Bundesamt für Wasser und Geologie



Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines»

Bericht an den Bundesrat

Zürich, 17. Juni 2004

Inhaltsverzeichnis Seite

Zusammenfassung

1. Einleitung 1
1.1. Verantwortung und Zuständigkeit 1
1.2. Auftrag des Bundesrates 1
1.3. Beteiligte 3
1.4. Vorgehen 3
1.5. Ziel und Zweck des vorliegenden Berichts 4

2. Ermittlung und Schutz von Lifelines 6
2.1. Erdbebenrisiko in der Schweiz 6
2.2. Definition von Lifelines 9
2.3. Inventar der Lifelines 12
2.4. Schutzziele 19
2.5. Objektschutz 22

3. Folgerungen und Handlungsbedarf 31

4. Anträge und Massnahmen des Bundes für den Zeitraum von 2005 bis 2008 33

5. Referenzen 35

Verteiler: Dr. O. Lateltin, Bundesamt für Wasser und Geologie

17.6.2004, B 2922.00-12, AEC, LK

Basler & Hofmann
Ingenieure und Planer AG, Mitglied SIA/USIC

Zürich: Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00

Esslingen: Bachweg 1, CH-8133 Esslingen
Tel. 01 387 15 22, Fax 01 387 15 00

Zusammenfassung

Auf Bundesebene wurde eine Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» gebildet, der Vertreter verschiedener Bundesstellen angehören. Ihr Auftrag lautet, die überlebenswichtigen Lifelines zu identifizieren und Schutzziele zu entwickeln.

Zuständigkeit

Der Schutz vor Erdbeben liegt in der Verantwortung der Kantone. Der Bund verfügt nur in einigen wenigen der relevanten Sachbereiche über Gesetzgebungskompetenz. Es handelt sich dabei um Stauanlagen (Art. 76 BV), öffentliche Werke (Art. 81 BV), Nationalstrassen (Art. 83 BV), Eisenbahnverkehr, Seilbahnen, Schifffahrt sowie Luft- und Raumfahrt (Art. 87 BV), Kernenergie (Art. 90 BV), Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (Art. 91 BV), Post- und Fernmeldewesen (Art. 92 BV) und Radio und Fernsehen (Art. 93 BV). Der Vollständigkeit halber werden aber die von der Arbeitsgruppe erarbeiteten Resultate bezüglich aller Lifelines und ihrer Schutzziele, auch wenn sie nicht im Kompetenzbereich des Bundes liegen, wiedergegeben.

Definition

Als Lifelines gelten Elemente der Infrastruktur und Anlagen, deren Funktion zur Bewältigung eines starken Erdbebens in der Rettungs- und / oder Bewältigungsphase unbedingt erforderlich ist. Lifelines können verschiedenen Kategorien zugeordnet werden:

Lifeline-Kategorien

Allgemeine Funktion	Lifeline-Kategorie
Koordination, Führung, Führungsunterstützung, Einsatz, Versorgung[1]	Führung Gesundheitsversorgung Ordnung und Sicherheit Schutz und allgemeine Schadenwehr Betreuung / Notfallversorgung der Bevölkerung
Verkehr	Strassenverkehr Schienenverkehr Flugverkehr Schiffsverkehr
Versorgung	Elektrizität Trinkwasser Brenn- und Treibstoffe
Entsorgung	Abfall Abwasser
Information	Alarmierung Radio Telekommunikation

Inventar von Lifelines

Die Arbeitsgruppe entwickelte einen Vorschlag zur Erstellung eines Inventars von Lifelines. Aufgrund der vielfältigen Rahmenbedingungen und Wechselwirkungen, die zu berücksichtigen sind, ist das Wissen von Fachleuten vor Ort dabei unverzichtbar. Als Vorgehensweise hat sich daher das Delphi-Verfahren bewährt. Für

[1] Mit Ausnahme von Ereignissen, welche der betroffene Kanton nicht selber oder mit Hilfe anderer Kantone bewältigen kann (Art. 52 BV), liegen diese Lifeline-Kategorien in Bezug auf Gesetzgebung und Vollzug im Kompetenzbereich der Kantone.

dichtbesiedelte Regionen kann der unterstützende Einsatz einer systematischen Netzwerkanalyse hilfreich sein. Die fachliche Belastbarkeit und die Praxistauglichkeit dieser Vorgehensweise wurden anhand eines Pilotprojekts im Kanton Nidwalden erprobt.

Schutzziele

Als angemessenes Schutzziel schlägt die Arbeitsgruppe vor, dass Lifelines – einschliesslich der zu ihnen gehörenden Leitungssysteme und Geräte – ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 200 Jahren ohne Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit und ein solches mit einer Wiederkehrperiode von 1'200 Jahren ohne Beeinträchtigung der Tragsicherheit überstehen müssen. Dies entspricht dem Schutzziel für die rechnerischen Nachweise der Bauwerksklasse III in den SIA-Tragwerksnormen.

Objektschutz

Anlagen bestehen vorwiegend aus Gebäuden und ihren Einrichtungen. Die Beurteilung der Erdbebensicherheit der Anlagen kann sich damit an den in der Schweiz vorhandenen Regelwerken orientieren. Gleiches gilt für Bauwerke eines Infrastruktursystems. Auch für Leitungssysteme sind weltweit Richtlinien vorhanden, auf die man sich stützen kann, aber welche evtl. auf Schweizer Verhältnisse angepasst werden müssen. Für die Netzwerkanalyse ganzer Infrastruktursysteme fehlen entsprechende Richtlinien. Zur Beurteilung der Erdbebensicherheit und zur Abschätzung möglicher Schäden von Infrastruktursystemen kann auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden.

Handlungsbedarf

Aufgrund der Erkenntnisse der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» aus dem Pilotprojekt im Kanton Nidwalden sowie der Erfahrungen aus vergangenen Erdbeben wurde bei den folgenden Lifeline-Kategorien in der Schweiz ein Handlungsbedarf identifiziert:

- Gesundheitsversorgung
- Schutz und allgemeine Schadenabwehr
- Strassenverkehr
- Elektrizitätsversorgung
- Abwasserentsorgung

In diesen Bereichen ist fraglich, ob ein Erdbeben heute bewältigt werden kann. Die Bereiche Gesundheitsversorgung und Schutz und allgemeine Schadenabwehr gehören in Bezug auf Gesetzgebung und Vollzug in den Kompetenzbereich der Kantone. Die Handlungsmöglichkeiten des Bundes in den Bereichen der Elektrizitätsversorgung und der Abwasserentsorgung und der daraus resultierende Handlungsbedarf müssen näher abgeklärt werden.

Die Kommunikation zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden spielt bei der Bewältigung eines Erdbebens eine zentrale Rolle und wird derzeit von der Arbeitsgruppe «Einsatzkonzept für den Fall eines Erdbebens in der Schweiz» vertieft untersucht. Der Handlungsbedarf ist noch offen.

Massnahmen des Bundes

Aufgrund des ermittelten Handlungsbedarfs schlägt die Arbeitsgruppe drei Massnahmen für das Programm des Bundes in den Jahren 2005 bis 2008 vor:

1. Entwicklung eines Instrumentariums für die Bundesbehörden zur Ermittlung der Lifelines und Überprüfung ihrer Erdbebensicherheit sowie von an Schweizer Verhältnisse angepasste Empfehlungen zur erdbebensicheren Ausbildung und Bemessung von Leitungssystemen und Geräten
2. Umsetzung des Instrumentariums auf die Lifelines im Einflussbereich des Bundes:
   - Inventarisierung
   - Empfehlung zur Überprüfung der Erdbebensicherheit für Neubauten im Rahmen des Bewilligungsverfahrens
   - Sanierung bestehender Lifelines unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit
3. Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Bedeutung der Erdbebensicherheit von Lifelines

1. Einleitung

1.1. Verantwortung und Zuständigkeit

Im Bereich der Erdbebenvorsorge verfügt der Bund nur über eingeschränkte Kompetenzen.

Der Schutz vor Naturgefahren ist eine Verbundaufgabe, an der Gemeinden, Kantone und der Bund beteiligt sind. Dabei sind die Kompetenzen des Bundes im Bereich der Vorsorge und des Schutzes vor Naturgefahren begrenzt. Dies gilt insbesondere für das Erdbebenrisiko, für das die Verfassung dem Bund keine Kompetenz zuweist. Um dem Bund mehr Handlungsspielraum zu eröffnen, so dass er seine Führungs- und Koordinationsaufgabe im Bereich der Naturgefahren besser wahrnehmen kann, schlug die Nationalrätliche Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie daher vor, einen neuen Artikel 74a, "Schutz vor Naturgefahren", in die Verfassung aufzunehmen. Die Initiative wurde jedoch verworfen. Der Bund verfügt damit weiterhin nur in einigen wenigen Sachbereichen über Gesetzgebungskompetenz. Es handelt sich dabei um Stauanlagen (Art. 76 BV), öffentliche Werke (Art. 81 BV), Nationalstrassen (Art. 83 BV), Eisenbahnverkehr, Seilbahnen, Schifffahrt sowie Luft- und Raumfahrt (Art. 87 BV), Kernenergie (Art. 90 BV), Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (Art. 91 BV), Post- und Fernmeldewesen (Art. 92 BV) und Radio und Fernsehen (Art. 93 BV). Der Vollständigkeit halber werden aber im Folgenden die von der Arbeitsgruppe erarbeiteten Resultate bezüglich aller Lifelines und ihrer Schutzziele, auch wenn sie nicht im Kompetenzbereich des Bundes liegen, wiedergegeben.

1.2. Auftrag des Bundesrates

Die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» ist Teil eines Massnahmenprogramms des Bundes zur Erdbebenvorsorge. Ihr Auftrag lautet, die überlebenswichtigen Lifelines zu identifizieren und Schutzziele für Lifelines zu entwickeln.

Die Schweiz ist durch schwere, wenn auch seltene Erdbeben gefährdet. Ein solches Ereignis könnte Hunderte Todesopfer und Sachschäden in Milliardenhöhe fordern. Dennoch wurde das auf Erdbeben zurückzuführende Risiko bis vor wenigen Jahren kaum wahrgenommen, Vorsorgemassnahmen wurden nur vereinzelt realisiert. Der Bund hat sich daher zur Aufgabe gesetzt, Massnahmen zur Erdbebenvorsorge zu treffen.

Im Rahmen dieses Massnahmenprogramms (Abbildung 1) wurde die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» gebildet, der Vertreter des Bundesamts für Wasser und Geologie BWG, des Bundesamts für Strassen ASTRA, des Bundesamts für Verkehr BAV, des Bundesamts für Zivilluftfahrt BAZL, des Bundesamts für wirtschaftliche Landesversorgung BWL, des Bundesamts für Bevölkerungsschutz BABS, des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorats ERI, des Führungsstabes

der Armee, Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS und der Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen HSK angehören.

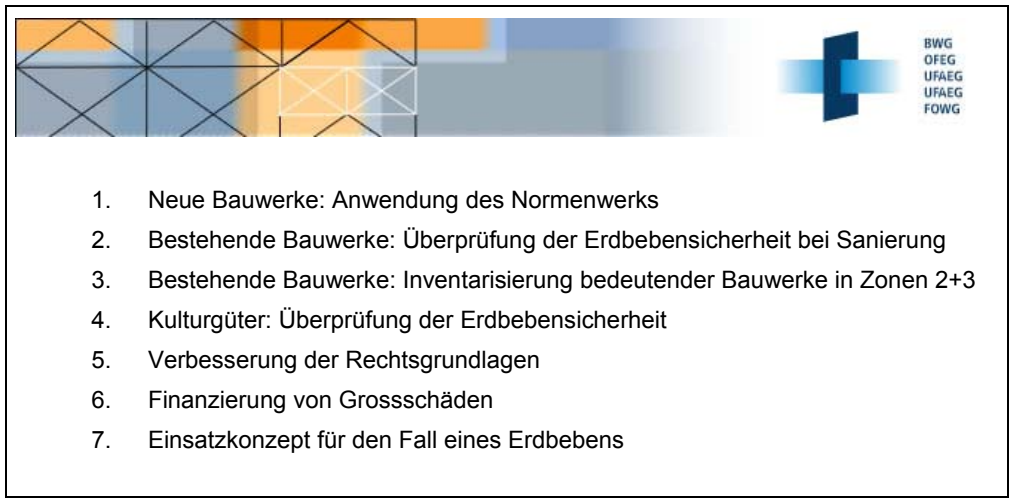


Abbildung 1 *Massnahmenprogramm des Bundes zur Erdbebenvorsorge für den Zeitraum 2001 bis 2004; Bundesratsbeschluss vom 11.12.2000*

Die Arbeitsgruppe erhielt den Auftrag, folgende Fragen zu klären:

- Was ist lebenswichtig?
  Die Arbeitsgruppe entwickelt eine einheitliche Definition des Begriffs "Lifelines", die für alle Bereiche Gültigkeit hat.

