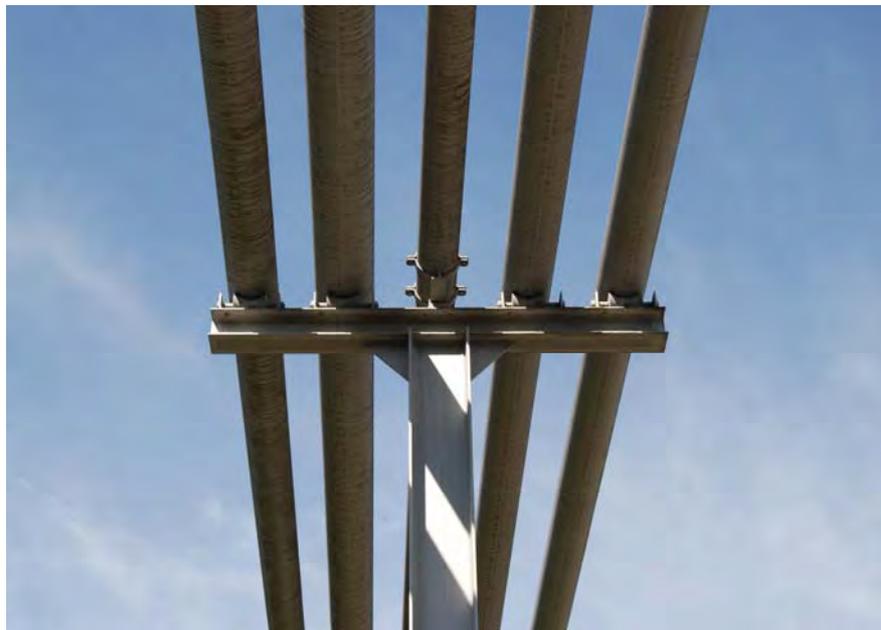


# Erdbebensicherheit der Erdgasversorgung

## Studie



## Technischer Bericht

Carouge und Aarau, 22. November 2012

TB-518.01-1/MK/AS/APS/EK

### **RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA**

21 rue Jacques Grosselin  
CH - 1227 CAROUGE (Genève)

Tél. +41 22 301 02 53  
Fax +41 22 301 02 70  
E-mail [resonance@resonance.ch](mailto:resonance@resonance.ch)

### **Risk&Safety AG**

Bahnhofstrasse 92  
CH - 5000 Aarau

Tel. +41 62 823 78 37  
Fax +41 62 823 78 39  
E-Mail [info@risksafety.ch](mailto:info@risksafety.ch)

## Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Gefahrenprävention, CH-3003 Bern. Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Résonance Ingénieurs-Conseils SA, CH-1227 Carouge  
Risk & Safety AG, CH-5000 Aarau

Autoren: Martin G. Koller, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH  
Alex Scheiwiller, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH

Begleitung BAFU: Blaise Duvernay, dipl. Bauing. ETH  
Sven Heunert, dipl. Bauing. ETH

Begleitgruppe:

- Rudolf Bräuer, dipl. Masch.-Ing. ETH (SVGW)
- Matej Grilc, dipl. Phys. ETH (SVGW)
- Marc Harzenmoser, Dr. sc. techn., dipl. Masch.-Ing. ETH (swissgas)
- Bert Noij, dipl. Masch.-Ing. FH (IWB)
- Franz Stucky, dipl. Masch.-Ing. FH (Lonza AG)
- Jean-Claude Weber, Dr. sc. nat., dipl. Phys. ETH (erdgas Zürich)
- Ruedi Wendelspiess, dipl. Masch.-Ing. ETH (ERI)

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

Freigabe BAFU: 26. November 2012, Andreas Götz, dipl. Bauing. ETH, Vizedirektor

*Titelblatt: Untersicht aufgeständerter Gasleitungen.*

## Abriss

Seit 2001 setzt der Bund ein Massnahmenprogramm "Erdbebenvorsorge" um, bei dem unter anderem die Erdbebenverletzbarkeit der Infrastrukturen untersucht wird. Das Ziel der hier beschriebenen Studie im Auftrag des BAFU besteht darin, die Erdbebenverletzbarkeit der gesamten Erdgas-Transportkette zu untersuchen, um die Risikoschwerpunkte zu identifizieren und den Handlungsbedarf aufzuzeigen. Für die Versorgung mit gasförmigen Brenn- und Treibstoffen sollen im Falle von Erdbeben die Anforderungen an die Sicherheit von Menschen erfüllt sein. Weiterhin müssen die Sach- und Betriebsschäden soweit minimiert werden, als dies mit verhältnismässigem Aufwand möglich ist. Es besteht hingegen für diese Infrastruktur keine unersetzbare Funktion in der Rettungs- und Bewältigungsphase eines Ereignisses.

Aus weltweiten Beobachtungen des Erdbebenverhaltens von Erdgastransport- und -versorgungsanlagen werden Schlussfolgerungen für die Schweiz abgeleitet und der heutigen Baupraxis in der Schweiz gegenübergestellt. Daraus resultieren Vorschläge für gewisse Änderungen in der heutigen Baupraxis. Im Weiteren wird eine Übersicht über die geltenden Gesetze, Verordnungen und Richtlinien gegeben und auf bestehende Lücken hingewiesen. Für den Hochdruckbereich  $> 5$  bar enthält die ERI-Richtlinie 2003 Vorschriften zur Erdbebensicherheit, während für  $\leq 5$  bar keine spezifischen Erdbebenvorschriften existieren, obwohl die meisten Erdbebenschäden gerade im Niederdruckbereich beobachtet werden. Ein weiteres ausführliches Kapitel ist der Notfallplanung für den Erdbebenfall gewidmet.

Kapitel 6 fasst die Risikoschwerpunkte zusammen und listet alle Punkte auf, für die ein Handlungsbedarf zur Verbesserung der Erdbebensicherheit besteht. Die generelle Empfehlung lautet, die Erdbebenverletzbarkeit der Gasversorgung mittelfristig zu verringern, indem entsprechende technische Massnahmen ergriffen werden, sowie die Voraussetzungen zur optimalen Bewältigung eines Erdbebens und dessen Folgen zu schaffen.

## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Abriss .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1. Einleitung.....</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1 Ausgangslage .....  | 5         |
| 1.2 Zielsetzung.....  | 5         |
| 1.3 Grundlagen der Erdgasversorgung .....                                       | 5         |
| 1.4 Aufbau des Berichts.....  | 6         |
| <b>2. Lehren aus Erdbeben im Ausland .....</b>                                  | <b>7</b>  |
| 2.1 Technische Lehren .....   | 7         |
| 2.2 Organisatorische Lehren .....   | 9         |
| 2.3 Brand- und Explosionsgefahr .....   | 10        |
| <b>3. Gesetze, Richtlinien und Normen in der Schweiz.....</b>                   | <b>11</b> |
| 3.1 Übersicht .....   | 11        |
| 3.2 Diskussion der gesetzlichen Grundlagen .....                                | 12        |
| 3.3 Formelle Umsetzung der Vorschriften .....                                   | 12        |
| 3.3.1 Heutige Praxis .....  | 12        |
| 3.3.2 Empfohlene Praxisänderung.....  | 13        |
| <b>4. Heutige Baupraxis – Handlungsbedarf .....</b>                             | <b>14</b> |
| 4.1 Rohrleitungen im freien Gelände .....                                       | 14        |
| 4.2 Einführung von Anschlussleitungen in starre Konstruktionen .....            | 14        |
| 4.2.1 Differentielle Setzungen zwischen Bauwerk und Baugrund.....               | 14        |
| 4.2.2 Heutige Baupraxis in der Schweiz .....                                    | 15        |
| 4.2.3 Handlungsbedarf bezüglich Hauseinführungen .....                          | 17        |
| 4.3 Gebäude der Gasversorgung.....  | 17        |
| 4.3.1 Bisherige Baupraxis.....  | 17        |
| 4.3.2 Handlungsbedarf bei Gebäuden.....   | 18        |
| <b>5. Notfallplanung.....</b>   | <b>18</b> |
| 5.1 Einleitung.....   | 18        |
| 5.2 Rechtliche Vorgaben .....   | 18        |
| 5.2.1 Anforderungen.....  | 18        |
| 5.2.2 Beurteilung Handlungsbedarf .....   | 19        |
| 5.3 Ereignis Erdbeben – Problematik und Folgerungen für die Notfallplanung..... | 19        |
| 5.4 Notfallplanung Betreiber von Erdgasanlagen .....                            | 20        |
| 5.4.1 Heutige Praxis – Beispiel Zürich .....                                    | 20        |
| 5.4.2 Heutige Praxis – Beispiel Basel-Stadt .....                               | 22        |
| 5.4.3 Beurteilung Handlungsbedarf .....   | 23        |
| <b>6. Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf .....</b>                          | <b>24</b> |
| 6.1 Risikoschwerpunkte.....   | 24        |
| 6.2 Rechtlicher Handlungsbedarf .....   | 24        |
| 6.3 Technischer Handlungsbedarf .....   | 25        |
| 6.4 Organisatorischer oder betrieblicher Handlungsbedarf.....                   | 25        |
| <b>7. Quellen.....</b>  | <b>26</b> |

|                  |  |            |
|------------------|--|------------|
| <b>Anhang A:</b> | <b>Erfahrungen bei Erdbeben im Ausland .....</b>                     | <b>A.1</b> |
| A.1              | San Fernando-Beben 1971 (Kalifornien, M = 6.6) .....                 | A.1        |
| A.2              | Whittier Narrows-Beben 1987 (Kalifornien, M = 5.9) .....             | A.3        |
| A.3              | Spitak-Beben 1988 (Armenien, M = 6.9) .....                          | A.3        |
| A.4              | Loma Prieta-Beben 1989 (Kalifornien, M = 7.2).....                   | A.4        |
| A.5              | Northridge-Beben 1994 (Kalifornien, M = 6.7).....                    | A.4        |
| A.6              | Kobe-Beben 1995 (Japan, M = 7.2).....                                | A.5        |
| A.7              | Kocaeli-Beben 1999 (Türkei, M = 7.4).....                            | A.5        |
| A.8              | Chi-Chi-Beben 1999 (Taiwan, M = 7.6) .....                           | A.6        |
| A.9              | Molise-Beben 2002 (Italien, M = 5.7) .....                           | A.6        |
| A.10             | L'Aquila-Beben 2009 (Italien, M = 6.3) .....                         | A.7        |
| <br>             |  |            |
| <b>Anhang B:</b> | <b>Rechtliche Grundlagen .....</b>                                   | <b>B.1</b> |
| B.1              | Generelle Übersicht .....  | B.1        |
| B.1.1            | Rohrleitungsgesetz - RLG .....                                       | B.2        |
| B.1.2            | Rohrleitungsverordnung - RLV .....                                   | B.2        |
| B.1.3            | Verordnung Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen - RLSV .. | B.3        |
| B.1.4            | ERI-Richtlinie 2003 – Revision 2.1 .....                             | B.4        |
| B.1.5            | Richtlinie G2 des SVGW.....  | B.4        |
| B.1.6            | SVGW-Regelwerke G 1001 und G 1002.....                               | B.5        |
| B.2              | Für die Notfallplanung relevante Grundlagen.....                     | B.5        |

## 1. Einleitung

### 1.1 Ausgangslage

Seit 2001 setzt der Bund ein Massnahmenprogramm "Erdbebenvorsorge" um ([www.bafu.admin.ch/erdbeben](http://www.bafu.admin.ch/erdbeben)), bei dem unter anderem die Erdbebenverletzbarkeit der Infrastrukturen untersucht wird. Die Versorgung mit gasförmigen Brenn- und Treibstoffen hat in der Schweiz keine Lifeline-Funktion, da sie keine unersetzbare, überlebenswichtige Dienstleistung in der unmittelbaren Rettungs- und Bewältigungsphase eines Erdbebens darstellt. Trotzdem ist es wichtig, die Erdbebensicherheit der Erdgasversorgung etwas genauer unter die Lupe zu nehmen, und dies vor allem aus zwei Gründen:

- Das Gefährdungspotenzial ist nicht zu unterschätzen, können doch erfahrungsgemäss Gasleitungsbrüche infolge eines Erdbebens zu Gasbränden führen, welche Menschen gefährden und die Schäden stark vergrössern können.
- Die Versorgung mit Erdgas als Energieträger ist von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung, so dass es wichtig ist, etwaige Ausfälle möglichst kurz zu halten.

Die Anforderungen an die Sicherheit von Menschen müssen gewährleistet werden und die Sach- und Betriebsschäden sollten darüber hinaus im Falle eines Erdbebens soweit minimiert werden, als dies mit verhältnismässigem Aufwand möglich ist.

