



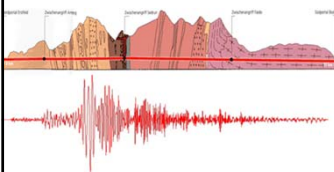
Erdbeben-Bemessungsrichtlinien für die Basistunnel am Gotthard und Lötschberg

Bild Keystone

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Inhalt



- Veranlassung
- Seismische Gefährdung und Schutzziele
- Bemessungsrichtlinien
- Begleitende Massnahmen



2

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Veranlassung

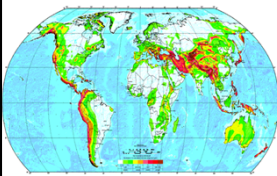
3

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

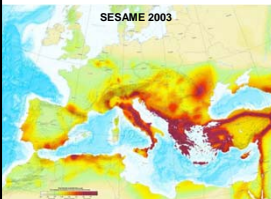
Basler & Hofmann

Veranlassung (1)

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP



SESAME 2003



– Müssen unsere Alpentunnel auf Erdbeben bemessen werden?

- Erfahrung: Tunnelbauten sind bezüglich Erdbeben «robust»
- CH: Im weltweiten Vergleich mässige bis mittlere Erdbebengefährdung

4

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Veranlassung (2)



- Schadenerfahrungen weltweit, z.B. Kobe Japan 1995, Türkei 1999, Chi-Chi Taiwan 1999, Chile 2010
 - Infrastrukturbauten mit europäischer Bedeutung
 - Komplexe Bauwerke
 - CH und Europa: Keine Baunorm für die erdbebensichere Bemessung und Konstruktion von Tunnelbauwerken vorhanden
- ⇒ ATG und BLS legen Grundsätze für die Erdbebenmessung fest

Niigata, Japan, 2004
US Federal Highway Association

5

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

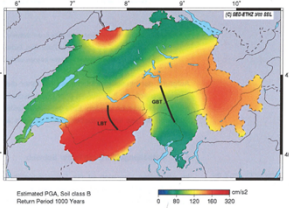
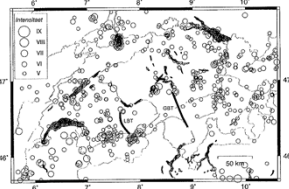
Seismische Gefährdung und Schutzziele

6

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Seismische Gefährdung und Schutzziele (1)



Oben: Epizentren für I>V;
Schweizerischer Erdbebendienst SED

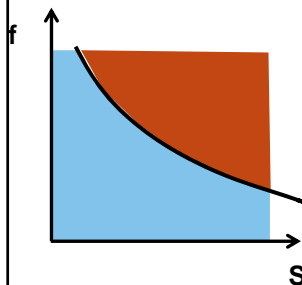
7

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

- Keine Hinweise auf aktive seismische Verwerfungen in den Gebieten der Basistunnel
- Überraschung beim Vortrieb ATG im Bereich der MFS Faido: Häufung von Mikrobeben ab März 2004, mit Magnituden bis 2,4

Seismische Gefährdung und Schutzziele (2)



- Schutzziele in Anlehnung an Störfallverordnung festgelegt: Akzeptanzlinie im S-f-Diagramm
- ⇒ Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens: $T = 2'000$ Jahre
Entspricht 5% Restgefährdung in Lebensdauer von 100 Jahren
- Tunnel spätestens 1 Monat nach Bemessungsbeben wieder befahrbar
- Vergleich mit SIA 261, Bauwerksklassen
BWK II Bedeutungsfakt. $\gamma_f = 1,2$ $T = 800$ J.
BWK III Bedeutungsfakt. $\gamma_f = 1,4$ $T = 1'200$ J.

8

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Seismische Gefährdung und Schutzziele (3)

— Auslegungs-Bodenbeschleunigungen des Bemessungsbebens

Tunnelportale	Erdoberfläche	in >500 m Tiefe
Gotthard Erstfeld	0,14 g	0,07 g
Gotthard Bodio	0,10 g	0,05 g
Lötschberg Frutigen	0,16 g	0,08 g
Lötschberg Raron	0,30 g	0,15 g

für Baugrundklasse A gemäss SIA 261

9

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien

10

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (1)



Grafik: BLS

– Das System Basistunnel

- Teilbauwerke
- Tunnelröhren im Fels
- Tunnelröhren im Lockergestein
- Tagbautunnel
- Portalbauwerke
- Oberirdische Bauwerke
- MFS (Kavernen, Querstollen etc.)
- Geotechnische Strukturen (Hänge, Böschungen)
- Bahn technische Anlagen

