

Erdbeben im Notfall- und Kontinuitätsmanagement

Hilfestellung für Infrastrukturbetreiber zur Überprüfung ihrer
Vorsorge- und Notfallplanungen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Erdbeben im Notfall- und Kontinuitätsmanagement

Hilfestellung für Infrastrukturbetreiber zur Überprüfung ihrer
Vorsorge- und Notfallplanungen

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Alex Scheiwiller, Risk&Safety AG

Clotaire Michel, Risk&Safety AG

Ehrfried Kölz, Risk&Safety AG

Begleitgruppe

Sven Heunert, Bundesamt für Umwelt, Bern

Markus Müller, Bundesamt für Umwelt, Bern

Nick Wenger, Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2019: Erdbeben im Notfall- und Kontinuitätsmanagement. Hilfestellung für Infrastrukturbetreiber zur Überprüfung ihrer Vorsorge- und Notfallplanungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1903: 30 S.

Layout

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

BAFU

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uw-1903-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Die Originalsprache ist Deutsch.

Danksagung

Für die Bereitstellung der Bildbeispiele danken wir herzlich Katrin Beyer von der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Xavier Bellagamba von University of Canterbury, Roger Fairclough von New Zealand Lifelines, der Firma Orion Networks und der American Public Works Association APWA.

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
Vorwort	6
1 Einleitung	7
1.1 Zielsetzung	7
1.2 Adressaten	7
2 Auswirkungen von Erdbeben	8
3 Überprüfung der Planungen hinsichtlich Erdbeben	9
3.1 Auswirkungen von Erdbeben auf die Notfallstrategien	10
3.2 Implikationen von Erdbeben auf die Vorsorge- und Notfallplanungen	11
Anhang A	
Schäden bei Erdbeben	14
Anhang B	
Stärke und Häufigkeit von Erdbeben	23
Anhang C	
Erdbebensicherheit	26
C1 Umsetzung der normativen Anforderungen in der Schweiz	26
C2 Überprüfung der Erdbebensicherheit von Bauwerken	26
C3 Verbesserung der Erdbebensicherheit von Bauwerken	27
C4 Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen	28
Literaturverzeichnis	29

Abstracts

The Swiss federal government wishes to reduce the risk posed by earthquakes to all types of infrastructure. In addition to preventive measures, contingency and emergency planning is key to minimising the impact of earthquakes. This publication shows how infrastructure managers can review their contingency and emergency plans to take account of earthquakes, and sets out some basic principles and essential information about earthquakes and the earthquake resistance of infrastructure.

Keywords:

earthquake, earthquake damage, earthquake resistance, continuity management, crisis management, emergency plan(ning), emergency strategy, review, contingency plan(ning).

Der Bund möchte das Erdbebenrisiko von Infrastrukturen generell reduzieren. Neben den präventiven Massnahmen spielen dabei Vorsorge- und Notfallplanungen zur Minimierung der Auswirkungen von Erdbeben eine zentrale Rolle. Diese Publikation zeigt auf, wie Infrastrukturbetreiber ihre Vorsorge- und Notfallplanungen hinsichtlich der Berücksichtigung von Erdbeben überprüfen können. Es werden dazu die notwendigen Grundlagen und Informationen über das Phänomen Erdbeben und über die Erdbebensicherheit von Infrastrukturen dargestellt.

Stichwörter:

Erdbeben, Erdbebenschäden, Erdbebensicherheit, Kontinuitätsmanagement, Krisenmanagement, Notfallplanung, Notfallstrategie, Überprüfung, Vorsorgeplanung.

La Confédération souhaite réduire le risque sismique pour les infrastructures. Parallèlement aux mesures préventives, les plans de prévention et d'urgence visant à diminuer les conséquences des séismes jouent ici un rôle essentiel. Cette publication montre de quelle manière les exploitants d'infrastructures peuvent vérifier la prise en compte des séismes dans leurs plans de prévention et d'urgence. Dans cette optique, elle présente les informations nécessaires en matière de séismes et de sécurité sismique pour les infrastructures.

Mots-clés:

séisme, dommages sismiques, sécurité sismique, continuité d'activité, gestion de crise, plan d'urgence, stratégie de crise, vérification, plan de prévention.

La Confederazione vuole ridurre in generale il rischio sismico delle infrastrutture. Per ridurre al minimo gli effetti dei terremoti, oltre alle misure preventive hanno un ruolo centrale i piani di prevenzione e di emergenza. La presente pubblicazione mostra come i gestori di infrastrutture possono rivedere i loro piani di prevenzione e di emergenza per quanto riguarda i terremoti. A tal fine, sono illustrate le basi e le informazioni necessarie sul fenomeno dei terremoti e sulla sicurezza sismica delle infrastrutture.

Parole chiave:

terremoti, danni sismici, sicurezza sismica, gestione della continuità, gestione delle crisi, pianificazione delle emergenze, strategia di emergenza, esame, pianificazione preventiva.

Vorwort

Im Rahmen seiner Strategie im Umgang mit Naturgefahren beabsichtigt der Bund, das Erdbebenrisiko unter anderem auch bei den Infrastrukturen in seinem Zuständigkeitsbereich zu reduzieren. Dabei liegt der Fokus auf der systematischen Einhaltung der gültigen Baunormen und weiterer Richtlinien für Bauten und Anlagen, die dem Bund zur Genehmigung unterbreitet werden. Die systematische Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik beim Erstellen und Unterhalten von Infrastrukturen führt jedoch nur mittel- bis langfristig zu einer deutlichen Reduktion des Schadenpotentials. Zudem können die Erdbebenerschütterungen in der Nähe vom Epizentrum von starken Ereignissen die Normenwerte markant überschreiten. Somit muss bei solchen Ereignissen trotz der Umsetzung von präventiven Massnahmen mit Schäden gerechnet werden.

Infrastrukturbetreiber verfügen in der Regel über ein Notfall- und Kontinuitätsmanagement um Folgeschäden und Betriebsunterbrüche räumlich und zeitlich zu minimieren. Die Besonderheiten von Grossereignissen wie Erdbeben werden jedoch bei der Erarbeitung der entsprechenden Vorsorge- und Notfallplanungen selten spezifisch abgehandelt. Bei Erdbebenereignissen spielen Aspekte wie die Grösse des Schadensgebietes und somit die Verletzbarkeit von komplexen Netzsystemen eine zentrale Rolle und sind bei den vorhandenen generischen Planungen sachgerecht zu berücksichtigen.

Die vorliegende Publikation zeigt Infrastrukturbetreibern allgemein die wichtigsten Überlegungen auf, die zur pragmatischen Berücksichtigung der Besonderheiten des Ereignisses Erdbeben bei der Aktualisierung von bestehenden Vorsorge- und Notfallplanungen nötig sind. Dazu werden die relevanten Aspekte zum Phänomen Erdbeben und dessen Charakteristik vermittelt, damit die Betreiber die Auswirkungen von Erdbeben auf ihren Betrieb und auf ihr Kontinuitätsmanagement beurteilen können. Ich bedanke mich bei allen die bei der Erarbeitung dieser Grundlagen mitgewirkt haben und bin sicher, dass diese in der Praxis eine Lücke schliessen können.

Paul Steffen
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Erdbeben treten plötzlich und ohne Vorwarnung auf. Es gibt keine Möglichkeit der Vorhersage. Die Vorwarnzeit in der Schweiz beträgt im besten Fall 10 Sekunden. Entsprechend lässt sich das Risiko infolge Erdbeben primär durch vorbeugende Massnahmen reduzieren.

Die vorliegende Publikation hat das Ziel, Infrastrukturbetreiber bei der Beurteilung und Berücksichtigung von Erdbeben in ihrem Kontinuitätsmanagement oder in ihrem Notfall- und Krisenmanagement zu unterstützen. Hierfür wird einerseits ein Überblick über die Auswirkungen von Erdbeben vermittelt und andererseits wird eine Hilfestellung gegeben, wie die Vorsorge- und Notfallplanungen hinsichtlich der Berücksichtigung von Erdbeben überprüft werden können.

1.2 Adressaten

Die Publikation richtet sich an die Leitung von Infrastrukturbetreibern und an die Verantwortlichen, welche für das Kontinuitätsmanagement sowie für das Notfall- und Krisenmanagement des Betriebs zuständig sind.

2 Auswirkungen von Erdbeben

Ein Erdbeben verursacht während wenigen bis dutzenden Sekunden rasche Bodenerschütterungen in alle Richtungen, wobei die horizontalen Bewegungen üblicherweise überwiegen. Je nach Magnitude und Entfernung des Erdbebens bewegt sich die Erdoberfläche in der Grössenordnung von Millimetern bis einigen Dezimetern. Dabei werden Tragwerke und weitere Elemente von Gebäuden und Infrastrukturen in Schwingung gebracht und somit gefährdet. Je nach Stärke der Erschütterungen und Art der Bauweise ergeben sich mehr oder weniger schwere Schäden bis hin zum Einsturz. Mobiliar, Installationen und Einrichtungen können sich verschieben, umfallen oder abreißen.