- Welche Szenarien müssen wir ohne Unterbruch überstehen?
  Die Arbeitsgruppe definiert eine Ereignisgrösse, bei der die Funktionstüchtigkeit der Lifelines gewährleistet sein muss. Sie legt die minimalen Anforderungen an die Objekt- und Systemsicherheit (Netzwerksicherheit) sowie den akzeptierbaren Ausfall fest.

- Wo sind die Lifelines in der Schweiz?
  Die Arbeitsgruppe erstellt ein Konzept für das Inventar der Lifelines mit Kriterien für die Identifikation der Objekte und Systeme.

- Wie können wesentliche Mängel eruiert werden?
  Die Arbeitsgruppe definiert die Verhältnismässigkeit der Kosten für die Vergangenheitsverbesserung (Sanierung, Nachrüstung von Anlagen). Bei der Zukunftssicherung der neuen Objekte oder Systeme sind die gültigen Normen anzuwenden.

1.3. Beteiligte

Die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» setzte sich aus Vertretern von Bundesstellen zusammen, die von der Frage der Erdbebensicherheit von Lifelines besonders betroffen sind.

Der Arbeitsgruppe gehörten erfahrene Experten der jeweiligen Bundesstellen an:

1.3.1 Vorsitz

- Andreas Götz, Bundesamt für Wasser und Geologie

1.3.2 Mitglieder

- Urs Dietrich, Bundesamt für Verkehr
- Pascal Feldmann, Bundesamt für Zivilluftfahrt
- Martin Haller, Bundesamt für Bevölkerungsschutz
- Daniel Kluge, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
- Rolf Leuthard, Führungsstab der Armee, Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
- Gerold Lötscher, Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung
- Willi Schuler, Bundesamt für Strassen
- Ruedi Wendelspiess, Eidgenössisches Rohrleitungsinspektorat

1.3.3 Wissenschaftliches Sekretariat

- Dr. Olivier Lateltin, Bundesamt für Wasser und Geologie
- Dr. Blaise Duvernay, Bundesamt für Wasser und Geologie

1.3.4 Pilotprojekt im Kanton Nidwalden

- Michael Kohler, Direktor der Nidwaldner Sachversicherung

1.4. Vorgehen

Bei der Erfüllung ihres Auftrags stützte sich die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» auf die Erfahrungen der in ihr vertretenen Bundesstellen sowie auf nationale und internationale Grundlagen. Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe wurden mit einem Pilotprojekt im Kanton Nidwalden überprüft und vertieft.

Die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» tagte erstmalig am 25. April 2001. In der Sitzung vom 14. August 2001 wurden die Aufgabenstellung analysiert und erste Lösungsvorschläge vorgestellt. Bis zum Herbst 2001 legten ASTRA, BAV, BAZL, BWL, HSK und VBS Stellungnahmen vor, die an der Arbeitsgruppensitzung vom 28. November 2001 diskutiert wurden.

Anfang 2002 zog die Arbeitsgruppe Basler & Hofmann, Zürich, zur Unterstützung bei. Basierend auf den bereits vorliegenden Ergebnissen und Erkenntnissen aus vergleichbaren nationalen und internationalen Projekten arbeitete Basler & Hof-

mann einen Bericht aus, der in der Arbeitsgruppensitzung vom 30. Mai 2002 besprochen wurde. Dabei wurden auch die Empfehlungen für ein Pilotprojekt «Lifelines», gemeinsam mit der Nidwaldner Sachversicherung NSV, und für einen Workshop «Erdbebensicherheit von Lifelines» diskutiert und die Durchführung beider Massnahmen beschlossen.

Der Workshop «Erdbebensicherheit von Lifelines» fand im September 2002 in Washington DC statt. Teilnehmende waren B. Duvernay, BWG, und Frau K. Lang, Basler & Hofmann. Ziel des Workshops war es, Erkenntnisse US-amerikanischer Institutionen für die Arbeitsgruppe nutzbar zu machen. Mit dem Workshop wurden Informationen gewonnen, die sich teilweise gut auf die Schweiz übertragen lassen. Gleichzeitig zeigte sich, dass zu der von der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» behandelten Thematik auch in den USA noch viele offene Fragen bestehen.

Mit dem Pilotprojekt «Lifelines» sollten die Ergebnisse der Arbeitsgruppe zur Definition und Ermittlung von Lifelines anhand eines konkreten Beispiels überprüft und – wo nötig – angepasst werden. Dabei kam ein Delphi-Verfahren zum Einsatz. Ziel des Delphi-Verfahrens ist es, aufgrund verschiedener Experteneinschätzungen zu einer belastbaren Gesamtaussage zu kommen. Zunächst wurden mit allen beteiligten Experten, überwiegend Fachleuten aus dem Kanton Nidwalden, Gespräche geführt. Die Ergebnisse dieser Gespräche wurden dann in zwei Besprechungsrunden mit allen Experten zur Diskussion gestellt und gemeinsame Schlussfolgerungen erarbeitet. Auf diese Weise entstand ein Kataster der überlebenswichtigen Anlagen und Infrastrukturelemente für die Rettungs- und Bewältigungsphase. Im Verlauf des Pilotprojekts konnten zudem zahlreiche inhaltliche und methodische Fragen zur Identifikation von Lifelines geklärt werden. Dem Pilotprojekt lagen zwei Referenzszenarien für Erdbeben mit einer Epizentralintensität von VIII zugrunde. Dies entspricht der maximalen Intensität, die bisher in der Region des Kantons Nidwalden beobachtet wurde. Das Projekt wurde durch eine Simulation von Erdbebenschäden an Lifelines begleitet, die das BWG durchführte.

Die Ergebnisse des Workshops wurden an der Arbeitsgruppensitzung vom 31. Oktober 2002, diejenigen des Pilotprojekts an der Sitzung vom 1. Juli 2003 besprochen.

1.5. Ziel und Zweck des vorliegenden Berichts

Der Bericht der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» liefert Entscheidungsgrundlagen für künftige Massnahmen des Bundes in den Jahren 2005 bis 2008.

Die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» befasst sich mit Bauten und Anlagen, die mit dem Bund in Beziehung stehen. Der Bund ist befugt, Massnahmen zur Erdbebensicherung von Bauten zu initiieren, soweit ihm diese Bauten

rechtlich unterstellt sind. Dies gilt für Bauten, die er selbst errichtet oder errichtet hat, sowie für Bauten, die nach der Bundesgesetzgebung einer Genehmigung des Bundes bedürfen oder unter dessen Aufsicht stehen. In Bezug auf mögliche Lifelines gehören dazu insbesondere Nationalstrassen, Eisenbahn- und zivile Flugplatzbauten, Rohrleitungsanlagen und Gebäude von Einrichtungen des Bundes, z.B. des Militärs.

Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» zusammengefasst. Insbesondere wird ausgeführt, was unter Lifelines zu verstehen ist, welches Schutzniveau angestrebt werden soll und wo derzeit Handlungsbedarf besteht. Damit bildet der Bericht eine Grundlage für künftige Massnahmen des Bundes in den Jahren 2005 bis 2008 zur Erdbebenvorsorge bei Lifelines.

2. Ermittlung und Schutz von Lifelines

2.1. Erdbebenrisiko in der Schweiz

In der Schweiz treten mittelstarke Erdbeben durchschnittlich ein- bis zweimal in jedem Jahrhundert auf. Unter den Katastrophen, welche die kantonalen bzw. nationalen Mittel und Strukturen überfordern, stehen Erdbeben mit an vorderster Stelle.

Im weltweiten Vergleich ist die Erdbebengefährdung in der Schweiz eher gering bis mittel. Aufgrund der relativ geringen seismischen Aktivität in der Schweiz im 20. Jahrhundert, wird die Erdbebengefährdung allerdings häufig unterschätzt. Historische Daten zeigen, dass die seismische Aktivität in den vorherigen Jahrhunderten höher war. Die Epizentren der historischen und instrumentell gemessenen Erdbeben deuten auf eine mittlere Gefährdung im Wallis und in der Region Basel, eine mässige Gefährdung in der Zentralschweiz, im St. Galler Rheintal und in Graubünden und auf eine geringere Erdbebengefährdung in der Westschweiz, im Tessin und in weiten Teilen des Mittellandes hin (Abbildung 2).

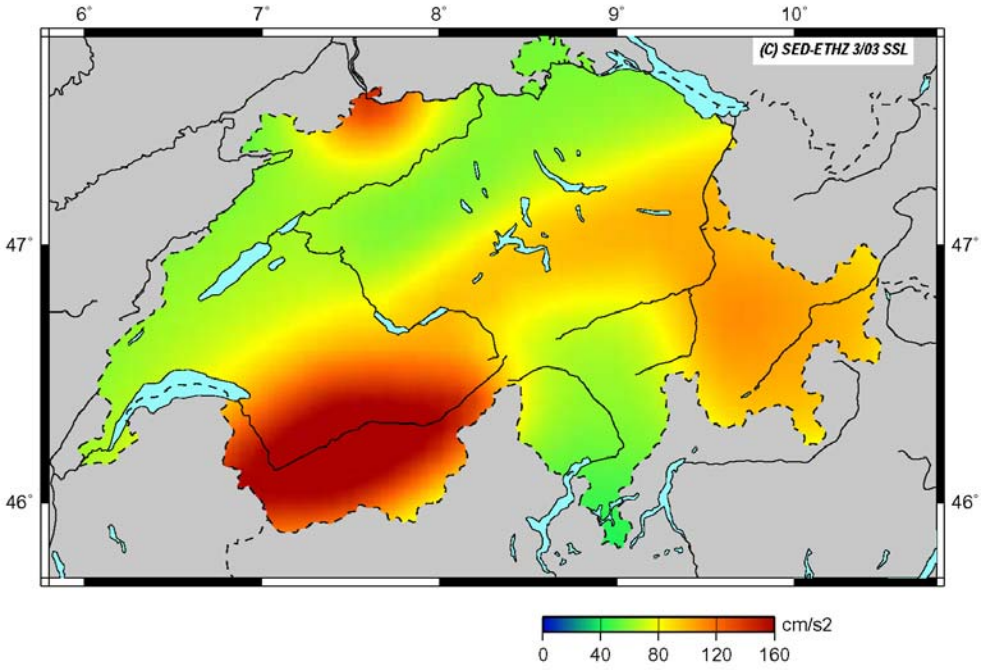


Abbildung 2 *Erdbebengefährdungskarte der Schweiz: Maximale horizontale Bodenbeschleunigung für ein 500-jährliches Beben [1].*

Schwere Beben

Eines der schwersten historischen Erdbeben in der Schweiz ist das von Basel 1356, das in seiner Intensität vergleichbar ist mit den Ereignissen von Northridge, Kalifornien 1994 oder Kobe, Japan 1995. Die Wiederkehrperiode solch schwerer Erdbeben liegt bei etwa 1'000 Jahren. Bei Beben mit dieser Stärke ist im Epizentralgebiet mit sehr schweren Schäden an älteren Gebäuden bis hin zur Zerstörung zu rechnen. Auch neuere Gebäude können schwere Schäden erleiden. Grös-

sere Schäden bei den neueren Gebäuden und sehr schwere Schäden bei den älteren Gebäuden sind noch in einem Umkreis von 20 km möglich, und leichtere bis moderate Schäden müssen bis zu einem Umkreis von über 100 km erwartet werden (Abbildung 3).

Szenariostudien haben ergeben, dass ein solches Ereignis in Basel heute wahrscheinlich zwischen 500 und 5'000 Todesopfer fordern würde. Die möglichen Sachschäden werden auf bis zu 60 Milliarden Franken geschätzt.

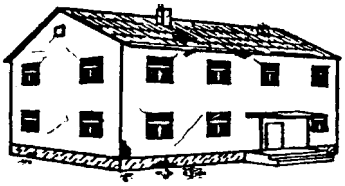
Aber auch weniger schwere Erdbeben mit einer grösseren Eintretenswahrscheinlichkeit können beträchtliche Schäden und Todesopfer fordern.

Starke Beben

Bei starken Beben mit einer Wiederkehrperiode von etwa 500 Jahren (eine Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren liegt den Bemessungswerten der Norm SIA 261 zugrunde [2]) muss im Epizentralgebiet mit moderaten bis grösseren Schäden an den neueren Gebäuden und mit grösseren bis sehr schweren Schäden an den älteren Gebäuden gerechnet werden (Abbildung 3). Es ist mit zahlreichen Todesopfern zu rechnen. Gebäudeschäden sind noch in einem Umkreis von über 50 km zu erwarten.

Mittelstarke Beben

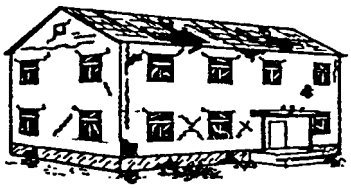
Bei mittelstarken Beben, wie sie in der Schweiz etwa alle 50 bis 100 Jahre zu erwarten sind, ist in einem Umkreis von 10 bis 20 km um das Epizentrum von leichten bis moderaten Schäden an den älteren Gebäuden auszugehen. Aber auch neuere Gebäude aus Stahlbeton können leicht beschädigt werden (Abbildung 3). Je nach Nutzung und Besiedlungsdichte sind Sachschäden von bis zu einigen Milliarden Franken zu erwarten.