### 1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Studie besteht darin, die Erdbebenverletzbarkeit des gesamten Erdgasnetzes zu untersuchen und Massnahmen vorzuschlagen, um die vorhandene Verletzbarkeit zu reduzieren. Massnahmen sollen sowohl bei Planung und Bau wie auch beim Betrieb vorgeschlagen werden und können rechtlicher, technischer oder organisatorischer Art sein.

Es geht in diesem Zusammenhang darum,

- den Handlungsbedarf aufzuzeigen,
- die Selbstverantwortung der Branche zu fördern,
- Lösungsansätze aufzuzeigen,
- benötigte Grundlagen zur Verfügung zu stellen.

### 1.3 Grundlagen der Erdgasversorgung

Erdgas ist typischerweise zusammengesetzt aus 88 bis 95 % Methan, 2 bis 6 % Ethan sowie wenigen Prozenten Propan, Butan, Stickstoff und Kohlendioxid. Diese Zusammensetzung variiert je nach Förderquelle.

Erdgas ist a priori geruch- und farblos. Damit Gaslecks bemerkt werden, wird jedoch aus Sicherheitsgründen ein Geruchsträger beigemischt (sogenannte Odo-risierung). Im Gegensatz zu Propangas ist Erdgas leichter als Luft.

Nicht alle Gas-Luft-Gemische sind entzündbar; entweder ist die Gaskonzentration zu gering, oder aber zu hoch, so dass zu wenig Sauerstoff vorhanden ist. Die untere Grenze der Brennbarkeit liegt etwa bei 4 % Erdgas, die obere Grenze bei zirka 17 %. Die optimale Konzentration für eine Verbrennung liegt bei etwa 10 %.

Das Erdgas wird von der Förderquelle bis zum lokalen Gasversorger mit einem Druck von 16 bis 85 bar transportiert. An der Übergabestelle zum Versorgungsnetz der lokalen Versorger, einer sogenannten Druckreduzier- und Messtation (DRM), wird der Druck auf typischerweise zirka 5 bar gesenkt. Im Versorgungsnetz des örtlichen Erdgasversorgers wird anschliessend das Druckniveau in mehreren Stufen weiter gesenkt, bis es dem jeweiligen Kunden mit dem nutzbaren Druck zur Verfügung steht (nach (1)).

Man spricht in der Schweiz einerseits von Hochdruck für Drücke über 5 bar, andererseits aber auch, in der Terminologie des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW), für Drücke von 1 bis 5 bar. Im vorliegenden Bericht wird immer spezifiziert, ob es sich um Hochdruck "> 5 bar" oder um Hochdruck " $\leq$  5 bar" handelt. Weiter werden die Bezeichnungen Mitteldruck (0.1 bis 1 bar), erhöhter Niederdruck (35 bis 100 mbar) sowie Niederdruck (zirka 22 mbar) verwendet.

Die Gasversorgung im Hochdruckbereich > 5 bar unterliegt der technischen Oberaufsicht des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorats (ERI), welches mit einer Richtlinie die Planung, den Bau und den Betrieb von Rohrleitungsanlagen mit Drücken > 5 bar vorschreibt. Die revidierte ERI-Richtlinie 2003 beinhaltet einige Aspekte zur Erdbebensicherheit, insbesondere die Bemessung von Gebäuden gemäss der Norm SIA 261. Die Verantwortung der fachgerechten Umsetzung dieser erdbebenspezifischen Vorschriften wird aber heutzutage dem Betreiber überlassen, ohne weitere fachliche Kontrolle seitens der Behörden.

Für den Druckbereich  $\leq$  5 bar sind keine spezifischen Erdbebenvorschriften vorhanden, obwohl erfahrungsgemäss gerade dieser Bereich die grösste Erdbebenverletzbarkeit aufweist.

#### 1.4 Aufbau des Berichts

Kapitel 2 zeigt auf, was für Lehren aus Erfahrungen bei Erdbebenereignissen im Ausland für die Schweiz abgeleitet werden können. Als Hintergrundinformation enthält Anhang A zusätzlich Erfahrungsberichte von zehn verschiedenen Erdbeben mit Informationen zum Erdbebenverhalten der jeweils betroffenen Gasversorgung.

In Kapitel 3 werden die gesetzlichen Grundlagen und deren Umsetzung in der Praxis diskutiert; die gesetzlichen Grundlagen als solche sind im Anhang B aufgeführt. Schliesslich werden für die konkrete Umsetzung Verbesserungsvorschläge entwickelt. Die heutige Baupraxis wird in Kapitel 4 beschrieben, wobei besonders auf die Hauseinführungen und deren Problematik bei differentiellen Setzungen eingegangen wird. Kapitel 5 behandelt das Thema Notfallplanung im Erdbebenfall in ausführlicher Weise.

In den Kapiteln 2 bis 5 steht die Beschreibung und Diskussion möglicher Schwachstellen im Vordergrund, aber auch der Handlungsbedarf, der sich aus diesen Schwachstellen ergibt, wird bereits angesprochen. Im Sinne einer Schlussfolgerung präsentiert Kapitel 6 schliesslich, nach einer Zusammenfassung der Risikoschwerpunkte, eine Liste aller konkreten Punkte mit Handlungsbedarf.

## 2. Lehren aus Erdbeben im Ausland

Im Anhang A sind, basierend auf den Quellen (2) bis (12), zahlreiche Beobachtungen zum Verhalten der Gasversorgung bei Erdbeben, die weltweit aufgetreten sind, zusammengestellt. Bevor Lehren aus diesen Beobachtungen für die Schweiz abgeleitet werden können, ist allerdings zu überlegen, inwiefern diese auf schweizerische Verhältnisse übertragbar sind.

Die im Anhang A behandelten Beben weisen entweder Magnituden auf, wie sie typischerweise in der Schweiz alle 100 bis 1000 Jahre zu erwarten sind ( $M \leq \sim 7$ ), oder aber Magnituden, die grösser sind ( $M > \sim 7$ ) und in der Regel zu grösseren Bodenverschiebungen führen. Ausser bei den beiden im Anhang A behandelten italienischen Beben dürften die Bodenverhältnisse in den meisten der dargelegten Fälle ungünstiger (setzungs- oder verflüssigungsempfindlicher) gewesen sein, als in typischen schweizerischen Agglomerationen – von sehr wenigen Ausnahmen, wie zum Beispiel Teilen Luzerns, abgesehen. Die Rohrleitungen dürften sich daher in der Schweiz generell eher günstiger verhalten. Die Übertragung der entsprechenden weltweiten Erfahrungen auf die Schweiz liegt also gewissermassen auf der sicheren Seite.