11

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (2)

– Grundsätze, Abgrenzungen

Beschränkung auf Portalbauwerke, oberirdische Bauwerke, Tagbaustrecken, Lockergesteinsstrecken, Hang- und Böschungsstabilität, bahntechnische Anlagen

Für Tunnelröhre im Fels gilt: Erschütterungen durch Auslegung auf Überlagerung abgedeckt, in Störzonen baulich-konstruktive Massnahmen gegen Verschiebungen vorsehen, Restrisiko gering und akzeptierbar

Bauzustände gelten als akzeptiertes Risiko

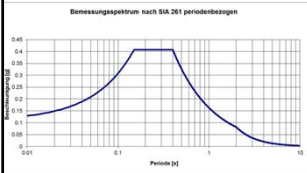
Nachweise weitgehend nach aktuellen Normen 260-267 des SIA

12

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (3)



– Erdbeben-Einwirkungen

Maximale horizontale Bodenbewegungsgrößen (ortsabhängig)

Bereich für ATG und BLS:

Beschleunigung a 0,8 - 3,0 m/s²

Geschwindigkeit v 6 - 24 cm/s

Verschiebung d 2 - 6 cm

Reduktion mit Faktor 0,5 für Felsüberlagerung > 500 m, Vertikal = 0,7 * horizontal

Frequenzinhalt: Bemessungsspektren und Verhaltensbeiwerte gemäss SIA 261;

Stahlbeton mit gerissener Steifigkeit EI

13

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (4)

– Nachweisziele

– Tragwerke

Kein Tragwerksversagen, kein Einsturz beim Bemessungsbeben (geringe Schäden zulässig: Risse, bleibende Verformungen)

– Sicherheitssysteme

Sicherheitsrelevante bahntechnische Einbauten (aktive Systeme) bleiben funktionstauglich

14

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (5) Massnahmen und Berechnungsverfahren



Bild: ATG

- Portalbauwerke, oberirdische Bauwerke, Tagbaustrecken, Lockergesteinsstrecken
- Konzeptionelle und konstruktive Massnahmen
 - Teilbauwerke durch Fugen trennen
 - Vorfabrizierte Elemente kraftschlüssig verbinden
 - Ausreichende Auflagerlängen bei verschieblichen Tragelementen
 - Nichttragende Bauteile befestigen
- Nachweise mit Ersatzkraftverfahren, massgebende Periode T bestimmen
- Erddrücke mit Erdbebenbeschleunigungen erhöhen bzw. reduzieren

15

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (6) Massnahmen und Berechnungsverfahren



Schadenbild aus Taiwan, 1999
NISEE

- Hang- und Böschungsstabilität
- Geotechnische Stabilitätsnachweise für Bemessungssituation «Erdbeben» nach SIA 267, reduzierte Scherfestigkeit bei starkem Porenwasserdruckanstieg
- Horizontale und vertikale Trägheitskräfte infolge Erdbeben:
– Masse * Bodenbeschleunigung, Verhaltensbeiwert $q_a = 1,5$
- Spezielle Untersuchungen bei Gefahr der Bodenverflüssigung

16

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Bemessungsrichtlinien (7) Massnahmen und Berechnungsverfahren



Bild: BLS

– Sicherheitsrelevante bahntechnische Anlagen

Konzeptionelle und konstruktive Massnahmen
Schaltschränke, Computer, Batterien etc.
gegen Kippen sichern

Kabelführungen, Rohrleitungen verschie-
bungsunempfindlich ausbilden

Stand sicherheitsnachweise mit dem Ersatz-
kraftverfahren

Funktionstauglichkeit experimentell nachwei-
sen (Rütteltischtests, typengeprüfte Kompo-
nenten)

17

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Begleitende Massnahmen

18

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Begleitende Massnahmen



- Erdbebeninstrumentierung als Entscheidungshilfe im Ereignisfall empfohlen
- Überwachungs- und Notfallplan mit Erdbebenszenario

Bild: BLS

19

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann

Peter Zwicky, Leitender Experte, Basler & Hofmann
peter.zwicky@baslerhofmann.ch, +41 44 387 13 04

Vielen Dank!
Basler & Hofmann Zürich

20

Kolloquium "Tunnels unter Erdbebenwirkung" ETH-IGT | 15.12.2011 | ZW

Basler & Hofmann