Moderate Schäden
Risse in vielen Wänden, Abplatzen grosser Teile des Verputzes, Einsturz der Kamine



Correggio, Italien 1996



Grössere Schäden
grosse weite Risse in fast allen Wänden; Betonabplatzungen; Ausknicken der Bewehrung; Ablösen der Dachziegel; Herunterfallen der Kamine; Versagen einzelner nicht tragender Elemente (Trennwände, Giebel, Ausfachungen)



Friaul, Italien, 1976



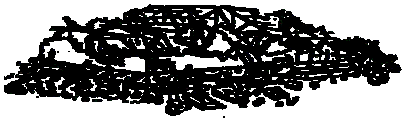
Mexico City, 1985



Sehr schwere Schäden
Versagen der Wände, teilweise Versagen der Decken und des Dachs



Irpinia-Basilicata, Italien, 1987



Zerstörung
Einsturz des Gebäudes



Spitak, Armenien, 1988

Abbildung 3 Gebäudeschäden nach der Europäischen Makroseismischen Skala von 1998 [3]

Die Studie KATANOS des ehemaligen Bundesamts für Zivilschutz [4] ergab, dass – aufgrund des hohen Schadenpotenzials – Erdbeben das grösste Risiko unter den Naturgefahren in der Schweiz darstellen. Dieses Ergebnis wurde 2002 von der Studie KATARISK, eine Überarbeitung, Aktualisierung und Ergänzung mit Blick auf den Bevölkerungsschutz [5], bestätigt (Abbildung 4). Da Erdbeben in der Schweiz zwar schwerwiegend aber selten sind, wurde das von ihnen ausgehende Risiko lange Zeit unterschätzt. Erst in den letzten Jahren ist die Aufmerksamkeit für das Erdbebenrisiko gewachsen. Auf Initiative der PLANAT hat der Bundesrat eine Koordinationsstelle für die Erdbebenvorsorge im Bundesamt für Wasser und Geologie geschaffen und für den Zeitraum von 2001 bis 2004 ein Massnahmenprogramm (vgl. auch 1.2) beschlossen. Im Zentrum dieses Programms steht die bauliche Erdbebenvorsorge (Abbildung 1).

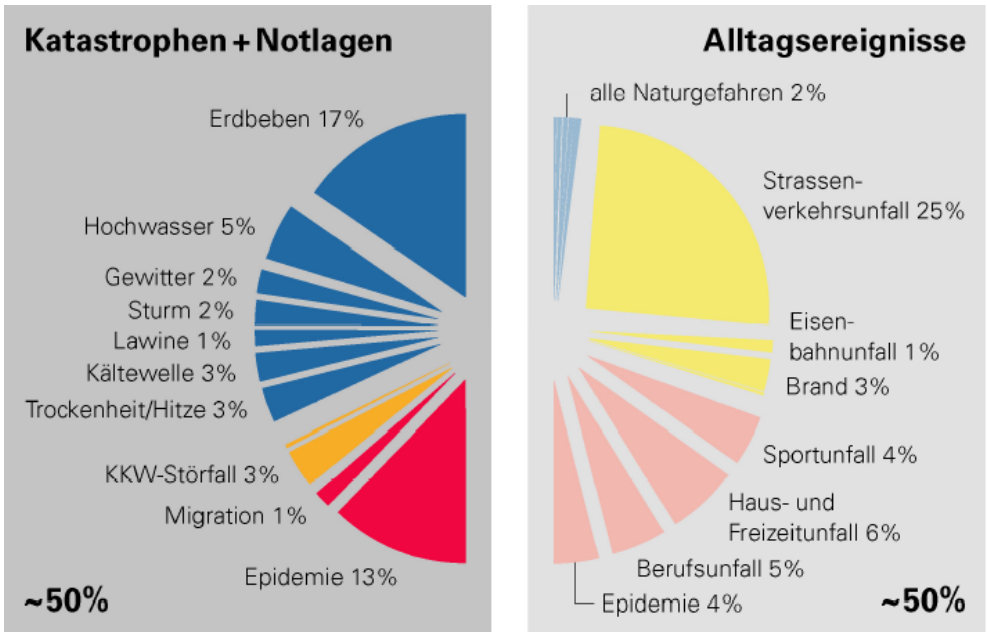


Abbildung 4 *Vergleichende Übersicht über die Risiken in der Schweiz aus Sicht des Bevölkerungsschutzes (Bezugsjahr 2000) [5]*

2.2. Definition von Lifelines

Lifelines sind Elemente der Infrastruktur und Anlagen, deren Funktion zur Bewältigung eines starken Erdbebens in der Rettungs- und / oder Bewältigungsphase unbedingt erforderlich ist.

Als Lifelines werden nur solche Anlagen und Infrastrukturelemente bezeichnet, die zur Ereignisbewältigung unbedingt erforderlich sind. Lifelines stellen also das unverzichtbare Minimum an funktionsfähigen Anlagen und Infrastruktur dar, das ein Gemeinwesen benötigt.

Die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» bezieht in ihre Definition sowohl einzelne Anlagen, z.B. Spitäler, als auch Netzwerke der Infrastruktur, wie z.B. der Elektrizität- und Trinkwasserversorgung, ein.

2.2.1 Phasen der Ereignisbewältigung

Lifelines sind unmittelbar nach einem Erdbeben zur Begrenzung des Ausmasses erforderlich. Der Zeitraum, der nach einem Erdbeben bis zur Wiederherstellung des Normalzustands verstreicht, wird im vorliegenden Bericht in die Rettungs-, die Bewältigungs- und die Wiederaufbauphase untergliedert.

- Die Rettungsphase umfasst die ersten Tage nach einem Erdbeben, in denen es vor allem darum geht, Verschüttete zu bergen, Schwerverletzte medizinisch zu versorgen, Betroffene zu betreuen und zu evakuieren und schwere Sekundärschäden, z.B. infolge von Bränden, einzudämmen. Führung und Einsatzdienste müssen in dieser Zeit zu einem koordinierten Vorgehen finden, sich einen Überblick über die Lage verschaffen, bei Bedarf Hilfe von aussen anfordern und die dringlichsten Massnahmen in die Wege leiten. Von der Führung sind rasche Entscheidungen gefragt, bei denen flexibel auf die jeweilige Situation eingegangen wird.

- Die Dauer der Bewältigungsphase liegt im Bereich von Wochen. In dieser Zeit müssen die beschädigten Gebäude und Infrastruktur auf ihre Tragsicherheit überprüft und Prioritäten bei der Wiederinstandsetzung gesetzt werden. Für die Bevölkerung im betroffenen Gebiet sowie für allfällige Helfer von aussen soll das tägliche Leben ohne erhebliche Einschränkungen möglich sein. Dieses Ziel kann zunächst auch mit Hilfe von Provisorien erreicht werden. Im Vergleich zu der Rettungsphase ist nun ein systematischeres, planvolles Vorgehen möglich.

- In der Wiederaufbauphase wird der Normalzustand schrittweise wiederhergestellt. Die alltäglichen Funktionen von Betrieben, Behörden und privaten Haushalten sind nur noch wenig eingeschränkt. Entscheidungen werden wieder überwiegend dezentral getroffen, sind den im Einzelnen zuständigen Behörden oder privater Initiative überlassen.

Zur Begrenzung des Ausmasses eines Ereignisses muss die Funktion der Lifelines direkt nach einem Ereignis in der Rettungs- und Bewältigungsphase gewährleistet sein. Dazu sind vor einem Ereignis Massnahmen der Prävention und Vorsorge erforderlich. Einen Überblick über den Kreislauf des integralen Risikomanagements gemäss Bundesamt für Bevölkerungsschutz gibt Abbildung 5.

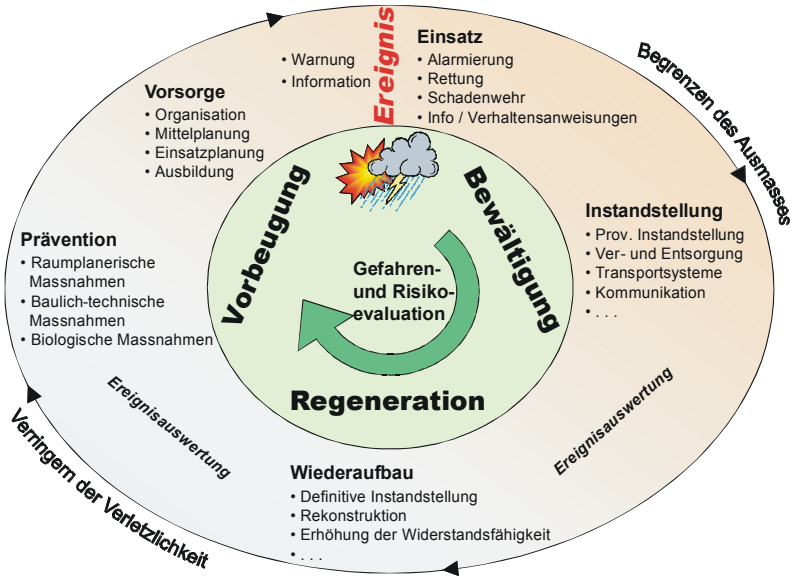


Abbildung 5 *Kreislauf des integralen Risikomanagements gemäss dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz*

2.2.2 Kategorien von Lifelines

Lifelines können unterschieden werden in Anlagen und Infrastruktursysteme. Abbildung 6 zeigt eine Auswahl der Lifelines des Kantons Nidwalden (vgl. auch Abschnitt 2.3.3). Die Anlagen sind als Punkte eingezeichnet, die Infrastruktursysteme als Linien.

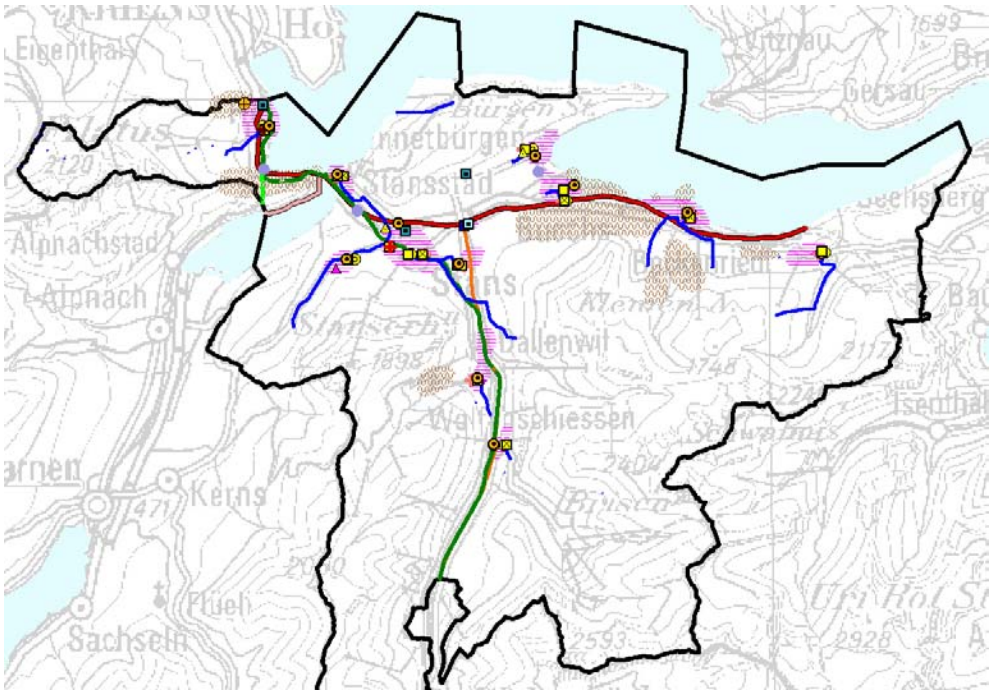


Abbildung 6 *Lifelines: Anlagen, als einzelne Punkte eingezeichnet, und Infrastruktursysteme, als Linien eingezeichnet*

Überlebenswichtige Anlagen und Infrastruktur können verschiedenen Kategorien von Lifelines zugeordnet werden:

Anlagen

Allgemeine Funktion	Lifeline-Kategorie
Koordination, Führung, Führungsunterstützung, Einsatz, Versorgung[2]	Führung Gesundheitsversorgung Ordnung und Sicherheit Schutz und allgemeine Schadenwehr Betreuung / Notfallversorgung der Bevölkerung

Infrastruktur

Allgemeine Funktion	Lifeline-Kategorie
Verkehr	Strassenverkehr Schienenverkehr Flugverkehr Schiffsverkehr
Versorgung	Elektrizität Trinkwasser Brenn- und Treibstoffe
Entsorgung	Abfall Abwasser
Information	Alarmierung Radio Telekommunikation

Die Verkehrswege übernehmen eine wichtige Rolle bei der Versorgung der von einem Erdbeben betroffenen Region. So können beispielsweise mobile Trinkwasserversorgungsanlagen über die Strasse oder Notstromaggregate per Helikopter antransportiert werden.