Anders sieht es bei Schäden an der Gasversorgung aus, die unmittelbar auf Gebäudeschäden zurückzuführen sind. Bei der Erdbebensicherheit von Gebäuden ist die Schweiz heute noch weniger gut vorbereitet als etwa Kalifornien, Japan oder Taiwan. Die weltweite Beobachtung, dass viele Schäden bei der Gasversorgung in engem Zusammenhang mit Gebäudeschäden stehen, würde in der Schweiz im Falle eines Erdbebens deshalb in noch verstärktem Mass zutreffen.

Bezüglich der Brandgefahr schliesslich ist die Situation in der Schweiz wiederum eher günstiger. Die Bebauungsdichte und damit die Gefahr der Brandausbreitungen, wie etwa in Kobe beobachtet, ist in der Schweiz deutlich geringer als in Asien, aber höher als in Kalifornien. Im Vergleich zu Kalifornien weisen aber die Schweizer Agglomerationen wesentlich weniger Häuser in Holzbauweise auf, was sich wiederum günstig auswirkt.

### 2.1 Technische Lehren

Aus den weltweiten Beobachtungen lassen sich aus Schweizer Sicht folgende Schlussfolgerungen und Lehren ableiten:

- Hochdruck-Transportleitungen sind bezüglich Erdbeben unkritisch, solange keine ausserordentlich starken differentiellen Verschiebungen im Boden auftreten:
  - Hangrutschungen, die von einem Erdbeben ausgelöst werden, treten in aller Regel da auf, wo schon statisch geringe Sicherheiten gegenüber Rutschungen vorhanden sind. In solchen Gebieten verfolgt man in der Schweiz das Ziel, die Rohrleitungen in Richtung des stärksten Gefälles zu verlegen, so dass die Abschergefahr minimiert wird. Trotzdem sind Abscherungen, Zug- oder Druckversagen bei den Übergängen vom umliegenden stabilen Boden zum Rutschhang möglich. Diese Fälle sind genauer zu untersuchen – nicht nur in Bezug auf Erdbeben.
  - Beim Übergang auf Brücken sind ebenfalls signifikante differentielle Verschiebungen möglich. Im Hochdruckbereich  $> 5$  bar gibt es in der Schweiz Über- oder Durchquerungen von etwa 100 Sonderobjekten. In etwa 50 Fällen handelt es sich um Brücken, zum Teil allerdings mit sehr geringen

Spannweiten. Die ERI-Richtlinie lässt bei Neubauten grundsätzlich keine oberirdischen Flussüberquerungen mehr zu; Ausnahmen können aber immer noch bewilligt werden.

- Bei Bodenverflüssigung mit grösseren lateralen Bodenverschiebungen ("lateral spreading") können Schäden an Transportleitungen theoretisch nicht ausgeschlossen werden, sind aber weltweit gemäss den im Anhang A aufgeführten Erfahrungen kaum aufgetreten. Zudem ist die Gefahr der Bodenverflüssigung in der Schweiz, auf dem Niveau einer Auftretenswahrscheinlichkeit von  $10^{-3}$  pro Jahr, auf wenige lokale Gebiete beschränkt.
  - Eine Gefahr besteht, wenn eine Leitung die Herd-Verwerfung des Erdbebens unmittelbar durchquert. Auf dem Niveau einer Auftretenswahrscheinlichkeit von  $10^{-3}$  pro Jahr für einen gegebenen Standort, entsprechend den Anforderungen an die Bauwerksklasse III, ist aber in der Schweiz nicht damit zu rechnen, dass die Herd-Verwerfung bis zur Oberfläche "durchschlägt". Dieses Risiko darf daher in der Schweiz vernachlässigt werden.
- Es sind keine Schadensmeldungen für DRM- oder Kompressor-Stationen im höheren Druckbereich gefunden worden (ausser beim L'Aquila-Beben infolge fehlender Verankerungen). Berichte über Erkundungsmissionen beschreiben in erster Linie die beobachteten Schäden, und nur vereinzelt wird explizit vermerkt, wenn bei einer bestimmten Kategorie von Bauwerken oder Infrastrukturanlagen keine Schäden zu verzeichnen waren. Es darf daher gefolgert werden, dass DRM- oder Kompressor-Stationen unkritisch sind, zumindest solange sie nicht von einstürzenden Gebäuden in Mitleidenschaft gezogen werden und sofern die einzelnen Einrichtungen fachgerecht verankert sind. Diese Erfahrung ist in Anbetracht der massiven Bauweisen durchaus plausibel.
- In den Versorgungsnetzen ( $\leq 5$  bar) sind bei modernen Rohrleitungen (verschweisste Stahlrohre, duktile Gussleitungen und Polyethylenrohre) ebenfalls kaum Schäden zu erwarten, solange keine grossen differentiellen Verschiebungen auftreten. Solche sind bei inhomogenen Böden wie auch bei Übergängen auf Brücken möglich. Es fällt auf, dass bei Checks von Versorgungsleitungen nach einem grösseren Erdbeben manchmal mehr Korrosionslecks und andere Vorschäden entdeckt wurden als Lecks, die vom Erdbeben verursacht worden waren. Und auch diejenigen Lecks, die auf das Erdbeben zurückzuführen waren, befanden sich oft in Zonen stärkerer Korrosion. Das Beherrschen der Korrosion ist somit gleichzeitig eine wirksame Erdbebenvorsorge.
- Schäden in Anschlussleitungen, zwischen der Abzweigung von der Versorgungsleitung bis zum Gasverbrauchsapparat, wie etwa einem Boiler, werden häufig beobachtet. Die konsultierten Erkundungsberichte spezifizieren aber in der Regel nicht, wo und weshalb genau welche Schäden aufgetreten sind. A priori kristallisieren sich aber doch drei mögliche Ursachen heraus, von denen jede einzelne zu einem Leck führen kann:
- Differentielle Verschiebungen, die insbesondere bei Hauseinführungen infolge unterschiedlicher Setzungen des Gebäudes und des umliegenden Bodens auftreten können.
  - Unbefestigte Gasverbrauchsapparate, die verrutschen, umkippen oder abstürzen (Boiler, Gasherde, etc.), können Zuführleitungen ab- oder zerreißen.
  - Stürzt ein Gebäude ein, so ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass im Gebäude vorhandene Gasleitungen leck werden.
- Die Brand- und insbesondere die Explosionsgefahr sind gering (vgl. Abschnitt 2.3).