Neben den direkten Folgen der Erschütterungen auf Bauten und Anlagen, können Erdbeben naturbedingte, technische oder gesellschaftliche Folgen haben. Eine Zusammenstellung dieser Folgen und der Folgeereignisse findet sich u.a. im Gefährdungsdossier Erdbeben, welches im Rahmen der Nationalen Gefährdungsanalyse erarbeitet wurde (BABS 2015b). Die relevantesten Folgeereignisse sind:

- Brände oder Explosionen ausgelöst beispielsweise durch freigesetzte Gefahrstoffe wie Gas oder durch defekte Stromleitungen, Heizungen,
- Fels- oder Bergstürze, Hangrutschungen oder Lawinen,
- Setzungen und Verschiebungen durch Bodenverflüssigung,
- Überschwemmungen ausgelöst durch Bodenverflüssigung oder Überschwappen von Wasser in Seen z.B. durch Felsstürze oder Versagen von Stauanlagen,
- lokale Bodenverschiebungen, wenn die Verwerfung die Oberfläche erreicht.

Die Auswirkungen von Erdbeben weisen insbesondere folgende Besonderheiten auf:

- Das durch Erdbeben betroffene Gebiet ist in der Regel gross und kann eine Ausdehnung von mehreren 10 Kilometern aufweisen. Entsprechend können mehrere Infrastrukturen eines Betreibers gleichzeitig betroffen sein.

- Durch die Schäden an der Infrastruktur fallen die zugehörigen Leistungen weg oder werden reduziert. Folgen sind beispielsweise Ausfälle der Energieversorgung, der Telekommunikation oder der Verkehrsträger. Zudem muss auch mit dem Ausfall von Personal gerechnet werden. Diese Folgen treten in der Regel gleichzeitig auf und erschweren einen Notbetrieb oder die Umsetzung der Notfallmassnahmen zusätzlich.
- Da Betreiber vieler Infrastrukturen gleichzeitig betroffen sind, wird auf ähnliche Ressourcen (Personal, Mittel, Transportmittel) für eine Überbrückung des Betriebs zurückgegriffen. Dies kann zu einer Ressourcenknappheit führen.

Im Anhang A findet sich eine Auflistung von typischen Schäden an Infrastrukturen sowie deren wesentlichen Folgen bei Erdbeben. Weiter sind zur Illustration Schäden an Infrastrukturen von drei konkreten Erdbeben zusammengestellt.

3 Überprüfung der Planungen hinsichtlich Erdbeben

Die Überprüfung der Planungen hinsichtlich der Auswirkungen von Erdbeben orientiert sich am typischen Aufbau eines Kontinuitätsmanagements oder eines Notfall- und Krisenmanagements. Die wesentlichen Elemente sind:

Kritische Prozesse und Tätigkeiten	Die Kerndienstleistungen sowie die dazugehörigen kritischen Prozesse und Tätigkeiten bilden zusammen mit den notwendigen Ressourcen und Infrastrukturen die Basis des Kontinuitätsmanagements. Betreiber von kritischen Infrastrukturen haben bei der Festlegung dieser Elemente zudem die Auswirkungen von Ausfällen auf den Bevölkerungsschutz zu berücksichtigen (BABS 2015a), (BABS 2018b).
Risikoanalyse	Mit einer Risikoanalyse werden die relevanten Risiken identifiziert, welche die Kerndienstleistungen sowie die kritischen Prozesse beeinträchtigen. Für die Beurteilung der Relevanz von Erdbeben können die Angaben im Anhang B verwendet werden.
Notfallstrategien	Notfallstrategien legen fest, wie der Betrieb bei Ausfällen kritischer Prozesse aufrechterhalten werden soll.
Vorsorge- und Notfallplanungen	Die Vorsorge- und Notfallplanungen setzen die definierten Notfallstrategien um.

Zu den Elementen «Notfallstrategien» (Kapitel 3.1) und «Vorsorge- und Notfallplanungen» (Kapitel 3.2) werden nachfolgend die wesentlichen Auswirkungen von Erdbeben sowie Vorkehrungen zu deren Verminderung aufgezeigt. In den Anhängen A bis C finden sich für das Verständnis wichtige Grundlagen:

- Anhang A: Typische Schäden an Infrastrukturen infolge Erdbeben
- Anhang B: Stärke und Häufigkeit von Erdbeben
- Anhang C: Grundlagen zur Erdbebensicherheit von Infrastrukturen in der Schweiz

3.1 Auswirkungen von Erdbeben auf die Notfallstrategien

Notfallstrategie Standort Infrastruktur, Erdbebensicherung und Schutz vor Folgeereignissen	
Problematisik	Schadenraum: • Durch Erdbeben sind in der Regel grössere Gebiete betroffen. Somit können sich für die Betreiber Schäden an mehreren Standorten ergeben. Signifikante Schäden an Tragwerken oder an sekundären Bauteilen, Installationen und Einrichtungen: • Bauwerke, welche für die Aufrechterhaltung des Betriebs zentral sind, stehen nicht mehr zur Verfügung (eingestürzt, einsturzgefährdet). • Personen, die sich während des Erdbebens in Gebäuden aufhalten, werden durch herunterfallende Bauteile eingeschlossen, verletzt oder getötet. Folgeereignisse: • Durch Erdbeben ausgelöste Naturereignisse wie Hochwasser, Erdrutsche, Stein-/Felschlag etc. beschädigen Gebäude, Anlagen oder blockieren Zufahrten. • Freisetzungen von Gefahrstoffen und daraus entstehende Brände oder Explosionen infolge beschädigter Anlagen.
Vorkehrungen	Prüfen der Erdbebensicherheit der Infrastruktur sowie des Gefahrenpotenzials durch Folgeereignisse aus Naturgefahren an den relevanten Standorten und je nach Notfallstrategie (vgl. Anhänge B, C2 und C3): • Erdbebensicherung der Infrastruktur, welche für die Aufrechterhaltung der kritischen Prozesse notwendig ist sowie Vorsehen von Redundanzen, welche auch im Erdbebenfall funktionieren (Vermeidung von Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache), • Verlagerung relevanter Infrastrukturen (z.B. Zentralen, Produktionsstätten, Lager) an dezentrale Standorte, • Festlegung alternativer Standorte oder Betriebe, welche für eine Produktionsüberbrückung genutzt werden können. Die Prüfung ist vorzugsweise auf der Basis der Resultate einer umfassenden Risikoanalyse gemäss Leitfaden Schutz kritischer Infrastrukturen durchzuführen (BABS 2015a). Vorgehen zur Erdbebensicherung: • Überprüfung der Verletzbarkeit der Bauwerke auf der Basis der lokalen Erdbebengefährdung resp. Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA 269/8, • Verbesserung der Widerstandsfähigkeit der Bauwerke gegenüber Erdbeben je nach Resultat der Überprüfung und der definierten Anforderungen an den Notbetrieb. Vorgehen zur Anlagensicherung vor Folgeereignissen: • Objektschutz: Überprüfung der Gefährdung anhand der Naturgefahrenkarten, Evaluierung und Umsetzung von adäquaten Massnahmen, falls Gefahrenzonen tangiert werden, • Anlagensicherung, Brand- und Explosionsschutz Gebäude: Überprüfung der Sicherheitskonzepte und -massnahmen bzgl. Minimierung von Folgeereignissen.
Notfallstrategie Erdbebensichere Netze und komplexe Systeme	
Problematisik	Bei komplexen Systemen lassen sich die Konsequenzen von Erdbeben nicht einfach durch die Beurteilung der einzelnen Elemente bestimmen.
Vorkehrungen	Für eine grobe Übersicht können bereits bestehende Verletzbarkeitsstudien als Grundlage beigezogen werden (siehe Anhang C3). Zur detaillierten Bestimmung der Konsequenzen eines Erdbebens für Systeme wurden weltweit verschiedene Modelle erarbeitet. Im Rahmen des EU-Projektes STREST (www.strest-eu.org) wurde ein Modell entwickelt, um mögliche Konsequenzen von Katastrophen, inkl. Erdbeben, für nicht-nukleare Infrastrukturen zu bestimmen. Ähnliche Modelle sind in der Software HAZUS der amerikanischen Federal Emergency Management Agency FEMA integriert oder sind in Entwicklung, wie die Software Openquake von GEM. Vorgehen: • Analyse von relevanten Szenarien mit einem der vorgeschlagenen Modelle und Abgleich mit den im Kontinuitätsmanagement definierten Notfallstrategien, • Beurteilung der sich ergebenden kritischen Elemente und bei Bedarf Anpassung der Notfallstrategie und der zugehörigen Vorsorge- und Notfallplanungen.