2.3. Inventar der Lifelines

Bei der Erstellung eines Inventars muss nach Rettungs- und Bewältigungsphase differenziert werden. Aufgrund der vielfältigen Rahmenbedingungen und Wechselwirkungen, die zu berücksichtigen sind, ist das Wissen von Fachleuten vor Ort dabei unverzichtbar. Für dichtbesiedelte Regionen kann zudem eine systematische Netzwerkanalyse hilfreich sein.

2.3.1 Grundlagen

Zeitliche Differenzierung nach einem Erdbeben

Welche Anlagen und Infrastruktur zum Überleben nach einem Erdbebenereignis benötigt werden, variiert im Verlauf der Zeit. Bei der Ermittlung der Lifelines muss daher nach Rettungs- und Bewältigungsphase differenziert werden.

[2] Gesetzgebung und Vollzug liegen bei diesen Lifeline-Kategorien im Kompetenzbereich der Kantone. Eine Ausnahme bilden Ereignisse, die der betroffene Kanton nicht selber oder mit Hilfe anderer Kantone bewältigen kann (Art. 52 BV).

Während die Lifelines für die Rettungsphase vorwiegend durch präventive, passiv wirkende Massnahmen gesichert werden müssen, können in der Bewältigungsphase auch aktive Interventionen sinnvoll sein, etwa der Einsatz mobiler Notstromaggregate oder die Installation von Schlauchleitungsprovisorien zur Trinkwasserversorgung.

Flexibilität aufgrund schwer prognostizierbarer Schadenbilder

Die Schadenbilder nach einem Erdbeben sind kaum vorhersehbar. Einerseits treten Schäden auf, die eine direkte Folge der seismischen Aktivität sind, z.B. Risse im Mauerwerk oder Brüche von Rohrleitungen. Diese Schäden sind unter anderem von der Intensität des Bebens, der Lage des Epizentrums, der Beschaffenheit des Untergrunds und der Tragstruktur von Gebäuden abhängig und aufgrund der Vielfalt der Einflüsse bereits schwer zu prognostizieren. Zudem werden diese primären Auswirkungen durch sekundäre Effekte überlagert, etwa durch Erdbeben ausgelöste Hangrutschungen, Brände oder die Unterspülung von Fundamenten aufgrund defekter Wasserleitungen.

Die Unvorhersehbarkeit der Schadenbilder fordert von Führung und Einsatzdiensten ein hohes Mass an Flexibilität. Bei der Aus- und Weiterbildung der Verantwortlichen wird denn auch in der Regel davon abgesehen, vorgegebenen Handlungsschemata zu folgen und Checklisten abzuarbeiten. Stattdessen wird Wert auf die Fähigkeit zum angemessenen situativen Entscheiden gelegt.

Die Anforderung, flexibel handeln zu können, spiegelt sich auch in der Ermittlung von Lifelines wider: Zentrale Anlagen, z.B. Kantonsspitäler, und Hauptadern von Infrastruktursystemen, wie beispielsweise Kantonsstrassen, die ein Tal erschliessen, sind klar als Lifelines identifizierbar. Bei Systemen mit ausgeprägtem Netzwerkcharakter bzw. zahlreichen Redundanzen und bei der Feinverteilung im Bereich Ver- und Entsorgung sollte die Entscheidung, welche Elemente in der Bewältigungsphase als Lifelines, gelten, im Ereignisfall der Führung und den Einsatzdiensten überlassen werden. Eine vorgängige Analyse potenzieller Lifelines, welche die Gefährdungslage mit einbezieht, kann hierfür jedoch wichtige Entscheidungsgrundlagen liefern.

Einfluss regionaler und lokaler Gegebenheiten

Welche Elemente als Lifelines identifiziert werden, hängt zudem von regionalen, teils lokalen Gegebenheiten ab: Wo ausreichend saubere Quellen in siedlungsnaher Hanglage vorhanden sind, kann darauf verzichtet werden, Trinkwasserleitungen als Lifelines zu bezeichnen. Wo sich zentrale Einrichtungen wie Gemeindeverwaltung, Arztpraxen und Kühlanlagen für Lebensmittel konzentrieren, werden für die Bewältigungsphase eher Lifelines der Elektrizitätsversorgung bezeichnet werden als für einen Komplex von Ferienwohnungen.

Dichtbesiedelte Regionen, vor allem städtische Ballungsgebiete, stellen zudem andere Anforderungen als Regionen mit geringerer Siedlungsdichte: Vor allem in den Bergregionen besitzen Infrastruktur-Lifelines aus topografischen Gründen oft

eher Liniencharakter, während in städtischen Gebieten meist Netzwerke mit ausgeprägten Redundanzen vorhanden sind.

2.3.2 Vorgehen bei der Erstellung eines Inventars

Arbeitsschritte

Bei der Ermittlung von Lifelines müssen in der Regel vier Arbeitsschritte durchlaufen werden:

1. Wahl der Systeme, die nach einem Erdbeben am geeignetsten sind, eine überlebenswichtige Funktion zu übernehmen, z.B. in der Rettungsphase Strassen- und nicht Bahnverkehr
2. Bestimmung der Linien und Anlagen eines Systems, die eine Agglomeration oder aber andere Lifelines versorgen (die repräsentative Anzahl betroffener Personen zur Identifizierung einer Agglomeration wurde von der Arbeitsgruppe diskutiert und unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit eine Richtzahl von 500 Personen vorgeschlagen)
3. Ausscheidung redundanter Lifelines, wobei die Verletzbarkeit des jeweiligen Elements, seine Abhängigkeit von der Funktionsfähigkeit anderer Elemente, seine Leistungsfähigkeit sowie der Aufwand für Schutzmassnahmen eine Rolle spielen
4. Berücksichtigung von (provisorischen) Ersatz- bzw. Wiederherstellungsmöglichkeiten für die ermittelten Anlagen und Infrastrukturelemente – vor allem für die Bewältigungsphase. Steht kein robuster und zweckmässiger Ersatz zur Verfügung bzw. ist keine rasche Wiederherstellung problemlos möglich, handelt es sich bei den identifizierten Anlagen und Infrastrukturelementen um Lifelines.

Methodik: Delphi-Verfahren

Insbesondere für die Arbeitsschritte 3 und 4 ist das Wissen von Experten, die über gute Kenntnisse der spezifisch betrachteten Systeme und der Region verfügen, unabdingbar. Nur solche Experten sind in der Lage, Lifelines im Kontext der vielfältigen Rahmenbedingungen und der Wechselwirkungen mit anderen Lifelines kompetent zu ermitteln. Als Vorgehensweise hat sich dabei nach Erfahrung der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» das Delphi-Verfahren bewährt, wobei folgende Präzisierungen zu berücksichtigen sind:

- Am Beginn des Verfahrens sollte eine Orientierung der Experten über Ziele und Ablauf sowie über die der Ermittlung der Lifelines zugrundegelegten Erdbeben- und Schadenszenarien stehen.
- In der ersten Runde des Delphi-Verfahrens sollten mit allen Experten Einzelgespräche in Form locker strukturierter Interviews geführt werden. Auf diese Weise wird erreicht, dass sich die Experten ausreichend Zeit zur Beantwortung der gestellten Fragen nehmen, Missverständnisse, wie sie bei Erhebungen mit Fragebogen immer wieder auftreten, lassen sich vermeiden, und auf Rückfragen der Experten kann unmittelbar eingegangen werden.
- Der zweiten Runde des Delphi-Verfahrens, der Diskussionsrunde im Plenum, sollte eine sorgfältige Auswertung der Ergebnisse der ersten Runde zugrunde liegen. Visualisierungen, z.B. Darstellung in Kartenform mittels GIS, sind hilf-

reich. Bei der Moderation der Expertenrunde ist darauf zu achten, dass Einigungen nicht vorschnell zustande kommen und sich alle Beteiligten ausreichend Gehör verschaffen können.
- In allen Phasen des Delphi-Verfahrens ist eine klare Differenzierung nach Rettungs- und Bewältigungsphase erforderlich.

Wichtige Grundlagen für das Delphi-Verfahren stellen Pläne der Lifeline-Systeme, möglichst in elektronischer Form, und Konzepte für Notfallsituationen, z.B. gemäss der Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Notlagen VTN (SR 531.32), dar.

Methodik: Delphi-Verfahren und Netzwerkanalyse

Für überschaubare, nicht allzu dicht besiedelte Regionen wie den Kanton Nidwalden, die meisten Bergregionen und einige Teile des Mittellands stellt das Delphi-Verfahren das Mittel der Wahl dar. In dichter besiedelten Gebieten dagegen können Infrastruktursysteme und Anlagen derart vielfältig werden und komplex miteinander interagieren, dass auch Experten, die mit den regionalen Gegebenheiten gut vertraut sind, die Situation nicht mehr ausreichend überschauen. In diesen Fällen ist der Einsatz einer automatisierten Netzwerkanalyse zu empfehlen. Zur Ermittlung von Lifelines werden also sowohl Expertenwissen als auch informationstechnische Analysen genutzt:

- Die der Ermittlung von Lifelines zugrunde liegenden Erdbebenszenarien werden definiert und den Experten präsentiert.
- In einem ersten Expertengespräch werden Quellen und Ziele definiert, die durch überlebenswichtige Infrastrukturelemente miteinander verbunden werden sollen. Anschliessend werden Kriterien für die Netzwerkberechnung festlegt, z.B. die Gewichtung der Leistungsfähigkeit einer Verbindung gegenüber ihrer Verletzbarkeit.
- Mit der Netzwerkanalyse werden anschliessend die wichtigsten Elemente der untersuchten Netzwerke ermittelt.
- In einem zweiten Expertengespräch werden auf der Grundlage der Ergebnisse aus der Netzwerkanalyse die Lifelines benannt.
- Die Ergebnisse des bisherigen Verfahrens werden ausgewertet und allfällige offene Fragen mit den Experten geklärt.
- In einer Diskussionsrunde mit allen Experten werden die Lifelines festgelegt.
- Die Ergebnisse des Verfahrens werden in Kartenform und als tabellarischer Kataster dargestellt.

Das Verfahren ist jeweils für Rettungs- und Bewältigungsphase zu durchlaufen.

2.3.3 Lifelines im Kanton Nidwalden

Die im Kanton Nidwalden identifizierten Lifelines können dem Kataster auf den folgenden Seiten entnommen werden. Erläuternde Bemerkungen wurden in Klammern gesetzt.

Anlagen	Rettungsphase	Bewältigungsphase
Führung	**JA**, Lifelines wurden identifiziert Geschützte Einsatzzentrale der Kantone Ob- und Nidwalden Kommunale Kommandoposten in Beckenried, Buochs, Dallenwil, Emmetten, Ennetbürgen, Ennetmoos, Hergiswil, Oberdorf, Stans, Stansstad und Wolfenschiessen	**JA** Wie Rettungsphase
Gesundheitsversorgung	**JA** Kantonsspital Stans Geschützte Sanitätsstelle Hergiswil Patientenschutzräume Beckenried, Buochs, Dallenwil, Emmetten, Ennetbürgen, Oberdorf, Stans und Stansstad	**JA** Wie Rettungsphase situativ: Einsatz intakter Arztpraxen und Ambulatorien, provisorische Einrichtung von Arztpraxen in Schutzräumen
Ordnung und Sicherheit	**JA** Zentraler Stützpunkt der Kantonspolizei in Stans / Oberdorf Strasseninspektorat in Stans	**JA** Wie Rettungsphase
Schutz und allgemeine Schadenwehr	**JA** Zentraler Feuerwehrstützpunkt in Stans Stützpunkte der Ortsfeuerwehren Beckenried, Buochs, Dallenwil, Emmetten, Ennetbürgen, Ennetmoos, Hergiswil, Oberdorf, Stans, Stansstad und Wolfenschiessen	**JA** Wie Rettungsphase
Betreuung / Notfallversorgung der Bevölkerung	**JA** Grössere Zivilschutzanlagen in Beckenried, Buochs, Dallenwil, Emmetten, Ennetbürgen, Ennetmoos, Hergiswil, Oberdorf, Stans, Stansstad und Wolfenschiessen Bereitstellungsanlagen in Beckenried, Buochs, Dallenwil, Emmetten, Ennetbürgen, Ennetmoos, Hergiswil, Oberdorf, Stans, Stansstad und Wolfenschiessen	**JA** Wie Rettungsphase Zusätzlich: Zentral gelegene Kühlanlagen Situativ: Kleinere Schutzanlagen