- Bei Betriebsgebäuden, besonders solchen älteren Datums, besteht die Gefahr von Schäden sowohl am Tragwerk wie bei den Installationen (Steuerung, Notstrom, etc.), welche die Funktionstüchtigkeit des gesamten Systems beeinträchtigen können.

Die European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG) unterhält eine Datenbank von aufgetretenen Schäden bei der Gasversorgung und publiziert regelmässig Statistiken mit Analysen der beobachteten Problemfälle (z.B. (13)). Etwa 50 % der Schäden sind auf äussere Eingriffe wie etwa unachtsame Erdarbeiten zurückzuführen, und je etwa 15 % auf Konstruktions- und Materialfehler sowie auf Korrosion. Der Fall Erdbeben wird zumindest im neuesten Bericht (13) nicht erwähnt, so dass diese Schadensstatistik keinen Aufschluss über Schäden bei Erdbeben zulässt.

## 2.2 Organisatorische Lehren

Bezüglich organisatorischer Aspekte lassen sich aus Schweizer Sicht folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Kommandoposten der Gasversorgung sollten in erdbebensicheren Gebäuden eingerichtet werden. Alle wichtigen Pläne sollten ebenfalls in erdbebensicheren Gebäuden und darüber hinaus möglichst redundant gelagert werden. In Kobe waren wegen eines Einsturzes eines Stockwerks des Stadthauses die wichtigsten Pläne der Wasserversorgung nach dem Erdbeben grösstenteils unzugänglich.
- DRM-Stationen sollten ausserhalb des Einflussbereiches von Gebäuden errichtet werden, die nicht erdbebensicher sind. Diese Problematik ist in erster Linie im Druckbereich  $\leq 5$  bar, insbesondere auf Quartierebene, von Bedeutung.
- Wichtig ist, dass Schieber so referenziert werden, dass diese auch noch nach dem Einsturz der umliegenden Gebäude gefunden werden. Diese Schieber sollten darüber hinaus auch nach dem Erdbeben noch betätigt werden können.
- Wo Gasleitungen infolge grosser differentieller Bodenverschiebungen brechen, erleiden oft auch Wasserleitungen Schäden, was im Falle eines Brandausbruchs das Löschen erschwert oder verhindert.
- Obwohl die kalifornischen Gasversorger immer wieder darauf hinweisen, dass Hauseigentümer ihre Gasversorgung nur unterbrechen sollten, falls sie Gas riechen, entweichendes Gas hören, defekte Leitungen sehen oder Teile des Gebäudes eingestürzt sind (vgl. (2) sowie z.B. PG&E-Verhaltensregeln unter <http://www.pge.com/myhome/edusafety/naturaldisaster/earthquake>), stellen zahlreiche Kunden ihr Gas nach einem Erdbeben präventiv ab. In Kalifornien wurden nur etwa in 10 bis 20 % der Fälle, bei denen das Gas von den Kunden abgestellt worden war, im Nachhinein Lecks entdeckt. Da die Kunden die einmal abgestellte Zufuhr nicht selbst wieder in Betrieb nehmen dürfen, und da der Gasversorger verantwortlich ist, falls er eine beschädigte Gasversorgung wieder in Betrieb setzt und damit einen Unfall verursacht, müssen alle Fälle unterbrochener Gaszufuhr vor einer Wiederinbetriebnahme genauestens überprüft werden. Die Folge sind Wartezeiten von typischerweise bis zu 10 Tagen, auch wenn keine Schäden vorliegen, bis die Gasversorgung überall wieder funktioniert. Dies kann im Winter zur Folge haben, dass zahlreiche Leute in Notunterkünften untergebracht werden müssen, einzig und allein weil sie nicht heizen können, bis die Gaszufuhr wieder in Betrieb genommen worden ist.

Dieses Problem wird in der Schweiz im Erdbebenfall in ähnlicher Weise auftreten. Wenn es selbst in einem Land, in dem relativ häufig Erdbeben auftreten, nicht

gelingt, dieses Problem in den Griff zu bekommen, wird es in der Schweiz, wo starke Erdbeben viel seltener auftreten, erst recht nicht zu lösen sein. Es geht hier einzig darum, sich dieser Problematik bewusst zu sein und diese für die Planung der Bewältigungsphase soweit als möglich zu berücksichtigen.

## 2.3 Brand- und Explosionsgefahr

In Bezug auf die Gasversorgung im Erdbebenfall wird – fälschlicherweise – zuerst an die Brand- und Explosionsgefahr gedacht. Es lohnt sich deshalb, diesen Aspekt etwas genauer unter die Lupe zu nehmen.

Interessante Beobachtungen aus Kalifornien sind, dass Erdgas in etwa 20 bis 50 % aller erdbebenbedingter Brände mit im Spiel war und Explosionen nur äusserst selten auftreten. Da Erdgas leichter ist als Luft, ergeben sich bei Lecks in den Leitungen oft keine zündfähigen Gemische, oder es sind keine Zündquellen vorhanden. Gefährliche Gemische entstehen in der Regel dort, wo das austretende Gas nur beschränkt entweichen kann.

Wie im Anhang unter Punkt A.5 erwähnt, sind beim Northridge-Beben in etwa 10 % der Fälle mit schweren strukturellen Schäden Gasbrände ausgebrochen. Da die meisten Brände in Holzbauten und bei sogenannten "mobile homes", die von ihren Sockeln abgestürzt waren, aufgetreten sind, darf angenommen werden, dass in der Schweiz deutlich weniger Brände infolge leerer Gasleitungen zu erwarten wären. Kalifornische Statistiken zu Gasbränden bei Erdbeben dürften deshalb für die Schweiz einen oberen Grenzwert darstellen. Hier ist zu erwähnen, dass sowohl beim Kocaeli-Beben wie auch beim L'Aquila-Beben, bei denen die Gasversorgungen kurz nach dem Erdbeben auf regionaler Ebene abgestellt worden waren, kein einziger Gasbrand zu beobachten war.