3.2 Implikationen von Erdbeben auf die Vorsorge- und Notfallplanungen

Vorsorgeplanung Überbrückungsmassnahmen	
Problematic	Durch Erdbeben sind aufgrund des grossen Schadengebiets in der Regel viele Infrastrukturbetreiber gleichzeitig betroffen. Da gleichzeitig alle auf ähnliche Ressourcen zur Überbrückung zurückgreifen, kann sich eine Ressourcenknappheit ergeben (Personal, Mittel, Verkehrswege).
Vorkehrungen	Prüfen der Überbrückungsmassnahmen bzgl. folgender Punkte: • Für einen Notbetrieb von Anlagen mittels Batterie, Dieselgeneratoren etc. sind die notwendigen Reserven resp. die Beschaffung des Nachschubs einzuplanen. • Zur Überbrückung von Personal- und Mittelengpässen können andere Infrastrukturbetreiber zur Unterstützung mit Personal oder Mitteln herangezogen werden (vertragliche Regelungen für die gegenseitige Unterstützung im Notfall mit Betreibern, welche nicht gleichzeitig durch das gleiche Erdbeben betroffen werden können). • Die sichere Einstellung des Betriebs ist als Option zu planen.
Vorsorgeplanung Sicherstellen der Wirksamkeit der Planungen durch erdbebensichere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen	
Problematic	Tragwerk mit begrenzten Schäden, weitgehend nutzbar. Schäden an den sekundären Bauteilen, Installationen und Einrichtungen (z.B. Umstürzen von Anlagen, Mobiliar, Wänden; Herunterfallen von Anlagenteilen, Decken und Gegenständen) und daraus sich ergebende Personenschäden oder Beeinträchtigungen der Infrastrukturfunktion. Die Nutzung von Anlagen oder Gebäudeteilen ist aufgrund dieser Schäden nur bedingt oder nicht möglich und die Infrastrukturfunktion somit beeinträchtigt.
Vorkehrungen	Erdbebensicherung der sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen (Räumlichkeiten wie Zentralen, Betriebsanlagen), welche für die Aufrechterhaltung der kritischen Prozesse notwendig sind (vgl. Anhang C4). Vorgehen: • Überprüfung der Erdbebensicherheit der sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen auf der Grundlage der Publikation vom BAUF (BAUF 2016b), • Umsetzung der notwendigen Sicherungsmassnahmen zur Reduktion der Verletzbarkeit der sekundären Bauteile.
Notfallplanung Verhalten bei einem Erdbeben	
Problematic	Personen kennen die Gefährdung durch herunterfallende Bauteile, Gegenstände oder durch umstürzende Regale oder Schränke nicht. Es ergeben sich durch Fehlverhalten Personenschäden. Ausbruch von Panik. Personen kennen die notwendigen betrieblichen Sofortmassnahmen nicht. Dies führt zu Schäden infolge unterlassener Steuerungen oder falscher Reaktionen.
Vorkehrungen	Erstellen von Notfallanweisungen für Erdbeben mit folgenden Inhalten (Beispiel siehe (SED 2016)): • Verhalten während eines Erdbebens: Eigenschutz (z.B. in Gebäude in Deckung gehen), • Verhalten nach dem Erdbeben: Eigenschutz (Aufsuchen sicherer Bereiche wie Besammlung auf dem Sammelplatz; Handeln gemäss Anweisungen unter Berücksichtigung der offiziellen Meldungen); Umsetzen der betrieblichen Sofortmassnahmen durch die definierten Personen (z.B. Herunterfahren oder Ausschalten von Anlagen, Kontrollen an den Sicherungssystemen). Hinweise zu den Notfallanweisungen: • Sammelplatz muss eine «erdbebentaugliche» Lage haben (z.B. nicht durch den Einsturz von Gebäuden gefährdet sein), • Teil des Personals möglicherweise nicht mehr einsatztauglich (tot, verletzt, eingeschlossen, Schock, Angst um Angehörige).

Notfallplanung Beurteilung der Schadenlage nach einem Erdbeben	
Problematik	Erschwerte Beurteilung der vorhandenen Schadenlage aufgrund des grossen Schadenraums bei potenzieller Personen- oder Umweltgefährdung, bei Ausfall der Überwachungsanlagen oder bei eingeschränkter Nutzungsmöglichkeit der Verkehrswege. Keine oder eingeschränkte Erkennung von Störungen oder Ausfällen durch Schäden direkt an den Anlagen oder an den Kommunikationsnetzwerken.
Vorgehungen	Prüfen der Anweisungen zur Lagebeurteilung bzgl. folgender Punkte: • Schadenerhebung: Festlegung der Prioritäten (zeitlich, örtlich) der vorzunehmenden Beurteilungen an der Infrastruktur und an den Systemen (Anlagen, Netze) anhand der Kritikalität der Prozesse oder der Grösse der potenziellen Personen- und Umweltgefährdung, • Rekrutierung von Fachpersonal, welches vor Ort eine Lagebeurteilung durchführen kann, • Vorsehen von notwendigen Transportmitteln, Material oder Kommunikationsmitteln, • Gewährleistung des Zugriffs auf die Dokumentation der Infrastruktur und der Systeme (Anlagen, Netze) auch bei Systemausfall (z.B. Bereithalten der Dokumentation in Papierform), • Gewährleistung der Kommunikation zur Einsatzleitung des Ereignisdienstes zwecks Information über die Lage und Abgleich der einzuleitenden Massnahmen.
Notfallplanung Beurteilung Gebäude nach einem Erdbeben	
Problematik	Tragwerk: • Gebäude, Bauten oder Anlagen weisen Risse an Tragkonstruktion, Aussenwänden, Innenwänden oder Decken auf. • Unsicherheit, ob Nutzung ohne Gefährdung möglich. Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen: • Herunterfallen von abgehängten Decken, Umfallen von Schränken, Behältern, Batterien etc. • Nutzung erst nach Räumung, Sicherung oder provisorischer Instandsetzung möglich.
Vorgehungen	Vor einer weiteren Nutzung der Infrastrukturen sind diese durch Fachleute beurteilen zu lassen. Die betroffenen Infrastrukturen bleiben gesperrt (Systeme ausser Betrieb), bis die Beurteilung stattgefunden hat. Für Wohngebäude kann eine Beurteilung nach dem Handbuch zur Gebäudebeurteilung nach Erdbeben (BABS 2010) durchgeführt werden. Vor einem Wiederbezug und einer Wiederinbetriebnahme der Systeme, d.h. vor der Nutzung der Infrastruktur sind auch sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen auf Schäden zu prüfen und allenfalls wegräumen oder zu stabilisieren. Für die Beurteilung der Infrastruktur sind folgende Elemente notwendig (siehe auch Hinweise): • Eventualplanung mit Vorgehen zur Prüfung der Gebäude und Anlagen, • Kontaktadressen der Fachleute, welche eine Gebäudeprüfung durchführen können, oder alternativ Kontaktadressen von Behörden oder Organisationen, welche Fachleute vermitteln können, • Dokumentation des Bauwerks (z.B. Nutzungsvereinbarung, Tragwerkpläne, statische Systeme, Materialisierung). Für Betriebe sind neben dem Tragwerk auch Informationen über die technischen Anlagen inkl. Leitungen, Behälter etc. wichtig. Hinweise: • Durch Fachleute kann auch ein Vorgehen definiert werden, welches eine Eigenbeurteilung der Schadensvermutung von Gebäuden nach einem Erdbeben ermöglicht. Auf der Basis von vertieften Analysen können beispielsweise Grenzwerte definiert werden, ab welchen Beurteilungen von Gebäuden oder ab welchen Kontrollen an den sekundären Bauteilen vorzunehmen sind. • Das Vorgehen zur Beurteilung von Infrastrukturen ist idealerweise mit dem Kanton zu koordinieren. Die zu berücksichtigenden organisatorischen Aspekte sind im Leitfaden Gebäudebeurteilung nach Erdbeben (BABS 2018a) dargestellt. Der kantonale Krisenstab legt i.d.R. die Prioritäten für die Beurteilungen fest, da im Erdbebenfall die Ressourcen an Fachleuten ausgeschöpft sein werden.