Infrastrukturelemente	Rettungsphase	Bewältigungsphase
Strassenverkehr	**JA** Nationalstrasse A2 zwischen Hergiswil und Kantonsgrenze zu Uri Nationalstrasse A8 zwischen Stansstad und Kantonsgrenze zu Obwalden Kantonshauptstrasse KH2 von Stans in Richtung Engelberg	**JA** Wie Rettungsphase Situativ: Wichtige Zufahrtsstrassen zu Siedlungsgebieten und anderen Lifelines
Schienenverkehr	**NEIN**, es wurden keine Lifelines identifiziert	**NEIN**
Flugverkehr	**NEIN** (Einsatz von Helikoptern ist wesentlich, erfordert jedoch keine fest zugewiesene Infrastruktur)	**NEIN** (Einsatz von Helikoptern ist wesentlich, erfordert jedoch keine fest zugewiesene Infrastruktur)
Schiffsverkehr	**NEIN**	**NEIN** Situativ: Anlegestellen für Schiffe aus anderen Bereichen des Vierwaldstättersees
Elektrizitätsversorgung	**NEIN** (Versorgung von Lifelines ist in der Regel über Notstromaggregate gewährleistet)	**JA** Kraftwerke Dallenwil, Oberrickenbach, Wolfenschiessen und Trübsee Unterwerke Dallenwil, Emmetten, Fadenbrücke, Hergiswil und Rotzwinkel 50 kV-Kabel und Freileitungen 26 kV-Kabel und Freileitungen, die von den oben erwähnten Kraftwerken abgehen und / oder zu Gebieten mit mehr als 500 Einwohnern bzw. anderen Lifelines ohne ausreichende Notstromversorgung

Infrastrukturelemente	Rettungsphase	Bewältigungsphase
Trinkwasser-versorgung	**NEIN** (Nutzung von Quellen und Quellwasserfassungen, Einsatz von stationären Wassertanks, Schlauchleitungsprovisorien und mobilen Wasseraufbereitungsanlagen möglich; Kantonsspital mit eigener Grundwasserfassung)	**JA** Situativ: (Provisorische) Instandsetzung von Hauptleitungen zwischen Bezugsorten und Siedlungsgebieten bzw. anderen Lifelines (Antransport mobiler Wassertanks und -aufbereitungsanlagen von ausserhalb des Kantons möglich)
Versorgung mit Brenn- und Treibstoffen	**NEIN** (Zahlreiche Reserven dezentral gelagert vorhanden)	**NEIN** (Versorgung erfolgt von ausserhalb des Kantons)
Abfallentsorgung	**NEIN**	**JA** Notdeponien, Wasenplätze und Zwischenlager für Inertstoffe gemäss kantonaler Planung (Abtransport zur Behandlung in Anlagen ausserhalb des Kantons möglich)
Abwasserentsorgung	**NEIN**	**JA** Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) Aumühle (Buochs / Ennetbürgen), Hergiswil und Rotzwinkel (Stans) Sammelleitungen zu den ARAs Mit den Sammelleitungen verbundene Pumpwerke Situativ: (Provisorische) Instandsetzung wichtiger Leitungen aus den Siedlungsgebieten
Alarmierung	**JA** Geschützte Sirenen mit Notstromversorgung gemäss Sirenendispositiv SFI 457 der Justiz- und Sicherheitsdirektion (zusätzlich mobile Sirenen einsatzfähig)	**JA** Wie Rettungsphase
Radio	**JA** Notsender VRK-UKW 77	**JA** Wie Rettungsphase
Telekommunikation	**JA** Senderstandorte des Polizeifunks Stans / Zentrale, Bürgenstock / Aetschenried und Hergiswil Feuerwehrantennen in Ennetbürgen, Hergiswil und Wolfenschiessen Geschütztes Netz der VULPUS-Telematik	**JA** Mobile Basisstationen der Swisscom zur provisorischen Wiederinstandsetzung des Mobilfunknetzes, priorisiert für Führungs- und Einsatzorgane Situativ: Instandsetzung zentraler Elemente des Festnetzes

2.4. Schutzziele

Eine Lifeline muss in der Lage sein, ein Beben mit einer Wiederkehrperiode von 200 Jahren ohne Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit und ein solches mit einer Wiederkehrperiode von 1'200 Jahren ohne Beeinträchtigung der Tragsicherheit zu überstehen.

Minimierung der Schäden

Die Arbeitsgruppe Lifelines sieht als **primäre Zielsetzung des Bundes**,

- Personenschäden,
- wesentliche Umweltschäden und
- wesentliche volkswirtschaftliche Verluste

zu minimieren.

Seltene schwere Ereignisse fordern die betroffene Gemeinschaft wesentlich stärker heraus als häufige Ereignisse, die mit geringfügigeren Schäden verbunden sind. Die Arbeitsgruppe ortet daher vor allem Handlungsbedarf bei einem starken Erdbeben, von dem urbane Regionen betroffen sind. Unter urbanen Regionen werden Bereiche hoher Siedlungsdichte und / oder mit technischen Gefahrenpotentialen, welche die Funktionsfähigkeit von Lifelines nach einem Erdbeben beeinträchtigen, verstanden.

Verhältnismässigkeit und Kostenwirksamkeit

Zur Erhöhung der Erdbebensicherheit sollen Massnahmen getroffen werden, die verhältnismässig sind, d.h. über ein ausgewogenes Ziel-Mittel-Verhältnis verfügen. Sie müssen sich jedoch nicht unter dem Gesichtspunkt einer Kosten-Nutzen-Analyse als "rentabel" erweisen. Die Kriterien für die Verhältnismässigkeit müssen politisch festgelegt werden. Das Bundesamt für Wasser und Geologie BWG fordert zudem, einen ausgewogenen, einheitlichen Schutzgrad in der Schweiz sicherzustellen.

Die Vermeidung von Sachschäden, Betriebsverlusten u.ä. liegt in der Verantwortung der Betreiber der jeweiligen Infrastrukturen. Vorsorgemassnahmen werden hier in der Regel auf der Grundlage von Kosten-Nutzen-Überlegungen geplant, wobei jedoch das Erdbebenrisiko häufig unterschätzt und folglich in der Kosten-Nutzen-Analyse nicht berücksichtigt wird.

Bereits existierende Schutzziele

Die Schutzziele von Bauwerken sind in den Normen SIA 260 und SIA 261 [2] abgestuft nach Bauwerksklassen[3] definiert. Für Bauwerke ohne besondere Bedeutung (Bauwerksklasse I) muss die Tragsicherheit nachgewiesen werden, wobei die Wiederkehrperiode des relevanten Bemessungsbebens bei 475 Jahren liegt. Dies entspricht einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren. Bauwerke mit Lifeline-Funktion sind in die Bauwerksklasse III, die Bauwerksklasse mit

[3] Je nach Bedeutung für die Katastrophenbewältigung unmittelbar nach einem Erdbeben, die mittlere Personenbelegung, das Schadenpotential und die Gefährdung der Umwelt werden Bauwerke in der Norm SIA 261 in drei verschiedene Bauwerksklassen eingeteilt.

den strengsten Anforderungen an den Schutzgrad, einzuteilen. Für die Bauwerksklasse III beträgt die Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens 1'200 Jahre für die Tragsicherheit und 200 Jahre für die Gebrauchstauglichkeit. Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit umfasst auch die Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit. Die Differenzierung der rechnerischen Nachweise erfolgt über den sogenannten Bedeutungsfaktor γ_f (Abbildung 7 und Abbildung 8).

	BWK I	BWK II	BWK III
Bedeutungsfaktor γ_f	1.0	1.2	1.4
Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens für den Tragsicherheitsnachweis	475 Jahre	800 Jahre	1'200 Jahre
Reduktionsfaktor für den Gebrauchstauglichkeitsnachweise	Kein Nachweis erforderlich	Kein Nachweis erforderlich	0.5
Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis	Kein Nachweis erforderlich	Kein Nachweis erforderlich	200 Jahre

Abbildung 7 *Bedeutungsfaktor γ_f und Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens in Funktion der Bauwerksklasse (BWK)*

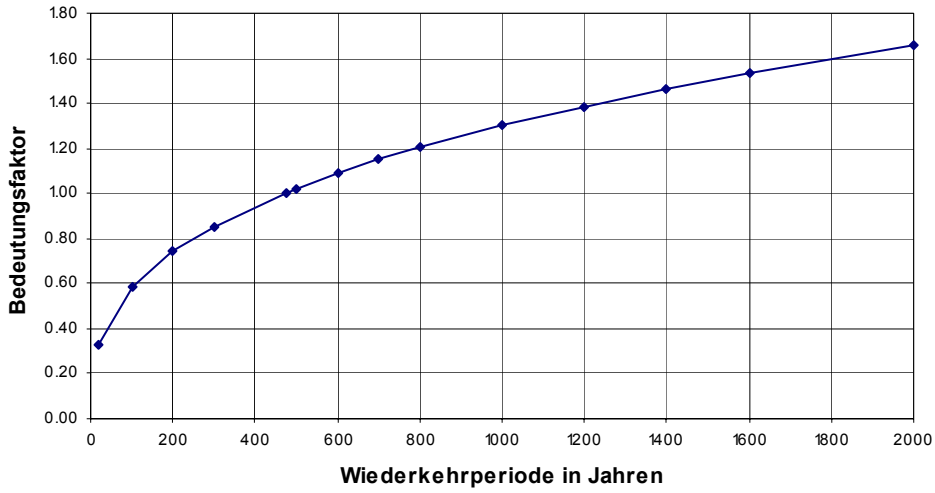


Abbildung 8 *Zusammenhang zwischen Bedeutungsfaktor und Wiederkehrperiode*

Neben den rechnerischen Nachweisen der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit sind konzeptionelle und konstruktive Massnahmen zur Verbesserung des Erdbebenverhaltens vorgeschrieben. Die Verbindlichkeit dieser Massnahmen ist abgestuft nach Bauwerksklasse und Erdbebengefährdungszone. Insbesondere bei der Bauwerksklasse III stellt die Einhaltung dieser Massnahmen sicher, dass sich das Bauwerk auch bei einem stärkeren Erdbeben als dem Bemessungsbeben relativ günstig verhält.

Die Norm SIA 261 schreibt für nicht tragende Bauteile ebenfalls Nachweise der Erdbebensicherheit vor. Diese umfassen auch dessen Verbindung oder Verankerung im Tragwerk.

Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 261 gelten sinngemäss für die Beurteilung und Verstärkung bestehender Bauwerke. Um den Besonderheiten bei bestehenden Bauwerken gerecht zu werden, hat der SIA das Merkblatt SIA 2018 [7] für die Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben erarbeitet. Dieses Merkblatt befasst sich insbesondere mit der Bauwerksklasse III, d.h. auch mit Lifelines (vgl. 2.5.1).

Schutzziele für Lifelines

Die Arbeitsgruppe schlägt vor, für Lifelines die Schutzziele der SIA Normen für die Bauwerksklasse III zu übernehmen:

Eine Lifeline muss, auch wenn es sich um ein bereits bestehendes Bauwerk oder eine Anlage bzw. Infrastrukturelemente handelt, in der Lage sein, ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 200 Jahren ohne Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit und ein solches mit einer Wiederkehrperiode von 1'200 Jahren ohne Beeinträchtigung der Tragsicherheit zu überstehen. Spätestens bei der Ertüchtigung bestehender Lifelines muss sichergestellt werden, dass diese Anforderung erfüllt wird.

Die Funktionstüchtigkeit bei einem Bemessungsbeben muss auch für die Leitungssysteme und Geräte, die für die Lifeline-Funktion der Anlagen benötigt werden, sichergestellt werden, sofern sie nicht bei den nicht tragenden Bauteilen berücksichtigt werden.

Auslegungsüberschreitendes Szenario

In Anlehnung an die SIA-Normen beschränkt die Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» die Schutzziele für Lifelines darauf, ein mittelstarkes bis starkes Beben ohne Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit zu überstehen, und auf Ziele, die durch baulich-technische Massnahmen erreicht werden können. Bei schweren Beben, wie z.B. dem Beben von Basel 1356 mit einer Wiederkehrperiode von rund 1'000 Jahren, wird eine Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit akzeptiert und andere Massnahmen müssen in den Vordergrund treten. Betroffen sind dann vor allem die Mobilisierung und Koordination bundesweiter und internationaler Mittel. Mit diesem Thema befasst sich die Arbeitsgruppe "Einsatzkonzept für den Fall eines Erdbebens in der Schweiz" [6] (vgl. Abbildung 1, Massnahme 7). Es geht dabei um Massnahmen auf Bundes- und Kantonsebene, die vorbereitend und im Ereignisfall zu treffen sind. Diese Aufgabe wurde an die Nationale Alarmzentrale NAZ delegiert, welche die Fachstelle des Bundes für ausserordentliche Lagen ist.