Der kalifornische Bericht (2) enthält eine interessante Abschätzung des individuellen Risikos, in Kalifornien einen erdbebenbedingten Gasbrand zu erleben. Diese Abschätzung basiert auf einer Statistik, die in Bild 2.1, ebenfalls (2) entnommen, dargestellt ist. Aufgrund von Zahlen von 1990 beträgt in den USA die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit, einen Brand zu erfahren, 0.008 pro Jahr und Person. Damit ist es etwa 8'000 mal wahrscheinlicher, einen "normalen" Brand zu erleben, der nichts mit einem Erdbeben zu tun hat, als einen erdbebenbedingten, durch Erdgas ausgelösten Brand.

Diese beruhigende Statistik ist allerdings insofern etwas zu relativieren, als ein Brand gleichen Ausmasses nach einem Erdbeben wesentlich gefährlicher sein kann als sonst. Die Flucht aus dem Gebäude kann für den Einzelnen nach einem Erdbeben erschwert sein, sei dies wegen Gebäudeschäden oder wegen erlittener Verletzungen. Geborstene Wasserleitungen können die Brandbekämpfung erschweren oder verhindern, und vor allem: Die Rettungsdienste sind nach einem Erdbeben in der Regel hoffnungslos überlastet und deshalb nicht genügend schnell zur Stelle. Trotzdem ist zu bemerken, dass gemäss (2) in der jüngeren Vergangenheit in Einfamilienhäusern keine Todesfälle infolge erdbebenbedingter Gasbrände zu beklagen waren.

Generell ist festzuhalten, dass die Gefahr für Leib und Leben bei einem erdbebenbedingten Gasbrand in einem Einfamilienhaus wesentlich geringer ist als bei einem mehrstöckigen Mehrfamilienhaus. Beim Einfamilienhaus ist oft ein Flüchten

durch die Fenster möglich, während beim Mehrfamilienhaus Treppenhäuser benutzt werden müssen, die wegen struktureller Schäden oder zu intensiver Rauchentwicklung unter Umständen nicht mehr begehbar sind.

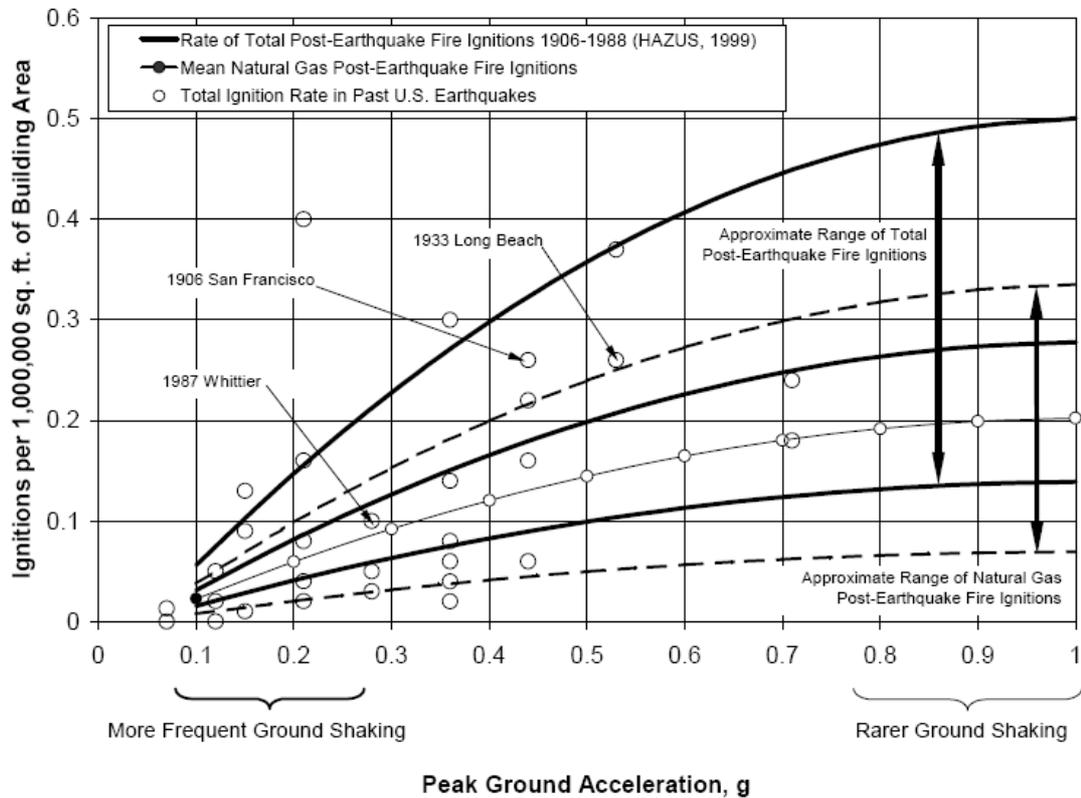


Bild 2.1: Zahl der Brandausbrüche als Funktion der Bodenbeschleunigungen bei Erdbeben zwischen 1906 und 1988 (aus (2)).

Generell kann festgehalten werden, dass die Brand- und Explosionsgefahr, die bei einem Erdbeben von der Gasversorgung ausgeht, keine signifikante Erhöhung des Gesamtrisikos bei Erdbeben bewirkt.

### 3. Gesetze, Richtlinien und Normen in der Schweiz

#### 3.1 Übersicht

Die Beförderung flüssiger und gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe untersteht dem Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen, dem sogenannten Rohrleitungsgesetz (RLG). Auf diesem Gesetz basieren zwei Verordnungen, die Rohrleitungsverordnung (RLV) und die sogenannte Rohrleitungssicherheitsverordnung (RLSV). Diese Verordnungen werden von Richtlinien des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektors (ERI) bzw. des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) umgesetzt. Des Weiteren werden Rohrleitungsanlagen nach der Rohrleitungsverordnung (> 5 bar), welche gewisse Kriterien erfüllen, ab Frühling 2013 in die revidierte Störfallverordnung aufgenommen.

Planung, Bau und Betrieb neu zu errichtender Rohrleitungsanlagen mit einem Betriebsdruck von  $> 5$  bar werden von der sogenannten ERI-Richtlinie geregelt. Für den Druckbereich  $\leq 5$  bar gilt die SVGW-Richtlinie G2; für die Praxis sind hier auch die SVGW-Empfehlungen G1001 und G1002 relevant.

Im Anhang B ist eine Übersicht über diese Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen zu finden. Diese werden im Abschnitt B.1 des Anhangs B aus einem Blickwinkel, der für die Gewährleistung der Erdbebensicherheit relevant ist, etwas ausführlicher dargelegt.