Notfallplanung Verhinderung von Folgeschäden nach einem Erdbeben	
Problematik	Komplexe Schadenlage: • (Netz-)Schäden an mehreren Orten, • Schäden an der Leit- und Kommunikationstechnik: Ausfall von Fernsteuerungen, erschwerte Steuerung der Systeme, Ausfall von Kommunikationsmitteln, • Unkontrolliertes Ablaufen von Betriebsprozessen durch Leitungsbrüche, Ventilschäden, Ausfall von Kühlaggregaten etc., • Infrastrukturspezifische Gefährdung wie z.B. Ausbreitung von Gefahrstoffen, Streuströme. Beeinträchtigung der geplanten Notfallmassnahmen: • Die für eine Lagesicherung notwendigen Ressourcen (Kommunikationsmittel, Transportmittel, Material, Personal) stehen nicht mehr oder nicht mehr im vollen Umfang zur Verfügung. • Die Verkehrswege sind nur eingeschränkt befahrbar. Entsprechend können Zufahrten zu Infrastrukturen, Anlagen oder Schadenplätzen sowie Transporte von Mitteln eingeschränkt sein. • Erschwerte Kommunikation innerhalb der Notfallorganisation und zu den Blaulichtorganisationen, • Gefährdung des Personals durch freigesetzte Gefahrstoffe.
Vorkehrungen	Prüfen der Notfallpläne zur Lagesicherung bzgl. folgender Punkte: • Interventionssektoren von Systemen (Netze, Anlagen), welche eine rasche Ausserbetriebnahme gewährleisten (Abkapselung), • Vorgehen zur Ausserbetriebnahme von Systemen (Netz- oder Anlagenteile, gesamtes Netz oder gesamte Anlage): Festlegung der Reihenfolge/Prioritäten, Sicherungsmassnahmen (z.B. Schaltungen, Schiebersteuerungen, Unterbindung des Zu- oder Nachflusses von Medien, Ausschalten der Energiezufuhr etc.), Abstimmungen mit anderen Betreibern zur Vermeidung von Rückkoppelungen mit übergeordneten Systemen, • Nutzung der Vorwarnzeit von maximal 10 Sekunden für automatische Steuerungen wie Schieberschliessungen bei Gasleitungen oder Anhalten von Zügen etc. (BAFU 2014), • Festlegung von alternativen Zufahrtswegen und Transportmitteln, • Darstellung der plausiblen Szenarien bei Fehlschlägen der Sicherungsmassnahmen, um potenziellen Schadenumfang abschätzen zu können (Grundlage für die Ereignisbewältigung durch die Notfallorganisation oder die Ereignisdienste), • Sicherung der geschädigten Gebäude und Anlagen sowie des Betriebsgeländes gegen unbefugtes Betreten, • Klärung der Schnittstelle zu den Ereignisdiensten (Verantwortlichkeiten, Unterstützungsmöglichkeiten bei der Bekämpfung von Leckagen sowie bei der Bergung von Personen).

Anhang A Schäden bei Erdbeben

Erdbeben haben je nach Stärke, Standort und betroffenes Umfeld unterschiedliche Auswirkungen. In der Tabelle 1 werden basierend auf Beobachtungen von vergangenen Erdbeben typische Schäden an Infrastrukturen sowie die wesentlichsten Folgen dieser Schäden aufgelistet, die beim Notfallmanagement zu beachten sind. Zur Illustration finden sich in den Tabellen 2 bis 4 Zusammenstellungen von Schäden der Erdbeben von Yountville 2000, von L'Aquila 2009 und von Christchurch 2011.

Generell lässt sich eine grobe Rangierung der Erdbebenverletzbarkeit von Infrastrukturen und somit die Wahrscheinlichkeit von Schäden durch Erdbeben wie folgt festlegen (abnehmende Verletzbarkeit): Gebäude inkl. sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen, Stützmauern, Brücken, im Boden verlegte Leitungsnetze, Tunnels.

Tabelle 1

Typische Schäden infolge Erdbeben an ausgewählten Infrastrukturen sowie die sich daraus ergebenden betrieblichen Folgen, welche auch Einfluss auf das Notfallmanagement haben; Bildbeispiel (Erdbeben, Jahr)

Stromversorgung

Schäden

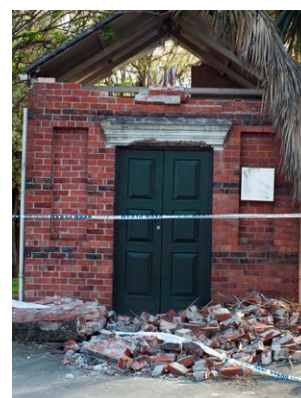
- Einsturz von Unterwerken (v.a. bei Mauerwerksbauten oder Elementbauweise bzw. Vorfabrikation)
- Zerstörung von Transformatoren oder Hochspannungsapparaten (wie z.B. Isolatoren)
- Umfallen von Notstrombatterien oder Steuerschränken
- Schäden an Masten durch Erschütterungen, Setzungen, Bodenverschiebungen oder Steinschläge
- Kabelbruch durch Setzungen, Bodenverschiebungen oder durch Beschädigungen der Leitungsmasten

Folgen

- Ausfall der Stromversorgung
- Alle mit Strom betriebenen Anlagen und die dazugehörigen Prozesse stehen nicht mehr zur Verfügung, sofern die Anlagen nicht mit einer Notstromversorgung gestützt sind.
- Totalausfall der Stromversorgung, falls gleichzeitig die Notstromversorgung ausfällt. Ein Totalausfall ergibt sich auch bei Ende der Batteriekapazität oder des Treibstoffvorrats.
- Personengefährdung in unmittelbarer Nähe beschädigter Leitungen oder Anlagen, die unter Spannung stehen (Streuströme)



Schäden an Notstrombatterien (Chichi, 1999)¹



Schäden an einem nicht ertüchtigten im Vergleich zu einem ertüchtigten Unterwerk (Christchurch, 2011)²

¹ TCLEE

² Mit freundlicher Genehmigung von Orion Networks und New Zealand Lifelines

Erdgasversorgung, Erdölversorgung

Schäden

- Beschädigung von Gas- oder Flüssiggastanks und Gasfreisetzung
- Beschädigung von Verteilanlagen, Druckreduzieranlagen
- Lecks oder Leitungsbrüche durch Erdrutsche oder differentielle Setzungen, Bodenverschiebungen
- Beim Verbraucher: Umkippen, Absturz von Installationen (Boilern, Gasherden etc.)

Folgen

- Ausfall der Erdgasversorgung
- Ausfall der Heizung oder der Warmwassererzeugung
- Ausfall der Energiegewinnung für die Betriebsprozesse, sofern nicht auf andere Energieträger ausgewichen werden kann
- Ausfall aller Transportmittel nach Verbrauch der Treibstoffreserve
- Brand- und Explosionsgefahr durch austretendes Gas im Bereich der Leckagen



Gasleitungsbruch (L'Aquila, 2009)³



Zuleitungsbruch aufgrund Tankhebung ausgelöst durch Flüssigkeitsbewegungen im Tank (Bsp. Wassertank)⁴

³ Esposito et al., 2013, mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature, Copyright 2013

⁴ Mit freundlicher Genehmigung von American Public Works Association APWA

Strassenverkehr, Schienenverkehr

Schäden

- Einsturz von Brücken, Galerien
- Schäden an und in Verkehrsleitzentralen, Betriebszentralen
- Verschüttung der Trassees durch Hangrutsche, Steinschlag oder einstürzende Gebäude
- Beschädigung der Trassees durch Setzungen, Bodenverschiebungen
- Einsturz von Signal- oder Leitungsmasten, Kabelbruch
- Ausfall der zugehörigen Kommunikationsnetzwerke durch Kabelbrüche, Rechnerausfälle
- Schäden an Tunnel, Absturz von Zwischendecken

Folgen

- Keine oder eingeschränkte Befahrbarkeit der Verkehrswege
- Zufahrten zu Infrastrukturen, Anlagen oder Schadenplätzen sind eingeschränkt oder behindert
- Personen- oder Warentransporte sind eingeschränkt oder behindert



Schaden an einem Brückenwiderlager (Chile, 2010)⁵



Steinschlag auf Strasse (Christchurch, 2011)⁶



Eingestürzte Stützmauer (Kobe, 1995)⁷



Schäden an Bahnhofsanlagen (Takatsuki, 2018)⁸

5 Mit freundlicher Genehmigung von Prof Scott Ashford

6 Eidinger und Tang 2012

7 BAFU 1995

8 STR/gettyimages

Telekommunikation, Medien

Schäden

- Einsturz von Sendemasten oder der zugehörigen Trägergebäude
- Einsturz der Telekommunikationszentralen oder Schäden in den Zentralen
- Kabelbrüche durch Erdrutsche, Setzungen, Bodenverschiebungen
- Umkippen von Schaltschränken

Folgen

- Ausfall einzelner Kommunikationsnetze wie Mobilfunknetz, Funknetz, Internet, Radio, Fernsehen, Betriebsnetzwerke
- Ausfall der Kommunikation innerhalb des Betriebs und innerhalb der Notfallorganisation sowie zu den Blaulichtorganisationen
- Ausfall der Überwachung oder der Fernsteuerung von Anlagen



Beschädigtes TV-Gebäude mit Telefonzentrale (Christchurch, 2011) ⁶



Umgestürzte Steuerschränke ⁹

Abwasser, Wasserversorgung

Schäden

- Schäden an Klärbecken, Wassertanks durch Erdrutsche, Setzungen, Bodenverschiebungen
- Leitungsbrüche durch Erdrutsche, Setzungen, Bodenverschiebungen z. B. bei Übergängen zu Brücken oder Gebäuden
- Schäden an Pumpstationen, Pumpleitungsbrüche, Schäden an Schiebern oder an Steuerungseinrichtungen
- Ausfall der Kläranlagen, der Trinkwasseraufbereitungsanlagen

