analog KKW (z.B. PEGASOS)	Für Einbauten und Installationen
Nachverschlussphase > 100'000 Jahre	--	Maximalerdbeben

Offene Fragen, Forschungsbedarf

- Überwachungskonzept (gemäss Forderung ENSI-G03)
 - Instrumentierung
 - Beurteilung
 - Massnahmen
- Seismischer Input für PSA (ENSI-G03)
- Tragverhalten und Duktilität der Struktur und der Behälter (maximal zulässige aufgezwungene differentielle Verformungen)
 - Störung mit einer Scherung von 20 cm untersucht
 - Bentonit wirkt als Puffer
 - plastische Verformungen der Behälter in akzeptablen Grenzen

} Börgesson et al. (2003)



aus NAGRA [Bericht 08-03]

Zusammenfassung

- Erschütterungen können durch die Struktur und erdbebengerechte Konstruktion der Installationen ohne Schäden abgetragen werden.
- Bei einem direkten Einfluss von Verwerfungen mit grossen Verschiebungen können Schäden an Stollen und Behältern nur beschränkt verhindert werden.
- Die Bemessungsbeben und die Berechnungsmethode für Tiefenlagerbauwerke müssen noch festgelegt bzw. entwickelt werden.
- Die Reserven im Trag- und Verformungsverhalten der Lagerbehälter müssen weiter untersucht werden.

	Betriebsphase (nicht verfüllt)	Nachverschlussphase (verfüllt)
Erschütterung	Bemessung Einbauten, Inst.	Nachweis mit Maximalbeben
Verschiebung (Verwerfung)	Bemessung beschränkt möglich	Bemessung beschränkt möglich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