## 3.2 Diskussion der gesetzlichen Grundlagen

In der RLSV wird für Rohrleitungsanlagen mit einem Betriebsdruck  $> 5$  bar der Schutz vor Erdbeben vorgeschrieben. Die ERI-Richtlinie setzt dies um, indem sie verlangt, dass Gebäude und Nebenanlagen dieser Druckstufen die Erdbebenanforderungen der Norm SIA 261 für BWK III erfüllen. Für die Rohrleitungen selbst enthält die ERI-Richtlinie jedoch keinerlei konkrete Angaben zur fachgerechten Umsetzung der Vorgaben der RLSV – ausser der indirekten Vorschrift, dass in der Regel keine neuen oberirdischen Flussüberquerungen mehr zugelassen werden. Es würde nicht schaden, wenn auch die Problematik grosser differentieller Bodenverschiebungen bei Erdbeben in der ERI-Richtlinie explizit angesprochen würde.

Gebäude und Nebenanlagen mit einem Betriebsdruck  $> 5$  bar fallen künftig unter gewissen Bedingungen in den Geltungsbereich der Störfallverordnung (StfV). Es kann heute nicht ausgeschlossen werden, dass in Ausnahmefällen Ausmasse bei einem Störfall in einem Gebäude oder einer Nebenanlage deutlich grösser als 10 Tote möglich sind. Bei solchen Ausnahmefällen kann das Erdbeben im Hinblick auf das Personenrisiko ein dominierender Faktor sein, der explizit bei der Festlegung der Sicherheitsmassnahmen zu berücksichtigen ist.

Für Gasleitungen  $\leq 5$  bar legt die RLSV fest, dass nur die Artikel 2 und 3 Absätze 1 und 2 Buchstaben b-e gelten (siehe Abschnitt 3.1.3). Damit gilt Artikel 23, der den Schutz vor Erdbeben verordnet, für diese Rohrleitungen nicht. Artikel 3, Absatz 2, Buchstaben e verweist aber auf die Richtlinien des SVGW, darunter die Richtlinie G2. Es wäre deshalb sinnvoll, den Schutz vor Erdbeben explizit in dieser Richtlinie zu verankern. Dies ist umso wichtiger, als bei Erdbeben die meisten Probleme gerade im Druckbereich  $\leq 5$  bar auftreten.

Die Richtlinie G2 sollte aus fachlicher Sicht mindestens fordern, dass differentielle Bodenverschiebungen, und insbesondere differentielle Setzungen im Bereich von Hauseinführungen, bis zu einem gewissen Mass von den Leitungen aufgenommen werden können, ohne dass dabei Lecks entstehen. Hier besteht bei geotechnisch ungünstigem Baugrund ein eindeutiger Handlungsbedarf.

## 3.3 Formelle Umsetzung der Vorschriften

### 3.3.1 Heutige Praxis

Bei der Plangenehmigung für Gebäude und Nebenanlagen mit einem Betriebsdruck  $> 5$  bar kontrolliert das ERI nur, ob ein Erdbebensicherheitsnachweis nach SIA 261 für die Bauwerksklasse III vorhanden ist, nicht aber den Inhalt und die

Richtigkeit des Nachweises. Auch gibt es weder Vorgaben, in welcher Form der Nachweis erbracht werden soll, noch was dieser Nachweis enthalten soll.

### 3.3.2 Empfohlene Praxisänderung

Erfahrungen mit der Überprüfung von Erdbebensicherheitsnachweisen im Kanton Wallis wie auch beim Bund zeigen deutlich, dass fachliche Kontrollen von Erdbebensicherheitsnachweisen zweckmässig sind. Nachdem die Nachweispflicht bezüglich Erdbebensicherheit im Kanton Wallis eingeführt worden war, musste in einer ersten Zeit mehr als die Hälfte der eingereichten Berichte zurückgewiesen werden, da sie entweder fehlerhaft oder unvollständig waren. Es wird deshalb empfohlen, festzulegen, was der geforderte Erdbebensicherheitsnachweis für Rohrleitungsanlagen mit Betriebsdruck > 5 bar mindestens zu enthalten hat, und darüber hinaus einen Kontrollmechanismus einzuführen.

Der Bericht, mit dem der Erdbebensicherheitsnachweis erbracht wird, sollte folgende Mindestanforderungen erfüllen beziehungsweise, soweit für das betrachtete Objekt relevant, folgende Punkte beschreiben:

- Kurzbeschreibung des Objekts, der dazugehörigen Anlagen und deren Interaktion (Nutzung, Abmessungen, Massen, Baustoffe, Tragwerkskonzept).
- Erdbebeneinwirkung gemäss SIA 261 und deren Parameter.
- Modellannahmen.
- Methodik der Berechnung (Ersatzkraft-, Antwortspektren- oder Verformungsbasiertes Verfahren, Software).
- Ergebnisse der Berechnungen.
- Untersuchung möglicher differentieller Bodenverschiebungen und Darstellung etwaiger Gegenmassnahmen.
- Was würde als erstes versagen, wenn ein Erdbeben auftritt, das stärker ist als das Bemessungsbeben? Gäbe es wirtschaftlich tragbare konstruktive Massnahmen, die das Ausmass der dann auftretenden Schäden verringern könnten?
- Definition der Zuständigkeit für die Bemessung gemäss SIA 261, Kapitel 16.7 und für die plangetreue Ausführung von nichttragenden Elementen (Bauteile, Installationen, Steuerungselemente, etc.). In der Regel ist der Bauingenieur dafür zuständig, weitere Informationen können aber auch von Fachplanern eingebracht werden.
- Beschrieb der Massnahmen zur erdbebengerechten Planung und Ausführung von nichttragenden Elementen (Bauteile, Installationen, Steuerungselemente, etc.) unter Berücksichtigung der Bedeutung der einzelnen Elemente für die Personensicherheit und den Betrieb der Anlage.
- Gesamtbeurteilung der Erdbebensicherheit.

In Anbetracht der erwähnten einschlägigen Erfahrungen wird empfohlen, für Rohrleitungsanlagen mit Betriebsdruck > 5 bar folgenden Kontrollmechanismus in Abhängigkeit der Erdbebenzone einzuführen:

- **Erdbebenzonen Z3a und 3b:** Der Bericht zur Erdbebensicherheit (siehe oben) ist von einem unabhängigen im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieur auf seine Plausibilität hin zu kontrollieren und allfällige Unklarheiten sind mit dem Projektbauingenieur zu klären.
- **Erdbebenzone Z2:** Sofern der Projektbauingenieur erstmals einen Bericht zur Erdbebensicherheit (siehe oben) erstellt, ist dieser Bericht von einem unab-

hängigen im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieur auf seine Plausibilität hin zu kontrollieren und allfällige Unklarheiten sind mit dem Projektbauingenieur zu klären. Andernfalls sind stichprobenartige Kontrollen ausreichend.