Folgen

- Ausfall der Wasserversorgung
- Kein Trinkwasserbezug via Leitungsnetz möglich
- Einschränkungen oder Ausfall der Anlagen, welche auf einer Wasserkühlung basieren
- Ausfall der Löschwasserversorgung
- Ausfall der Dusch- und Toilettenanlagen
- Verschmutzung von Grundwasser und Oberflächengewässer



Leitungsbruch (Christchurch, 2011)⁶



Provisorische Reparatur eines Wasserleitungsbruchs, Ursache differentielle Setzung einer Brücke (Kaikoura, 2016)¹⁰

Tabelle 2

Schadenüberblick beim Erdbeben von Yountville (Napa), Kalifornien USA im 2000

Aspekt	Beschreibung
Magnitude, Intensität	Mw = 5.0; entspricht einem Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von ca. 10 Jahren in der Schweiz Intensität bis VIII (gemessen: Spitzenbodengeschwindigkeit PGV = 38 cm/s)
Radius der Schäden an Infrastrukturen	Ca. 15 km
Massgebende Phänomene	Erschütterungen
Konsequenzen	• Keine Todesopfer, 41 Verletzte • 50 Mio. \$ Schäden
Stromversorgung	• Keine Schäden • Schutzschalter bei 3 von 7 Stromkreisen ausgelöst. Dies führte zum Stromausfall bei 10'000 Kunden, wovon 15 Kunden nach 24 Stunden noch ohne Strom waren. • Stromstoss im Netz, welcher zu Schäden an der Notradiosendestation (inkl. Notstrom) führte; Reparatur in ca. 24 Stunden
Erdgasversorgung	• Keine signifikanten Schäden • 30 Lecks bei gekippten Boilern
Strassenverkehr	• Keine signifikanten Schäden • Leichte Schäden an 3 Brücken
Telekommunikation, Medien	• Ausser den Schäden an der Notradiosendestation keine weiteren signifikanten Schäden
Wasserversorgung	• 22 Wasserleitungsbrüche

Quelle: Eidinger et al., 2000

Tabelle 3

Schadenüberblick beim Erdbeben von L'Aquila, Italien im 2009

Aspekt	Beschreibung
Magnitude, Intensität	Mw = 6.3; entspricht einem Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von ca. 300 Jahren in der Schweiz Intensität bis VIII (gemessen: Spitzenbodengeschwindigkeit PGV = 35 cm/s)
Radius der Schäden an Infrastrukturen	Ca. 50 km
Massgebende Phänomene	Erschütterungen, Erdrutsche, Steinschläge
Konsequenzen	• 308 Todesopfer, 1500 Verletzte • 2.5 Mia. \$ Schäden
Stromversorgung	• Schäden an 2 Unterwerken jeweils bei den Anschlüssen aufgrund der Verschiebung von nicht befestigten Transformatoren; Folge: Versorgungsunterbruch von 12 Stunden bis 3 Tage, noch 3000 Kunden nach 24 Stunden ohne Strom • Starke Beschädigung des Zentralengebäudes; Verlagerung der Schaltanlage ins Freie neben das Gebäude
Erdgasversorgung	• Zerstörung mehrerer Druckreduzieranlagen infolge Einsturz von Nachbargebäuden • Mehrere Leitungsbrüche, davon ein Bruch einer Mitteldruckleitung auf einer beschädigten Brücke; Gasversorgung wurde abgeschaltet. 176 Reparaturen an im Boden verlegten Komponenten, wobei die Schäden im Stadtzentrum nicht vollständig repariert werden konnten • Zahlreiche Lecks bei Boilern
Strassenverkehr	• Mehrere gesperrte Strassen aufgrund von Bodenverschiebungen, Steinschlägen und Erdrutschen in den Berggebieten resp. Trümmern und einsturzgefährdeten Gebäuden im Stadtgebiet • Mehrere Verschiebungen der Widerlager von Strassenbrücken, 2 Einstürze • Autobahnen für wenige Tage für Inspektionen/Kontrollen gesperrt • Keine Schäden an Tunnels • Generell aufgrund Schäden Einschränkungen der Ereignisbewältigung
Schienenverkehr	• Bahninfrastruktur nicht beschädigt • Funktionsfähig/Inbetriebnahme nach 3 Tagen
Telekommunikation, Medien	• Kurze Unterbrüche durch Stromunterbruch durch Einsatz von Notstromaggregaten überbrückt
Wasserversorgung	• 1 Hauptwasserleitungsbruch infolge Bodenverschiebung durch die Verwerfung, mehrere Leitungsbrüche am Verteilsystem • Unterbruch der Versorgung während ca. 18 Stunden
Abwasser	• Schäden an den 2 Kläranlagen infolge Teileinsturz von Mauerwerkswänden, Leitungsabbrüche etc.; Kapazitätsreduktion auf 60 % bei gleichzeitiger kleinerer Abwasserzuleitungsmenge • 1 Kläranlage während 3 Tagen ohne Strom

Quelle: Kongar, 2017; Esposito et al., 2013; Grimaz und Maiolo, 2010

Tabelle 4

Schadenüberblick beim Erdbeben von Christchurch Neuseeland im 2011

Aspekt	Beschreibung
Magnitude, Intensität	Mw = 6.2; entspricht einem Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von ca. 300 Jahren in der Schweiz Intensität bis IX (gemessen: Spitzenbodengeschwindigkeit PGV = 60 cm/s Spitzenbodenbeschleunigung PGA= 9 m/s ²)
Radius der Schäden an Infrastrukturen	Ca. 200 km
Massgebende Phänomene	• Grossteil der Schäden durch Bodenverflüssigung und Überschwemmung • Erschütterungen hatten nur einen moderaten Einfluss auf die Schäden an den Infrastrukturen
Konsequenzen	• 185 Todesopfer, 1500 Verletzte • 15 Mia. \$ Schäden
Stromversorgung	• Schäden an Komponenten bei einer von fünf Trafostationen (220-66 kV) durch Erschütterungen • Erhebliche Schäden an 4 von 300 Trafostationen (zwei durch Bodenverflüssigung, eine durch Steinschlag und eine durch Erschütterungen); Hinweis: Viele Trafostationen waren bereits erdbebenertüchtigt. Eine temporäre Trafostation wurde erstellt. • Geringe Schäden an Freileitungsmasten • Mehr als 1000 Ausfälle von unterirdischen 66 kV und 11 kV Kabel durch Bodenverflüssigung • Beide Headquarter-Gebäude einer Stromgesellschaft nicht mehr nutzbar • Unterbruch der Stromversorgung von 80 % des Versorgungsgebiets, nach 24 Stunden noch 40 %, nach 4 Tagen noch 20 % und nach 2 Wochen noch 2 % betroffen
Erdgasversorgung	• Kleines Leck bei einer Gasverteilanlage; Ausfall dieser Verteilanlage infolge Unterbruch in der Wasserversorgung; Gasversorgung durch Redundanz gewährleistet • 1 Pipeline durch Steinschlag beschädigt (kein Leck)
Erdölversorgung	• Keine Schäden an Tanks für flüssige Treibstoffe • 1 Pipeline durch Steinschlag beschädigt (kein Leck) • Schäden an Dächern von Tankstellen infolge Bodenverflüssigung
Strassenverkehr	• Viele Schäden an Strassen insbesondere durch Bodenverschiebungen; zahlreiche Strassen gesperrt • 60 von 800 Brücken mit Schäden jedoch ohne Einsturz • 1 Autobahntunnel durch Steinschlag beschädigt; während 4 Tagen gesperrt • Zahlreiche Verkehrsmanagementmassnahmen getroffen, problematische Staus während mehrerer Monate
Schienenverkehr	• 1 wichtige Serviceanlage nicht mehr nutzbar; 3 Lokomotiven während mehrerer Monate im Gebäude eingesperrt • 6 schwer beschädigte Brücken und geknickte Gleise durch Verwerfungen und Bodenverflüssigung • Netz nach einer Woche wieder funktionsfähig; befahrbar mit Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h • Dauer der Reparatur mehrere Monate • 1 Tunnel beschädigt
Flugverkehr	• Keine Schäden am Flughafen
Schiffsverkehr	• Sehr hohe Schäden am Hafen durch Erdrutsch und Versagen der Dämme