2.5. Objektschutz

Anlagen bestehen vorwiegend aus Gebäuden und ihren Einrichtungen. Die Beurteilung der Erdbebensicherheit der Anlagen respektive die Abschätzung ihrer Verletzbarkeit und möglicher Schäden bei einem Erdbebenereignis können sich damit an vorhandenen Regelwerken orientieren. Gleiches gilt für Leitungen und fest installierte Geräte sowie für einzelne Bauwerke eines Infrastruktursystems. Für die Netzwerkanalyse ganzer Infrastruktursysteme fehlen entsprechende Normen. Zur Beurteilung der Erdbebensicherheit und für die Abschätzung möglicher Schäden von Infrastruktursystemen kann auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden.

2.5.1 Anlagen

Der Schutz der Anlagen der Führungs- und Einsatzorgane – wie die Einsatzzentrale der Führung, die Stützpunkte der Polizei und der Feuerwehr und Spitäler – liegt im Zuständigkeitsbereich der Kantone.

Anlagen bestehen vorwiegend aus Gebäuden. Die Verletzbarkeit der Gebäude verursacht einen grossen Teil des Erdbebenrisikos in der Schweiz. Dies besonders, da der überwiegende Teil der Gebäude vor der Einführung von wirksamen Vorschriften zum Schutz vor Erdbeben im Jahr 1989 erstellt wurde.

Die verschiedenen Erdbebenszenarien in Abschnitt 2.1 zeigen den generellen Trend der Gebäudeschäden, die in der Schweiz zu erwarten sind, auf. Im Einzelfall hängt der Schaden eines Gebäudes bei einem Erdbeben stark von der Beschaffenheit des Untergrunds und seiner Tragstruktur ab. Identische Gebäude, die auf unterschiedlichem Untergrund fundiert sind, können sich bei dem selben Erdbeben ganz unterschiedlich verhalten. Ebenso können kleine Unterschiede in der Tragstruktur zu einem anderen Tragverhalten führen. Im Falle der Lifeline-Gebäude sollten diese daher auf ihre Erdbebensicherheit hin überprüft werden, um allfällige Massnahmen ergreifen zu können. Dabei kann auf bestehendes Wissen zurückgegriffen werden. So gibt es einmal die Erdbebenbestimmungen in den Baunormen – diese gelten insbesondere für Neubauten – sowie spezielle Verfahren zur Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude.

Erdbebenbestimmungen in den Bauormen

In der Schweiz wurden erstmals in der Norm SIA 160 von 1970 Erdbebenbestimmungen berücksichtigt. Diese sind jedoch aus heutiger Sicht völlig ungenügend. Die Neufassung der Norm SIA 160 von 1989 beinhaltet angemessenere Bestimmungen zur Erdbebensicherung der Bauwerke mit einfachen rechnerischen Nachweisen sowie konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen. Doch wurden diese Erdbebenbestimmungen auch bei Gebäuden, die nach 1989 erbaut wurden, oft nicht eingehalten, so dass das Risiko durch die bestehenden Bauwerke schon bei relativ schwachen Erdbeben beträchtlich ist.

Im Januar 2003 sind in der Schweiz die neuen Baunormen, die sogenannten Swisscodes (SIA 260 – SIA 267) [2], in Kraft getreten, die im Hinblick auf die Erd-

bebenbestimmungen eine zum Teil wesentliche Erhöhung der Erdbebeneinwirkung vorsehen. Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 261 gelten sinngemäss auch für die Beurteilung und Verstärkung bestehender Bauwerke. Um den Besonderheiten bei bestehenden Bauwerken gerecht zu werden, hat der SIA das Merkblatt SIA 2018 für die Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben erarbeitet [7]. Bereits früher wurde von der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB eine Empfehlung für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkung beim Tragsicherheitsnachweise bestehender Bauwerke (2003) herausgegeben [8]. Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis wurde in dieser Empfehlung jedoch nicht behandelt.

Zur Beurteilung der Erdbebensicherheit wird in der Empfehlung als auch im Merkblatt für bestehende Gebäude ein geringeres Sicherheitsniveau gegenüber Neubauten akzeptiert. Dabei werden die höheren Massnahmenkosten sowie eine reduzierte Restnutzungsdauer berücksichtigt.

Das Akzeptieren eines geringeren Sicherheitsniveaus bestehender Gebäude ist auch in anderen internationalen Richtlinien zur Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude, wie z.B. der US-Richtlinie FEMA-310 "Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings" [9], zu finden.

BWG Verfahren zur Überprüfung bestehender Gebäude

Zur Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Bundesbauten hat das BWG ein 3-stufiges Verfahren entwickelt. Von den rund 2'000 bestehenden Bundesbauten wurde die Überprüfung zunächst auf etwa 500 Gebäude, die zu den Bauwerksklassen II und III gehören und sich in den Gebieten mit erhöhter Erdbebengefährdung befinden, beschränkt (vgl. Abbildung 1: Massnahmenprogramm des Bundes).

Stufe 1: Schnellüberprüfung

In der Stufe 1 sollen diejenigen Gebäude aus dem gesamten Gebäudebestand ausgeschieden werden, deren Risikopotenzial unbedeutend ist. Dies geschieht anhand einer kurzen Checkliste mit der die Bauwerksklasse (Bedeutung und Funktion) des Gebäudes und der Baustoff des Tragwerks zweifelsfrei identifiziert werden. Die verbleibenden Gebäude werden in Stufe 2 und evtl. 3 genauer untersucht. Der Aufwand der Stufe 1 beträgt weniger als einen halben Tag pro Gebäude.

Stufe 2: Überprüfung mit Fragenlisten und einfachen Berechnungen

Mit der Stufe 2 soll eine zuverlässige Einschätzung der Erdbebensicherheit einzelner Gebäude erreicht werden. Zu diesem Zweck wurde eine neue Richtlinie erarbeitet [10], die es erlaubt, mit Fragenlisten und einfachen Berechnungen allfällige Mängel bezüglich der Erdbebenresistenz des Tragwerks, des Baugrunds und der nicht tragenden Bauwerksteile zu erkennen. Diese Richtlinie orientiert sich am Stand der Technik und baut auf einem amerikanischen Überprüfungsverfahren (FEMA-310) auf, wobei sie die Schweizer Bautechnik der Vergangenheit und Gegenwart berücksichtigt. Der Aufwand beträgt auf dieser Stufe – je nach Komplexität des Bauwerks – drei bis fünf Tage Arbeit pro Gebäude.

Stufe 3: Detaillierte Berechnungen

Gebäude, deren Erdbebensicherheit nach der Stufe 2 noch nicht vollumfänglich belegt ist, sollen in der Stufe 3 von Experten detaillierter untersucht werden. Diese Untersuchungen können mehrere Wochen umfassen und zielen darauf ab, das Verhalten des Gebäudes möglichst realitätsnah abzubilden und so konservative Annahmen der vereinfachten Einschätzungen in Stufe 2 abzubauen. Falls sich die Erdbebensicherheit nach dieser detaillierten Analyse als ungenügend herausstellt, sollen Ertüchtigungsmassnahmen projektiert werden.

Damit stehen für die Beurteilung der Bauwerke mehrere Richtlinien bzw. Normen zur Verfügung. Allfällige Mängel können so identifiziert und mögliche Ertüchtigungsmassnahmen unter Berücksichtigung der Kosten und deren Wirksamkeit evaluiert werden.

Der Teil der Anlagen, der in Schutzbauten untergebracht ist (Kommandoposten, Bereitstellungsanlagen, geschützte Sanitätsstellen und geschützte Spitäler) kann ohne weitere Massnahmen als funktionstüchtig nach einem mittelstarken bis starken Erdbeben betrachtet werden. Die Anlagen sind zwar in der Regel nicht speziell für Erdbeben ausgelegt, doch aufgrund ihrer Auslegung gegen einen atomaren Angriff sind die Schutzräume derart robust erstellt, dass sie stärkere Erdbeben ohne grössere Schäden überstehen können. Allerdings muss mit Verschüttung der Eingänge gerechnet werden.

Leitungssysteme und fest installierte Geräte

Die Funktionsfähigkeit vieler Anlagen hängt nicht nur vom Tragwerk, sondern auch in entscheidendem Mass von den darin untergebrachten Leitungen und fest installierten Geräten ab. Erfahrungen aus Erdbeben haben gezeigt, dass dabei besonders die Verankerungen kritisch sind. Eine ungenügende Verankerung der Geräte führt zu deren Herunterfallen oder Umkippen, womit häufig ihre Funktionstüchtigkeit verloren geht. Bei Leitungen können aufgezwungene Verformungen durch inadäquate Verankerungen zu Leitungsbrüchen und damit zu einem Unterbruch in der Versorgung führen. Auch die Erschütterungsempfindlichkeit der Geräte spielt eine wichtige Rolle.

2.5.2 Infrastrukturelemente

Strassenverkehr

Das Strassennetz bildet das wichtigste Verkehrssystem zur Versorgung der betroffenen Gebiete. Schwachstellen sind zum einen die Kunstbauten, insbesondere Brücken, die, wenn sie nicht speziell für Erdbeben ausgelegt sind, sehr verletzbar sein können. Zum anderen kann die Durchfahrt durch Erdrutsche und eingestürzte Gebäude versperrt werden. Letzteres betrifft vor allem grössere Agglomerationen und lässt sich durch baulich-technische Massnahmen kaum verhindern. Hier muss auf Alternativrouten ausgewichen oder mit effizienten Hilfsmitteln die Strasse wieder freigeräumt werden. Dies ist vor allem in der Rettungsphase von grosser Bedeutung, wenn es um die Bergung verschütteter und die Rettung verletzter Personen geht. Eine "Notfallplanung Strassen" für Naturkatastrophen wäre Angelegenheit der Kantone.

Erdrutschgefährdete Hänge sind vielerorts bekannt und können durch baulich-technische Massnahmen stabilisiert werden. Die Kunstbauten wichtiger Lifeline-Strassen sollten – analog zu den Gebäuden der Lifeline-Anlagen – auf ihre Erdbebensicherheit hin überprüft und gegebenenfalls mit baulich-technischen Massnahmen erdbebensicher gestalten werden. Für die Nationalstrassen hat das ASTRA schon ein Programm zur Verbesserung der Erdbebensicherheit der Kunstbauten eingeleitet. Vorerst wird die Erdbebensicherheit sämtlicher Brücken nach einem zweistufigen Verfahren beurteilt, wobei die erste Stufe explizit auch die Einstufung in eine Bauwerksklasse und damit einen Schritt zur Identifizierung der Lifelines umfasst. Anschliessend ist geplant, das Verfahren auf die übrigen Kunstbauten der Nationalstrasse wie Stützmauern, Böschungen, Schutzgalerien, Tunnelportale etc. auszudehnen.

Bahnverkehr

Die Bahnanlagen sind aufgrund ihres komplexen und technisch anspruchsvollen Systems in der Regel verletzbarer als das Strassennetz. Ein Unterbruch von Bahnverbindungen nach starken Erdbeben lässt sich daher nicht ausschliessen. Jedoch kann durch den Netzcharakter des Bahnsystems der Ausfall einer Bahnverbindung teilweise über andere Bahnlinien kompensiert werden, oder die Funktion einer Bahn kann von anderen Verkehrsmitteln übernommen werden. Flächendeckende baulich-technische Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit, die zum Teil mit unverhältnismässigen Investitionen verbunden wären, sind daher nicht zwingend. Allerdings könnten – ähnlich wie beim Strassennetz – Kunstbauten entlang wichtiger Linien auf ihre Erdbebensicherheit geprüft und ggf. entsprechend saniert werden.

Flugverkehr

Die Flugplätze sind räumlich breit verteilt; d.h. selbst beim Ausfall eines Flugplatzes aufgrund grösserer Schäden (insbesondere die Start- und Landebahnen können durch Bodenverflüssigung über längere Zeit ausfallen) ist die Versorgung von ausserhalb der Schweiz sichergestellt. Baulich-technische Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit der Flugplätze sind daher nicht nötig. Für die feinere örtliche Verteilung können zur Unterstützung der terrestrischen Transporte zum Teil Helikopter zum Einsatz kommen, deren Standplätze ebenfalls über die Schweiz verstreut liegen. Dies gilt allerdings nur bei günstigen meteorologischen Verhältnissen. Ein kritischer Punkt bleibt die Flugsicherung. Erfahrungen aus dem Erdeben in Kobe, Japan 1995 haben gezeigt, dass der Luftraum über den Katastrophengebieten sehr rasch durch intensive Flugbewegungen blockiert wird. Ohne zuverlässige Flugkontrolle steigt damit die Unfallgefahr und die Zuführung von Hilfsmannschaften und Rettungsmaterial wird verzögert.

Schiffsverkehr

Die Bedeutung des Schiffsverkehrs für die Versorgung ist von Gebiet zu Gebiet sehr unterschiedlich. Im Notfall kann jedoch überall auf alternative Verkehrsmittel zurückgegriffen werden, so dass baulich-technische Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit nicht erforderlich sind.