Aspekt	Beschreibung
Telekommunikation, Medien	• Anlagen im Stadtzentrum nicht mehr nutzbar; Organisation des Netzwerks geändert, Krisenmanagement ausserhalb des Stadtzentrums verlegt • Schäden an einigen Gebäuden; aufgrund spezieller Vereinbarungen mit Ingenieuren erfolgte eine rasche Beurteilung der Gebäude • Mehrere Mobilnetzstandorte zerstört (Sendemasten und/oder Trägergebäude); Reparatur und Einsatz von mobilen Antennen • Moderate Schäden an unterirdischen Kabeln, Schränken und Schächten durch Bodenverflüssigung, keine Schäden an Freileitungen; Reparatur innert 6 Wochen • Ungenügende Notstromversorgung; Einsatz von mobilen Generatoren mit grossem Bedarf an Treibstoff • Unterschiedlich lange Dauer der Unterbrüche
Wasserversorgung	• Grösseres Wasserreservoir der Stadt durch Bodenverschiebungen zerstört, ein Wassertank durch Steinschläge und Hangrutsch beschädigt (Leck) • 20 von 160 Brunnen beschädigt; temporäre Unterbrechung der Wasserversorgung (alle Brunnen ausgeschaltet), Überschwemmungen • Zahlreiche Schäden an Leitungen (Leaks) wegen Bodenverflüssigung; 3000 reparierte Wasserleitungen innert 6 Wochen • 50 % der Stadt ohne Wasser während einiger Tage, 3 % mehr als 1 Woche; Notwasserversorgung mittels Zisternenwagen, Inbetriebnahme von 2 Meerwasserentsalzungsanlagen und Notwasseraufbereitungsstationen • Umsetzen von Wassersparmassnahmen; Pflicht während 6 Wochen das Wasser zu kochen
Abwasser	• Grosse Schäden an der Abwasserreinigungsanlage durch Eintrag von Sedimenten via Leck und Schäden an Nachklärbecken durch Bodenverflüssigung • Schäden an 100 Pumpstationen • Grosse Schäden an unterirdischen Anlagen (Leitungen, Schächten ...) durch Bodenverflüssigung • Temporäre Kläranlage installiert (chemische Toilette), Abfluss von ca. 2/3 der gesamten Abwassermenge ohne Klärung ins Meer, normale Abwasserreinigung erst nach 5 Monaten möglich

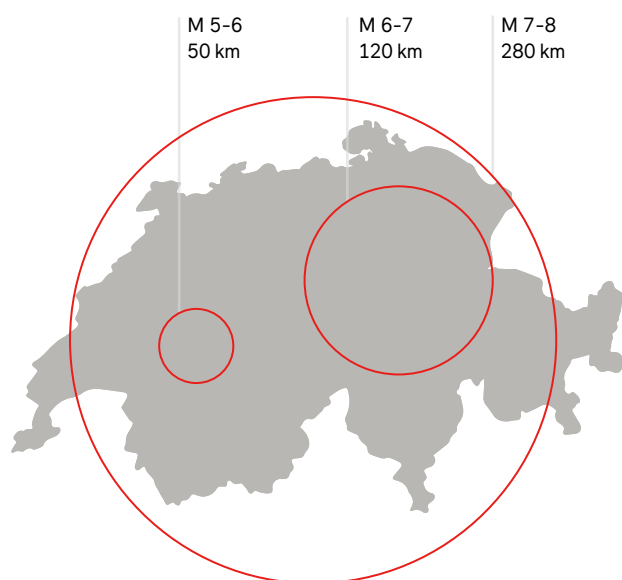
Quelle: Eidinger und Tang, 2012

Anhang B Stärke und Häufigkeit von Erdbeben

Die Stärke von Erdbeben wird mit der Magnitude als Mass für die freigesetzte Energie ausgedrückt. Erdbeben mit hoher Magnitude verursachen stärkere Erschütterungen und breiten sich über grössere Gebiete aus (Abbildung 1).

Abbildung 1

Beispiel Zusammenhang Magnitude M und Durchmesser des Schadengebietes



Quelle: Weidmann 2002

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Erdbebens mit einer bestimmten Stärke in der Schweiz wird wie folgt eingeschätzt (SED 2018):

- Erdbeben mit Magnitude 4 alle 1.5 Jahre,
- Erdbeben mit Magnitude 5 alle 10 Jahre,
- Erdbeben mit Magnitude 6 alle 100 Jahre,
- Erdbeben mit Magnitude über 7 alle 1'500 Jahre,
- Erdbeben mit Magnitude über 8 ausgeschlossen.

Die globale Schadenwirkung von Erdbeben lässt sich mit der Intensität gemäss der Europäischen Makroseismischen Skala EMS ableiten. Ab einer Intensität von VII sind Gebäudeschäden, ab einer Intensität von VIII schwere Schäden oder Einstürze von Gebäuden zu erwarten. Diese Skala findet sich in der Abbildung 2. Die dabei dargestellte Verknüpfung der Intensität mit der Magnitude ist nur für die Intensität am Epizentrum gültig, d.h. beispielsweise eine Magnitude von 5 entspricht ungefähr einer Intensität von VII am Epizentrum.

Die Wahrscheinlichkeit von Erschütterungen einer bestimmten Intensität während eines definierten Zeitraums kann mit Hilfe der vom Schweizerischen Erdbebendienst SED publizierten Karten grob abgeschätzt werden (SED 2018). Die Karte der Wahrscheinlichkeiten von Erschütterungen für die Intensität von VII oder grösser innerhalb von fünfzig Jahren findet sich in der Abbildung 3. Fünfzig Jahre entsprechen in etwa der Lebensdauer eines durchschnittlichen Gebäudes. Im Rhonetal beispielsweise liegt die Wahrscheinlichkeit bei über 50 %, dass sich innerhalb von 50 Jahren Erdbeben mit einer Intensität von VII oder grösser mit entsprechenden Gebäudeschäden ereignen.

Abbildung 2

Europäischen Makroseismischen Skala EMS98

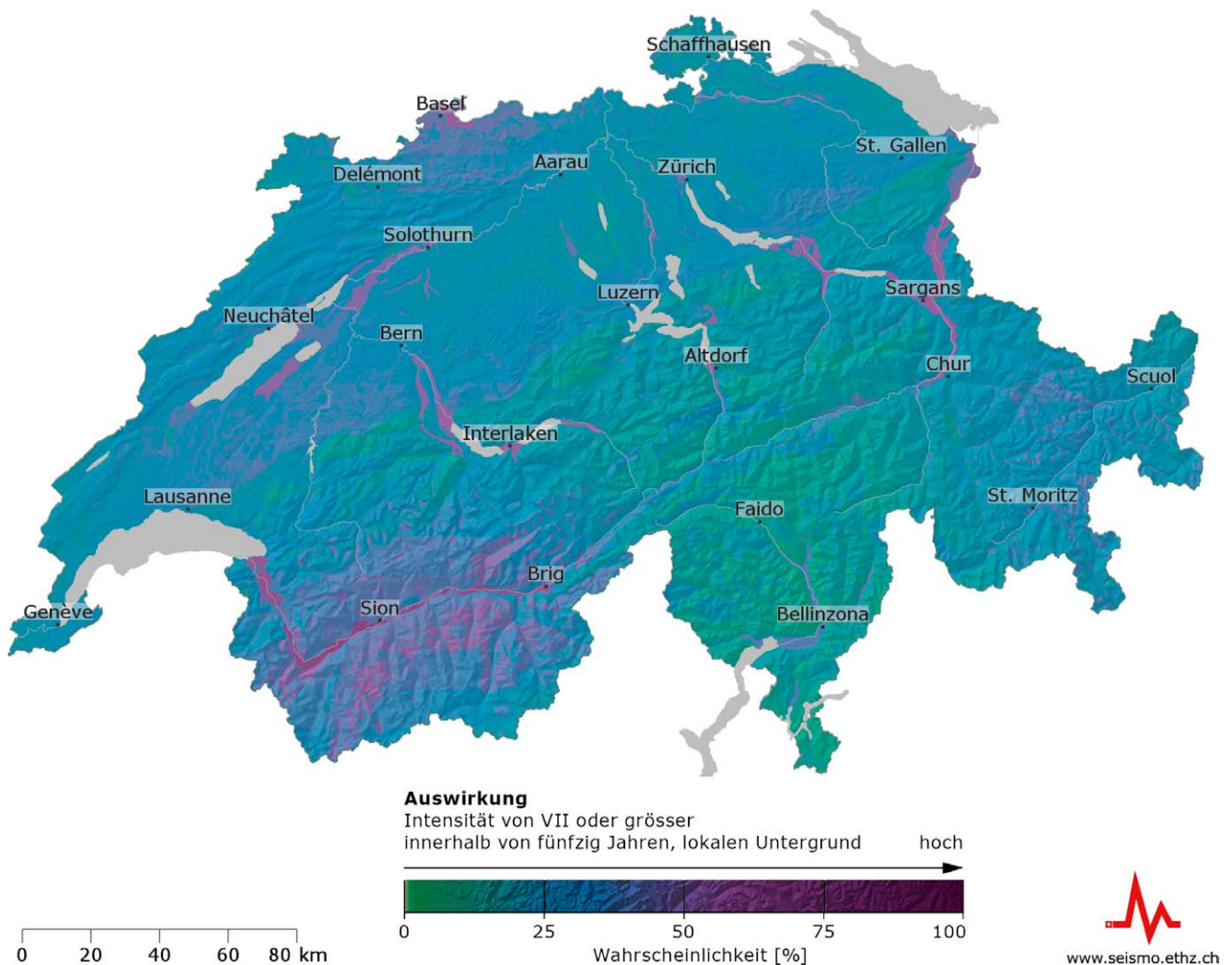
EMS-98 Intensität	Gefühlt	Auswirkungen	Magnitude (Näherungs- werte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Schütteln.		
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von den meisten Personen wahr- genommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.	3	
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahr- genommen. Viele Schlafende erwachen, wenige reagieren verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.	4	
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Risse im Mauerwerk oder Verputz.	5	
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen aus Regalen. An solide gebauten Häusern treten häufig mässige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Verputz, Herabfallen von Ziegeln). Vor allem Gebäude in schlechterem Zustand erleiden grössere Mauerrisse und Zwischenwände stürzen ein.		
VIII	Heftig	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An den meisten Gebäuden mit einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, beispielsweise stürzen Giebelteile und Dachsimse ein.	6	
IX	Sehr heftig	Allgemeine Panik. Sogar gut gebaute Bauten zeigen sehr schwere Schäden und tragende Bauteile stürzen teils ein. Viel schwächere Bauten stürzen ein.		
X+	Extrem	Die meisten Bauwerke, selbst sehr solide gebaute, erleiden schwere Beschädigungen oder stürzen ein.	7	