Elektrizitätsversorgung

Die Elektrizitätsversorgung ist Voraussetzung für die Funktionstüchtigkeit fast aller zur Bewältigung eines Erdbebenereignisses nötigen Lifelines. Die Elektrizitätsversorgung der Führungs- und Einsatzorgane ist durch Notstromaggregate gewährleistet. Diese benötigen lediglich einen Nachschub an Brenn- und Treibstoffen. Ihre Einsatzbereitschaft kann allerdings durch inadäquate Befestigung oder mangelnden Unterhalt gefährdet werden. Die Funktionstüchtigkeit nach einem mittelstarken bis starken Erdbeben sollte daher überprüft werden.

Die Elektrizitätsversorgung der Bevölkerung, der Betriebe und Einrichtungen der öffentlichen Hand kann nicht allein mit Notstromaggregaten sichergestellt werden, sondern benötigt ein funktionierendes Versorgungsnetz. Kritische Elemente dieses Netzes sind vor allem die Unterwerke, in zweiter Linie auch die Kraftwerke, zudem Freiluftschaltanlagen mit Porzellanisolatoren, weniger die Leitungen. Versagen von Hochleitungsmasten wurden nur sehr selten beobachtet, meistens in Verbindung mit Erdrutschen oder Bodenverflüssigungen; auch unterirdische Leitungen sind eher unkritisch. Die Verletzbarkeit der Unterwerke und der Kraftwerke geht zum einen auf die Bauwerke zurück, die beschädigt werden können, und zum anderen auf die Geräte und Rohrleitungen. Dabei liegt das Hauptproblem in inadäquaten Befestigungen.

Welche Folgen der Ausfall einzelner Leitungen haben kann, hat sich in den letzten Monaten eindrucksvoll gezeigt: Im September 2003 brach nach dem Ausfall der Höchstspannungsleitung über den Lukmanierpass die Stromversorgung für nahezu 57 Millionen Menschen in Italien zusammen. Nur wenige Tage zuvor waren mehrere Millionen Menschen in Dänemark und Schweden von einem Stromausfall betroffen, nachdem es bei Wartungsarbeiten in einem schwedischen Kernkraftwerk zu Problemen gekommen war. Mitte August fiel das veraltete Elektrizitätsnetz Nordostamerikas aus. Betroffen waren Teile Kanadas und der USA mit insgesamt ca. 50 Millionen Einwohnern. Ende August verursachte ein Fehler in einem Transformatoren-System einen ca. 30-minütigen Stromausfall in London und Südostengland.

Zur Gewährleistung der nötigen Elektrizitätsversorgung innerhalb einer nützlichen Frist nach einem Erdbeben sollten daher, als Grundlage für allfällige Massnahmen (präventiv oder provisorisch) die Lifeline-Elemente des Elektrizitätsnetzes auf ihre Erdbebensicherheit hin untersucht werden.

Trinkwasserversorgung

Nach einem Erdbeben muss die Trinkwasserversorgung sowohl für die Bevölkerung als auch für die Gesundheitsversorgung sichergestellt sein. Das Netz der Trinkwasserversorgung ist nicht speziell auf Erdbeben ausgelegt. Es muss daher mit Ausfällen bei der regulären Trinkwasserversorgung gerechnet werden. Kritische Elemente sind zum einen die Bezugspunkte, z.B. Beschädigung der Brunnen oder Ausfall der Grundwasserpumpwerke aufgrund eines Unterbruchs in der Elektrizitätsversorgung, und zum anderen die Rohrleitungen, die das Wasser verteilen, wobei oberirdische Leitungen, vor allem Anschlüsse, in der Regel verletzbarer sind

als unterirdische. Die Wiederherstellung der regulären Versorgung kann Tage bis Wochen beanspruchen. Aufgrund der zahlreichen Bezugspunkte in der Schweiz wird jedoch die Sicherheit der Trinkwasserversorgung als verhältnismässig hoch eingestuft. Einige Städte verfügen für den Notfall über mobile Trinkwasseraufbereitungsanlagen. Zusätzlich kann in der Rettungsphase eine Versorgung mit Tankwagen erfolgen. Die 1991 vom Bund erlassene Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Notlagen (SR 531.32) VTN soll unter anderem gewährleisten, dass "das zum Überleben notwendige Trinkwasser jederzeit vorhanden ist". Dazu werden Mindestmengen festgeschrieben, die für Menschen und Nutztiere verfügbar sein müssen. Der Vollzug der Verordnung liegt bei den Kantonen. Dabei sollte die Erdbebengefährdung mit einbezogen werden.

Versorgung mit Brenn- und Treibstoffen

Ein Unterbruch in der regulären Versorgung mit Brenn- und Treibstoffen kann durch Anlieferung aus benachbarten Gebieten überbrückt werden. Jedoch stellen die sekundären Gefahrenpotenziale für Mensch und Umwelt, die von den gelagerten Mengen an umweltgefährdenden, brennbaren und explosiven Brenn- und Treibstoffen ausgehen, ein erhebliches Problem dar. Mit dem Vollzug der Störfallverordnung wurde teilweise auch die Erdbebensicherheit grösserer Lager und Transportwege für Brenn- und Treibstoffe überprüft.

Ausserdem verlaufen durch die Schweiz einige wichtige Transitgasleitungen. Ein Unterbruch könnte unter Umständen den Zusammenbruch der Gasversorgung in weiten Teilen Europas bedeuten.

Abfallentsorgung

Um tragbare hygienische Verhältnisse zu gewährleisten, muss spätestens in der Bewältigungsphase wieder eine wirksame Abfallentsorgung einsetzen. In der Schweiz sind gewisse Redundanzen für die Verbrennung und Deponierung von Abfällen vorhanden. Fällt eine Verbrennungsanlage aus, kann der Abfall auch in Entsorgungsanlagen ausserhalb des betroffenen Gebiets abtransportiert werden. Zusätzlich existieren in den einzelnen Kantonen auch Vorkehrungen für Notfälle, wie z.B. Notdeponien und Wasenplätze. Der weitgehend inerte Bauschutt, der nach einem Erdbeben in erheblichen Mengen anfallen kann, lässt sich in der Regel, soweit er nicht sofort definitiv entsorgt werden kann, auf Zwischendeponien lagern. Spezielle vorkehrende Massnahmen zur Erdbebensicherung der Abfallentsorgung sind daher nicht nötig.

Abwasserentsorgung

Um sowohl akzeptable hygienische Verhältnisse aufrecht zu erhalten als auch Umweltkontaminationen vorzubeugen, sollte möglichst bald nach einem Erdbeben eine funktionstüchtige Abwasserentsorgung vorhanden sein. Kritische Elemente sind zum einen die Abwasserreinigungsanlagen und die Pumpen, die durch Beschädigungen oder durch einen Unterbruch in der Elektrizitätsversorgung ausfallen können, und zum anderen, analog wie beim Trinkwasser, die Rohrleitungen, wobei vor allem oberirdische Leitungen und Anschlüsse verletzbar sind. Da es in der Regel keine Ausweichmöglichkeit gibt, sollten die Erdbebensicherheit der wichtigs-

ten Abwasserreinigungsanlagen sowie der Sammelleitungen überprüft und allfällige baulich-technische Massnahmen durchgeführt werden.

Alarmierung

Mit der Alarmierung wird die Bevölkerung aufgefordert, Informationen einzuholen. Die festinstallierten Sirenenanlagen sind nicht unbedingt für Erdbeben ausgelegt und daher anfällig gegenüber Schäden. Jedoch verfügen die Einsatzdienste teilweise über mobile Sirenen und Fahrzeuge, die mit Lautsprechern ausgerüstet sind. Ausserdem wird das Beben selbst die Bevölkerung dazu veranlassen, Informationen einzuholen.

Radio

Die überlebenswichtigen Informationen werden der Bevölkerung im Notfall über Radio DRS und evtl. über Lokalsender übermittelt. Zur Sicherstellung der Radioversorgung ist ein komplexes Netzwerk von Anlagen, Kabeln etc. nötig. Bei einem stärkeren Erdbeben muss daher damit gerechnet werden, dass einige lokale Sendeanlagen zumindest vorübergehen ausfallen werden. Nach Einschätzung der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» verfügt jedoch SF DRS über Sendeanlagen, die stark genug sind, um Ausfälle in einer Region zu überbrücken. Zusätzlich sind geschützte Studios und Antennen vorhanden.

Die Nutzung der VRK-UKW-77 Anlagen ist problematisch, da bei ihrer Aktivierung sämtliche Frequenzen über grosse Distanzen stark gestört werden (Verletzung von nationalen und internationalen Übertragungsrechten). Aus diesem Grund hat SF DRS die Verantwortung für die Aktivierung dieser Anlagen an die Nationale Alarmzentrale, als dem Führungsorgan des Bevölkerungsschutzes, delegiert. Ausserdem können diese Sendeanlagen in hügeligem und alpinem Gelände nicht alle Bereiche einer betroffenen Region abdecken (Funkschatten). Gemäss Bundesratsbeschluss vom 25.6.2003 werden die geschützten Studios ab 1.1.2005 aufgelöst.

Telekommunikation

Die Kommunikation zwischen den Führungs- und Einsatzorganen spielt bei der Bewältigung eines Erdbebens eine zentrale Rolle. Wesentlich sind etwa eine rasche Lageübersicht, die logistische Koordination, die Organisation überörtlicher Hilfe und die Information der Bevölkerung. Es muss daher ein Telekommunikationsnetz zur Verfügung stehen, das ein schweres Erdbeben übersteht und auf allen Stufen (Gemeinde, Kanton, Bund) jederzeit verfügbar ist.

Das normale Festnetz sowie die Mobilfunknetze sind nicht auf Erdbeben ausgelegt, ihre Funktionstüchtigkeit nach einem mittelstarken bis starken Erdbeben steht daher in Frage. Den Führungs- und Einsatzorganen steht jedoch das System der VULPUS-Telematik zur Verfügung. Dabei handelt es sich um ein E-Mail-Netzwerk mit hoher Ausfallsicherheit, dessen Terminals ausschliesslich in geschützter Umgebung installiert sind. Die Erdbebensicherheit aller Einrichtungen des geschützten Netzwerks sowie weiterer Kommunikationsmittel, die für den Einsatz in Notfällen vorgesehen sind, müssen allerdings noch überprüft und durch allfällige Massnahmen sichergestellt werden.

In der Bewältigungsphase wird ein erweitertes Telekommunikationsnetz benötigt. Hierbei haben sich in anderen Ländern provisorische Mobilfunknetze bewährt. Auch die Swisscom besitzt Krisenteams zur provisorischen Wiederinstandsetzung der Telekommunikationsversorgung nach Naturkatastrophen.

2.5.3 Erdbebensicherheit der Lifelines in der Schweiz

Aufgrund der Erfahrungen der Mitglieder der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines», der Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt im Kanton Nidwalden sowie von Erfahrungen aus vergangenen Erdbeben wurden der Schutz der verschiedenen Lifeline-Kategorien in der Schweiz gegen Erdbeben evaluiert und der Handlungsbedarf identifiziert.

Handlungsbedarf ausserhalb der Kompetenz des Bundes

Bei den Anlagen der Gesundheitsversorgung ist nach Ansicht der Arbeitsgruppe Handlungsbedarf vorhanden. Jedoch besitzt der Bund in diesem Bereich keine Kompetenzen. Die Gesundheitsversorgung ist primär Sache der Kantone. Gemäss Leitbild Bevölkerungsschutz (2001) ist es jedoch Aufgabe des Bundes, bei ausserordentlichen Lagen eine übergeordnete Koordination der sanitätsdienstlichen Belange sicherzustellen.

Im Verlauf des Pilotprojekts «Lifelines» zeigte sich zudem, dass die Ressourcen der Feuerwehren voraussichtlich bei weitem nicht ausreichen werden, die vielfältigen Aufgaben, die sich nach einem stärkeren Erdbeben stellen, zu übernehmen. Auch hier besitzt der Bund keine eigentlichen Kompetenzen, da dieser Bereich unter kantonale Hoheit fällt. Jedoch kann der Bund im Ereignisfall aufgrund von Begehren z.B. Armeeeinheiten sowie Material bereitstellen.

Handlungsbedarf in der Kompetenz des Bundes

Die Strassen bilden das wichtigste Verkehrssystem zur Bewältigung eines Erdbebens. Nach Ansicht der Arbeitsgruppe ist daher in der Kategorie Strassen (Nationalstrassen und andere wichtige Haupt- und Zufahrtsstrassen) ein Kataster der Lifelines als Grundlage für weitere Schutzmassnahmen erforderlich. Das ASTRA hat bereits ein mehrstufiges Programm zur Verbesserung der Erdbebensicherheit der Kunstbauten eingeleitet, wobei die erste Stufe auch die Identifizierung der Lifelines umfasst.

Bei den Anlagen und Infrastruktur der Elektrizitätsversorgung und der Abwasserentsorgung ist nach Ansicht der Arbeitsgruppe ebenfalls Handlungsbedarf vorhanden. Der Handlungsspielraum des Bundes muss hier überprüft und gegebenenfalls müssen Massnahmen ergriffen werden.