Quelle: SED 2018

© Schweizerischer Erdbebendienst

Abbildung 3

Karte mit Darstellung der Wahrscheinlichkeit von Erschütterungen auf einem lokalen Untergrund mit einer Intensität von VII oder grösser innerhalb von fünfzig Jahren



Quelle: SED 2018

Der lokale Untergrundtyp beeinflusst die Stärke der Erbe-
ebeneinwirkung. An einem Standort auf Sedimenten ist bei-
spielsweise die Wahrscheinlichkeit von Schäden deutlich
höher als auf Fels. Das Verstärkungspotenzial des Unter-
grunds wird in erster Näherung anhand der seismischen
Baugrundklassen gemäss der Schweizer Baunorm SIA
261 bei der Bestimmung der Erdbebeeinwirkung berück-
sichtigt (BAFU 2016a), (Karten siehe <https://map.geo.admin.ch/?layers=ch.bafu.gefahren-baugrundklassen>).
Detaillierte Aussagen zum Verstärkungspotential der
Erschütterungen durch den lokalen Untergrund können
auf der Basis einer Mikrozonierung gemacht werden.

Anhang C Erdbebensicherheit

C1 Umsetzung der normativen Anforderungen in der Schweiz

Seit der Schweizer SIA-Baunormengeneration von 2003 ist Erdbeben als Einwirkung bei der Projektierung von Neubauten und bei der Beurteilung von bestehenden Bauten umfassend enthalten. Weiter existieren infrastrukturenspezifische Vorgaben u.a. von Fachbehörden oder Fachverbänden (z.B. Elektrische Energieversorgung gemäss ESTI 2015). Davor wurde die Erdbebeneinwirkung in den Normen ungenügend oder gar nicht berücksichtigt. Entsprechend können bestehende Infrastrukturen, welche mit geringeren Anforderungen als heute erstellt wurden oder bei denen die normativen Anforderungen nicht konsequent eingehalten wurden, eine ungenügende Erdbebensicherheit oder eine höhere Verletzbarkeit hinsichtlich Erdbeben aufweisen. Dies betrifft ein Grossteil der Infrastrukturen in der Schweiz (BAFU 2008).

C2 Überprüfung der Erdbebensicherheit von Bauwerken

Die Veranlassung einer Überprüfung der Erdbebensicherheit sowie die Überprüfung von bestehenden Bauten erfolgt gemäss der Schweizer Baunormen SIA 269 bzw. SIA 269/8 und vorzugsweise auf der Basis einer umfassenden Analyse, wie sie im Leitfaden Schutz kritischer Infrastrukturen aufgezeigt wird (BABS 2015a). Die Überprüfung von kritischen Objekten innerhalb eines grösseren Gebäude- oder Brückenportfolios kann zielführend mit Hilfe von mehrstufigen Verfahren erfolgen (BAFU 2019), (ASTRA 2005), (BAFU 2012b). Mit diesen Verfahren werden die seismischen Schwachstellen der Infrastrukturen identifiziert und eine Priorisierung der Infrastrukturen betreffs der Notwendigkeit einer vertieften Überprüfung gemäss SIA 269/8 vorgenommen.

Die Verantwortung für die Erdbebensicherheit der Bauten liegt gemäss Obligationenrecht Artikel 58 «Haftung des Werkeigentümers» beim Eigentümer (baudyn 2010). Für die Umsetzung des notwendigen Erdbebenschutzes sind die Planer und die Bauunternehmer gemäss ihrer vertraglichen Haftung verantwortlich. Der Eigentümer muss dabei insbesondere den Schutzgrad, d.h. die Anforderungen an die Infrastruktur festlegen. Dies wird über die Einteilung der Infrastrukturelemente in eine Bauwerksklasse gemäss der Schweizerischen Baunorm SIA 261 resp. bei bestehenden Bauten zusätzlich gemäss SIA 269/8 vorgenommen. Grundlage für die Festlegung der Bauwerksklasse sind einerseits die Mindestanforderungen der beiden Baunormen und andererseits die Schutzziele gemäss Unternehmensstrategie resp. Kontinuitätsmanagement und die sich daraus ergebenden Anforderungen an den Erdbebenschutz. In der Tabelle 5 sind die Merkmale für die Festlegung der Bauwerksklassen zusammengestellt. Die Bauwerksklassen der SIA gelten nicht für Kernkraftanlagen, Stauanlagen oder für Infrastrukturen im Geltungsbereich der Störfallverordnung StFV mit Risikoermittlungspflicht. Für diese Infrastrukturen gelten spezifische Regelwerke mit Regelungen für die Festlegung der Anforderungen bzgl. Erdbeben.

Tabelle 5

Charakterisierung der Bauwerksklassen (BWK) gemäss SIA 261 bzw. 269/8

BWK	Merkmale, Beispiele
I	Personenbelegung $\leq$ 50 Personen ohne grössere Menschenansammlungen; keine besonderen Güter und Einrichtungen; Schädigung der Bevölkerung oder der Umwelt ausgeschlossen Wohn-, Büro- und Gewerbegebäude, Industrie- und Lagergebäude, Parkgaragen
II	Personenbelegung $>$ 50 Personen oder mit möglichen grösseren Menschenansammlungen; besonders wertvolle Güter und Einrichtungen Grössere Wohnbauten, Bahnhöfe, Stellwerke, Einkaufszentren, Sportstadion, Kinos, Theater, Schulen und Kirchen
BWK II-s	Bestehende Schulen und Kindergärten
BWK II-i	Bedeutende Infrastrukturfunktion bestehender Bauten: Voraussetzung für den raschen Wiederaufbau und die rasche Regeneration; ihre Beeinträchtigung führt zu gravierenden Auswirkungen auf die Gesellschaft, die Wirtschaft und den Staat. Spitäler samt Anlagen und Einrichtungen, sofern sie nicht der Bauwerksklasse BWK III zuzuordnen sind Brücken von erheblicher Bedeutung nach einem Erdbeben sowie Brücken, die über Verkehrswege mit erheblicher Bedeutung nach einem Erdbeben führen Bauwerke sowie Anlagen und Einrichtungen für Versorgung, Entsorgung und Telekommunikation mit erheblicher Bedeutung
III	Lebenswichtige Infrastrukturfunktion: Bei der Ereignisbewältigung und in der unmittelbaren Wiederaufbauphase unverzichtbar. Es gibt kaum Redundanz und kaum Kompensationsmöglichkeiten. Akutspitäler, Feuerwehrstützpunkte, Einsatzzentralen

Für bestehende Bauten sind die Anforderungen an Neubauten zu erfüllen oder mit verhältnismässigen Massnahmen soweit als möglich anzustreben. Minimal sind die Anforderungen gemäss SIA 269/8 bezüglich Sicherheit der Personen sowie bezüglich der erhöhten Schutzgrade der Bauwerksklassen II-i, II-s und III einzuhalten. Bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit sind wiederum auch die Schutzziele gemäss dem Kontinuitätsmanagement zu berücksichtigen.

C3 Verbesserung der Erdbebensicherheit von Bauwerken

Erdbebensicherheitsmassnahmen zielen auf die Verbesserung des Schwingungsverhaltens und der horizontalen Lastabtragung ab (BAFU 2008). Typische Massnahmen für Mauerwerksgebäude sind die Verankerung der Fassaden, der Einbau von steifen Decken, der Einbau von zusätzlichen Betonwänden oder Stahlfachwerken sowie der Ersatz des Fundaments. Für Betongebäude sind typische Massnahmen der Einbau von zusätzlichen aussteifenden Elementen wie Betonwänden oder Stahlfachwerken oder das Schliessen von Dilatationsfugen. Denkbar sind auch die Dämpfung der Einwirkung durch spezielle Systeme oder die seismische Isolierung von Tragstrukturen.