Kein Handlungsbedarf aufgrund ausreichender Massnahmen

Bei Anlagen der Führung, der Ordnung und Sicherheit, bei der Trinkwasserversorgung und bei der Betreuung und Notfallversorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln sowie in den Bereichen Alarmierung, Radio und Telekommunikation wurden bereits Massnahmen getroffen, die nach Einschätzung der Arbeitsgruppe

voraussichtlich ausreichen werden, um auch ein mittelstarkes bis starkes Erdbeben zu bewältigen.

Die Kommunikation wird derzeit zudem von der Arbeitsgruppe «Einsatzkonzept für den Fall eines Erdbebens in der Schweiz» vertieft untersucht. Dabei wird als eines der Basisszenarien auch ein Beben mit einer Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren (auslegungsüberschreitendes Szenario) betrachtet. Die Untersuchungen zeigen, dass bei solch einem schweren Erdbeben die Kommunikation wahrscheinlich nicht mehr gewährleistet ist und daher Handlungsbedarf besteht.

Kein Handlungsbedarf aufgrund ausreichender Redundanzen

Brenn- und Treibstoffe können, sofern die Lifelines im Strassennetz funktionsfähig sind, von Regionen ausserhalb des betroffenen Gebiets antransportiert werden. Das Gleiche gilt für den Abtransport von Abfällen, so dass in diesen Bereichen nach Ansicht der Arbeitsgruppe keine besonderen Massnahmen erforderlich sind.

Im Bereich des Flugverkehrs mit Helikoptern besteht bereits eine ausreichende Sicherheit gegenüber Erdbeben, unter anderem aufgrund der Vielzahl und der breiten räumlichen Verteilung der Helikopterbasen.

Kein Handlungsbedarf aufgrund unverhältnismässigen Aufwands

Die Bahnen sind sehr verletzbar gegenüber Erdbebeneinwirkungen. Ihr Schutz wäre nur mit ausgesprochen hohem Aufwand möglich, der angesichts weitgehender Redundanzen zum Strassenverkehr unverhältnismässig erscheint. Die Bahnen wurden daher von den zu erfassenden Lifelines ausgenommen.

Vorhandene Grundlagen

Bei der Erstellung der Inventare können Risikokataster beigezogen werden, die in zahlreichen Kantonen vorliegen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf sekundäre Gefahrenpotenziale wie Freisetzung toxischer Stoffe, Brände, Explosionen, Überflutungen oder Rutschungen.

3. Folgerungen und Handlungsbedarf

Sensibilisierung und Information

Die Identifikation und der Schutz von Lifelines wurden in der Schweiz bisher kaum thematisiert. Daher besteht Bedarf an Massnahmen zur Sensibilisierung und Information von Fachleuten sowie weiteren interessierten Kreisen, z.B. aus den Bereichen Bauwesen, Sachversicherung und Bevölkerungsschutz.

Inventare und Schutzmassnahmen

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» besteht vor allem bei folgenden Lifeline-Kategorien noch Handlungsbedarf (vgl. auch 2.5.3):

Lifeline-Kategorie	Handlungsbedarf und Begründung
Gesundheitsversorgung	Offene Fragen bestehen im Hinblick auf die Bewältigung von Erdbeben; dieser Bereich liegt jedoch im Kompetenzbereich der Kantone
Schutz und allgemeine Schadenabwehr	Offene Fragen bestehen im Hinblick auf die Bewältigung von Erdbeben; dieser Bereich liegt jedoch im Kompetenzbereich der Kantone
Strassenverkehr	Kataster erstellen als Grundlage für weitere Schutzmassnahmen
Elektrizitätsversorgung	Handlungsmöglichkeiten des Bundes überprüfen und ggf. Massnahmen ergreifen, da noch offene Fragen im Hinblick auf die Bewältigung von Erdbeben bestehen
Abwasserentsorgung	Handlungsmöglichkeiten des Bundes überprüfen und ggf. Massnahmen ergreifen, da noch offene Fragen im Hinblick auf die Bewältigung von Erdbeben bestehen

Im Bereich der Gesundheitsversorgung, des Schutzes und der allgemeinen Schadenwehr besitzt der Bund kaum Handlungsspielraum. Die Handlungsmöglichkeiten des Bundes in den Bereichen Elektrizitätsversorgung und Abwasserentsorgung müssen noch genauer überprüft werden. Jedoch werden die Führungsorgane der Kantone dort, wo die Ressourcen im Katastrophenfall nicht ausreichen, Begehren an den Bund stellen, die nötigen Mittel aus den nicht betroffenen Gebieten sowie international zu mobilisieren und zu koordinieren. Es liegt daher im Interesse des Bundes, die Kantone bei der Erdbebensicherung ihrer Lifelines zu unterstützen.

Die Kommunikation zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden wird derzeit von der Arbeitsgruppe «Einsatzkonzept für den Fall eines Erdbebens in der Schweiz» vertieft untersucht (vgl. Abschnitt 2.4 und Massnahmenprogramm des Bundes, Abbildung 1). Dieser Bereich ist sehr kritisch für die Ereignisbewältigung. Erste Untersuchungen von Szenarien (unter anderem ein werden auch Szenarien mit Wiederkehrperioden von 1'000 Jahren betrachtet) deuten auf einen dringenden Handlungsbedarf hin.

Richtlinien und Empfehlungen

Für die Überprüfung der Erdbebensicherheit von Tragwerken sowie für die erdbebensichere Gestaltung von Tragwerken existieren in der Schweiz Richtlinien und Normenwerke (vgl. Abschnitt 2.5.1). Für die konstruktive Ausbildung und Bemes-

sung von Infrastrukturelementen, von Leitungssystemen und fest installierten Geräte sind entsprechende Richtlinie weltweit erhältlich. Diese müssten unter Umständen lediglich auf Schweizer Verhältnisse angepasst werden. Dagegen fehlen Richtlinien für die Erdbebenauslegung von ganzen Netzen.

Lifelines und sekundäre Gefahrenpotenziale

Aus der Sicht der Arbeitsgruppe sollten zudem die Wechselwirkungen von Lifelines und sekundären Gefahrenpotenzialen näher untersucht werden: Einige Lifelines bergen selbst Gefahrenpotenziale. So können beispielsweise durch ein Erdbeben zerstörte Gasleitungen zu Bränden und Explosionen führen, das aus Trinkwasserleitungen ausströmende Wasser Fundamente unterspülen oder Räume, in denen sich Verschüttete befinden, überfluten. Andererseits sind Lifelines nicht nur durch die direkte Erdbebeneinwirkung, sondern auch durch Folgen von Beben bedroht. Dazu zählen beispielsweise Hangrutschungen, die Strassen verschütten, oder Brände, von denen Spitäler oder Sanitätsstellen betroffen sind. Für eine derartige Untersuchung kann vielfach auf bereits bestehende Risikokataster zurückgegriffen werden.

Ausweitung auf andere Naturgefahren

Die Ermittlung und der Schutz von Lifelines sind nicht nur im Hinblick auf das Erdbebenrisiko von Bedeutung, sondern ebenso für andere Naturgefahren aber auch für zivilisationsbedingte Risiken. Inventare von Lifelines sollten daher auch im Hinblick auf andere Naturgefahren, evtl. sogar auf ein breiteres Spektrum von Risiken erstellt werden. Die Zusammenarbeit mit anderen Partnern der Vorsorge ist hierbei wichtig.

4. Anträge und Massnahmen des Bundes für den Zeitraum von 2005 bis 2008

Aufgrund der Ergebnisse der Arbeitsgruppe «Erdbebenvorsorge und Lifelines» und dem offengelegten Handlungsbedarf schlägt die Arbeitsgruppe für die Jahre 2005 bis 2008 drei Sofortmassnahmen vor:

1. Instrumentarium
   - Entwicklung eines Instrumentariums für Bundesbehörden, mit dem sich Lifelines ermitteln und auf ihre Erdbebensicherheit untersuchen lassen
   - Anpassen von Empfehlungen zur erdbebensicheren Ausbildung und Bemessung von Leitungssystemen und Geräten an Schweizer Verhältnisse

2. Umsetzung
   - Das Instrumentarium zur Inventarisierung wird auf Lifelines im Einflussbereich des Bundes umgesetzt. Dabei ist zu beachten, dass sich die Lifeline-Funktion einer Anlage oder eines Infrastrukturelements mit der Zeit ändern kann. Das Inventar wird in einer Datenbank zusammengefasst und in ein Geografisches Informationssystem integriert.
   - Neubauten von Lifelines im Einflussbereich des Bundes sind für die Anforderungen an die Bauwerksklasse III in den Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen auszulegen. Dabei ist zu beachten, dass bei Lifelines nicht nur das Bauwerk, sondern auch die Leitungen und fest installierten Geräte erbebensicher bemessen werden müssen. Die Erdbebensicherheit sollte im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens überprüft werden.
   - Die bestehenden Lifelines im Einflussbereich des Bundes werden im Rahmen ohnehin durchgeführter Ertüchtigungen oder Umbauten unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit der Kosten sowie der Restnutzungsdauer entsprechend dem Merkblatt des SIA [7] gegen Erdbebeneinwirkungen geschützt.

3. Sensibilisierung für die Bedeutung der Erdbebensicherheit von Lifelines
   - Organisation einer Informations- und Diskussionsveranstaltung zur Erdbebensicherheit von Lifelines mit begleitender Medienarbeit. Angesprochen ist ein breiter Adressatenkreis, von Baufachleuten und Experten des Bevölkerungsschutzes bis hin zu interessierten Laien
   - Ausarbeitung und Verteilung einer Informationsbroschüre, in der unter anderem über die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt im Kanton Nidwalden berichtet wird
   - Zusammenstellung von Hilfsmitteln zur Erdbebensicherung von Lifeline-Elementen

Zur Ausarbeitung des Inventars sind noch einige grundsätzliche Fragen zu klären:

- Welche Lifeline-Systeme werden durch das Inventar erfasst? Wird die Inventarisierung für alle Lifeline-Systeme durchgeführt? Oder nur für diejenigen, bei denen die Arbeitsgruppe Handlungsbedarf sieht? Sollen sich die Arbeiten auf lediglich ein System oder einige wenige Systeme konzentrieren, beispielsweise im Bereich der Telekommunikation oder der Elektrizitätsversorgung, deren Sicherheit als vordringlich beurteilt wird?
- Wie detailliert soll das Inventar ausgeführt werden? Werden z.B. nur Nationalstrassen erfasst, oder auch – bundesweit – das Kantonsstrassennetz untersucht?
- Wie weit soll der Bund bei der Inventarisierung gehen, welche Aufgaben soll den Kantonen und Gemeinden überlassen werden? Wäre es beispielsweise sinnvoll, ein flächendeckendes Bundesinventar zu erstellen, dass nur die Agglomerationen ausspart? Die Inventarisierung der Lifelines in Ballungsgebieten wäre dann Aufgabe von Kantonen und Gemeinden.
- Soll die Untersuchung – vor allem auch im Hinblick auf andere Risiken als dasjenige eines Erdbebens – flächendeckend erfolgen, oder sich auf die Erdbeben-Gefährdungszonen 2 und 3 beschränken?
- Wie werden allenfalls zeitliche Prioritäten gesetzt? Sollen etwa Lifelines, bei denen hoher Handlungsbedarf besteht, zuerst bestimmt und Schutzmassnamen eingeleitet werden? Oder ist eine Untersuchung, die von Anfang an unter ganzheitlichem Blickwinkel erfolgt, wirkungsvoller?
- Gibt es neue technische Entwicklungen, etwa in der Bahntechnik, deren Einfluss bei der Inventarisierung berücksichtigt werden muss?
- Inwiefern spielen Kosten-Nutzen-Abwägungen bei der Inventarisierung eine Rolle?

5. Referenzen

[1] Schweizerischer Erdbebendienst: http://www.seismo.ethz.ch

[2] Swisscodes, Schweizer Normen SIA 261-267, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2003.

[3] European Macroseismic Scale 1998, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 1998.

[4] Bundesamt für Zivilschutz: "Katastrophen und Notlagen in der Schweiz – eine vergleichende Übersicht", Bern, 1995.

[5] Bundesamt für Bevölkerungsschutz: "Katastrophen und Notlagen in der Schweiz – eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes“, Bern, 2002.

[6] Nationale Alarmzentrale (Hrsg.): "Einsatzkonzept für den Fall eines Erdbebens in der Schweiz", Entwurf vom 1. August 2003, Zürich, 2003.

[7] SIA: "Überprüfung bestehender Bauten bezüglich Erdbeben". Schweizerischer Ingenieur und Architektenvereins, Merkblatt 2018 in der Vernehmlassung, 2004.

[8] "Empfehlungen für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkung beim Tragsicherheitsnachweis bestehender Bauwerke nach den Swisscodes (2003)", Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, Arbeitspapier, Version 4, September 2003.

[9] FEMA-310: "Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, 1998.

[10] BWG: "Richtlinie zur Erdbebenüberprüfung bestehender Bauwerke, Stufe 2", Bericht, Basler & Hofmann, 19.6.2003.