Für unterschiedliche Infrastrukturen inkl. der zugehörigen Netze wurden bereits vertiefte Studien über die Verletzbarkeit gegenüber Erdbeben mit Darstellung von konkreten Verbesserungsvorschlägen erstellt:

- Elektrische Energieverteilung (ESTI 2015)
- Erdgasversorgung (BAFU 2012a)
- Bahninfrastruktur (BAFU 2010)
- Abwassersysteme (BAFU 2012b)

C4 Sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen

Die Beschädigung von sekundären Bauteilen, Installationen und Einrichtungen durch Erdbeben kann erhebliche finanzielle Folgen haben, da der Kostenanteil dieser Elemente an den Gesamtinfrastrukturkosten oft überwiegt (Kostenanteil von 80 % und mehr sind häufig [BAFU 2016b]). Die Erdbebensicherung dieser Elemente ist insbesondere bei Infrastrukturen in der Schweiz mit moderater Erdbebengefährdung wichtig, da diese Elemente zum Teil empfindlicher als Tragwerke reagieren. Entsprechend können sie rasch beschädigt werden, was je nach Bedeutung sicherheits- oder betriebsrelevant sein kann. In den Baunormen werden erdbebengerechte Befestigungen oder Verbindungen von Bauteilen gefordert, falls Personen gefährdet, das Tragwerk beschädigt oder der Betrieb wichtiger Anlagen beeinträchtigt werden (SIA 261). Eine rechnerische Überprüfung der Erdbebensicherheit erfolgt grundsätzlich wie beim Tragwerk gemäss SIA 269/8.

Beschädigte sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen können auch die Umsetzung der Notfallmassnahmen, den Notbetrieb oder den Wiederaufbau stark beeinträchtigen oder verunmöglichen. Somit ist insbesondere für die Notfallplanung die Erdbebensicherheit dieser Elemente zentral.

Typische Beispiele solcher Beeinträchtigungen sind:

- Ausfall der Notstromversorgung durch Beschädigung oder Ausfall einzelner Komponenten wie Umkippen oder Verrutschen von Batterieregalen, Gleich-/Wechselrichter, Schaltanlagen, Generatoren, Treibstofftanks, Abreissen der zugehörigen Leitungen etc.,
- Beeinträchtigung der Nutzung von Einsatz- oder Betriebszentralen sowie generell von Arbeitsplätzen infolge Umkippen oder Verrutschen des Mobiliars und der Geräte, infolge Herunterfallens von untergehängten Decken oder Einknicken von Hohlböden aufgrund des Versagens der Befestigungen oder der Stützkonstruktionen,
- Ausfall der IT-Systeme oder der Steuerungs- und Kommunikationsanlagen infolge Umkippen oder Verrutschen von Rechnern, Racks, Schaltschränken in Technikräumen oder Versagen von Hohlböden, infolge Kabelbrüchen oder infolge Umkippen von Antennen,
- Ausfall der Betriebsanlagen infolge Umkippen oder Verrutschen von einzelnen Anlagen, Tanks, Kabel- und Leitungsbrüche oder infolge Zerstörung aufgrund des Herunterfallens von Gebäudeteilen wie Geländer, Brüstungen, Verkleidungen oder Fassadenelementen auf die Anlagen und die Leitungen,
- Beeinträchtigung der Flucht- und Rettungswege sowie zentraler Verkehrswege in Gebäuden infolge Umkippen des Mobiliars (Schränke, Regale), Herunterfallen von untergehängten Decken oder infolge Schäden an Treppen.

Die Erdbebensicherung sekundärer Bauteile, Installationen und Einrichtungen ist häufig einfach und relativ kostengünstig. Zudem genügt oft eine qualitative Beurteilung der Erdbebenverletzbarkeit. Häufige Massnahmen sind beispielsweise Befestigungen oder Aussteifungen von Bauteilen wie Deckenverkleidungen, Hohlböden, Wände oder Fassaden, die Kippsicherung von Notstrombatterieregalen, Schaltschränken, Anlagen oder flexible Verbindungen von Leitungen etc. Eine umfassende Betrachtung von potenziellen Schäden und Massnahmen zur Erdbebensicherung von sekundären Bauteilen, Installationen und Einrichtungen findet sich in (BAFU 2016b).

Literaturverzeichnis

Abkürzung	Literatur
ASTRA 2005	Wenk T.: Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Strassenbrücken. Bundesamt für Strassen ASTRA, Dokumentation 82003, 2005
BABS 2010	Bundesamt für Bevölkerungsschutz: Handbuch zur Gebäudebeurteilung nach Erdbeben, Freigabe von Wohngebäuden. September 2010
BABS 2015a	Bundesamt für Bevölkerungsschutz: Leitfaden Schutz kritischer Infrastrukturen. 30.03.2015
BABS 2015b	Bundesamt für Bevölkerungsschutz: Nationale Gefährdungsanalyse – Gefährdungsdossier Erdbeben. 30.06.2015
BABS 2018a	Bundesamt für Bevölkerungsschutz: Leitfaden Gebäudebeurteilung nach Erdbeben, Organisatorische Aspekte der Vorbereitung und Durchführung. Mai 2018
BABS 2018b	EBP AG: Leitfaden Schutz kritischer Infrastrukturen, Umsetzungshilfe. 17.07.2018
BAFU 2008	Wenk T.: Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0832. Bundesamt für Umwelt, 2008
BAFU 2010	Kölz E., Kamm S.: Erdbebensicherheit der Bahninfrastruktur – Vorstudie. Bundesamt für Umwelt, 2010
BAFU 2012a	Koller M., Scheiwiller A.: Erdbebensicherheit der Erdgasversorgung. Bundesamt für Umwelt, 2012
BAFU 2012b	Studer J., Weber T.: Erdbeben und Infrastrukturen Abwassersysteme. Bundesamt für Umwelt, 2012
BAFU 2014	Résonance Ingénieurs-Conseils SA: Potentiel de systèmes de monitoring et d'alerte précoce en cas de séisme pour les infrastructures en Suisse. 2014
BAFU 2016a	Mayoraz J., Lacave C., Duvernay B.: Erdbeben: Karten der Baugrundklassen. Erstellung und Verwendung. Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Wissen Nr. 1603, 2016
BAFU 2016b	Braune F., Berweger A., Vogt R., Szczesiak T.: Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen. Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1643, 2016
BAFU 2019	Braune F., Kölz E.: Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände. Stufenweise Priorisierung, Bundesamt für Umwelt, BAUFU, 2019
baudyn 2010	Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen: Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen, 2010
Eidinger et al. 2000	Eidinger J., Yashinsky M., Schiff A.: Napa M5.2 Earthquake of September 3, 2000; Evaluation of Lifeline Performance. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, 2000
Eidinger und Tang 2012	Eidinger J., Tang A.: Christchurch, New Zealand Earthquake Sequence: Mw 7.1 September 04 2010, Mw 6.3 February 22 2011, Mw 6.0 June 13 2011; Lifelines Performance. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, No. 40, 2012
Esposito et al. 2013	Esposito S., Giovinazzi S., Elefante L., Iervolino I.: Performance of the L'Aquila (Central Italy) gas distribution network in the 2009 (Mw 6.3) earthquake. Bulletin of Earthquake Engineering, 11(6), 2447-2466, 2013
ESTI 2015	Koller M., Heunert S.: Erdbebensicherung der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz, Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI, Nr 248 Version 0415d, 2015
Grimaz und Maiolo 2010	Grimaz S., Maiolo A.: The impact of the 6 th April 2009 L'Aquila earthquake (Italy) on the industrial facilities and lifelines. Considerations in terms of NaTech risk. Chemical Engineering Transactions, 19, Seiten 279 – 284, 2010
Kongar 2017	Kongar, I., Esposito, S., Giovinazzi, S.: Post-earthquake assessment and management for infrastructure systems: learning from the Canterbury (New Zealand) and L'Aquila (Italy) earthquakes. Bulletin of Earthquake Engineering, 15(2), 589-620, 2017

Abkürzung	Literatur
SED 2016	Schweizerischer Erdbebendienst SED: Hilfe, die Erde bebt! Was tun im Ereignisfall? 2016
SED 2018	Schweizerischer Erdbebendienst SED: www.seismo.ethz.ch . Zugriff am 01.05.2018
SIA 261	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizer Norm 261, 2014
SIA 269	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken. Schweizer Norm 269, 2011
SIA 269/8	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA: Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben. Schweizer Norm 269/8, 2017
Weidmann 2002	Weidmann M.: Erdbeben in der Schweiz. Verlag Desertina, 2002