- **Erdbebenzone Z1:** Stichprobenartige Kontrollen reichen aus.

Für die vorgeschlagenen Überprüfungen der Erdbebensicherheitsnachweise sollten ausgewiesene Spezialisten für Erdbebeningenieurwesen beigezogen werden.

Die Erdbebensicherung von Rohrleitungsanlagen mit einem Betriebsdruck  $\leq 5$  bar können wie übliche Baugesuche behandelt werden. In Kantonen, bei denen die fachspezifischen Kenntnisse fehlen, sollte allerdings die Überprüfung zumindest wichtiger Baugesuche von Rohrleitungsanlagen an das Technische Inspektorat des Schweizerischen Gasfaches (TISG) delegiert werden. Im Zweifelsfall, bei Verdacht auf unzureichende Erdbebensicherheit, sollte ein Bauingenieur mit Erfahrung im Erdbebeningenieurwesen zumindest für eine Plausibilitätsprüfung beigezogen werden.

## 4. Heutige Baupraxis – Handlungsbedarf

### 4.1 Rohrleitungen im freien Gelände

Nach Auskunft des ERI werden Rohrleitungen mit Betriebsdruck  $> 5$  bar, die durch geologisch instabile Hänge führen, in der Regel in der Falllinie verlegt, um Belastungen bei Rutschungen zu minimieren. Trotzdem sind Abscherungen, Zug- oder Druckversagen bei den Übergängen vom umliegenden stabilen Boden zum Rutschhang möglich. Diese Fälle sind mit Hilfe von Gefahrenkarten, soweit diese existieren, zu identifizieren und in besonders kritischen Fällen genauer zu untersuchen – nicht nur in Bezug auf Erdbeben.

### 4.2 Einführung von Anschlussleitungen in starre Konstruktionen

#### 4.2.1 Differentielle Setzungen zwischen Bauwerk und Baugrund

Der Übergang von Einrichtungen und Leitungen in starre Konstruktionen kann im Fall eines Erdbebens je nach Baugrund und Erdbebenzone eine Schwachstelle darstellen. Zwischen dem Bauwerk und dem umgebenden Erdreich können sich differentielle Setzungen ergeben, welche von den Rohrleitungen nur beschränkt aufgenommen werden können.

Beispielsweise können Einschlüsse von weicheren Bodenschichten unter Fundamenten zufolge einer Erdbebeneinwirkung komprimiert werden und somit zu Setzungen des Bauwerks führen. Des Weiteren hängen Setzungen des Gebäudes stark von der Art seiner Fundierung ab. Bei Streifenfundamenten entstehen im Vergleich zu Plattenfundamenten höhere zusätzliche Spannungen zufolge einer Erdbebeneinwirkung und somit stellen sich auch grössere Setzungen ein. Während eines Erdbebens können sich, je nach Fundament und Bodenbeschaffenheit, Setzungen in einem Grössenordnungsbereich von wenigen Zentimetern ergeben.

In relativ weichen Böden (Baugrundklasse D und eventuell E gemäss Norm SIA 261) sind Bauwerke häufig auf Pfählen, die bis in festere Bodenschichten reichen,

gegründet. Gleichzeitig ist bei solchen Baugründen, wenn es sich beispielsweise um Silte oder Sande handelt, eine Verflüssigungsgefahr gegeben. Bei diesem Erdbebenphänomen kann sich das umgebende Erdreich, in welchem auch die Hauszuleitung liegt, stärker setzen als das Bauwerk selbst. Setzungen in der Grössenordnung von 10 cm sind durchaus möglich. Beim Rawillbeben von 1946 wurden infolge lokal sehr beschränkter Bodenverflüssigungen im Rhonetal Setzungen von bis zu 5 cm beobachtet.

#### 4.2.2 Heutige Baupraxis in der Schweiz

Für die Anschlussrohrleitungen bei Wohnbauten, wie in Bild 4.1 schematisch dargestellt, werden Rohrleitungsquerschnitte mit einer Nennweite von 25 mm bis 63 mm verwendet. Als Hauseinführungen werden meist sogenannte Hauseinführungskombinationen eingesetzt (siehe Bild 4.2). Dies sind starre Bauteile, die durch die Kellerwände geführt und auf unterschiedliche Weise abgedichtet werden. Die Ringräume zwischen den Mauern und den durchgeführten Rohrleitungen werden beispielsweise mit Mörtel, Quellbeton oder Kunststoffdichtungen abgedichtet. Die hierzulande herkömmlichen Hauseinführungen sind nicht geeignet, differentielle Setzungen zwischen dem Bauwerk und dem umliegenden Erdreich aufzunehmen, und es liegen keine Erfahrungen oder Versuchsergebnisse vor, die ihr Verhalten diesbezüglich beschreiben.

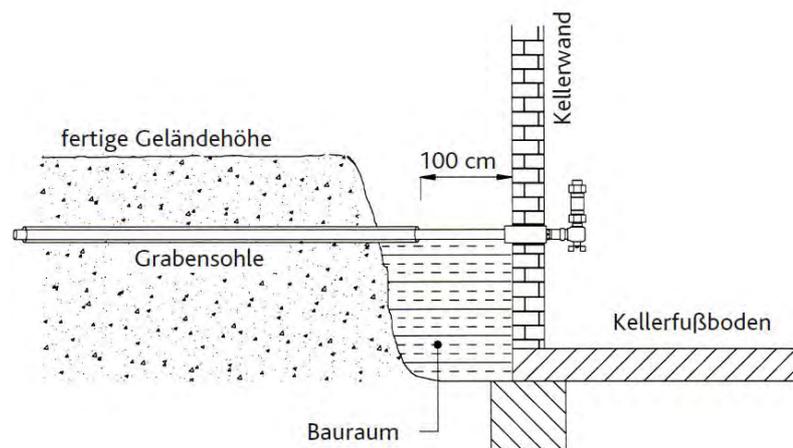


Bild 4.1: *Prinzipskizze einer Hauseinführung.*

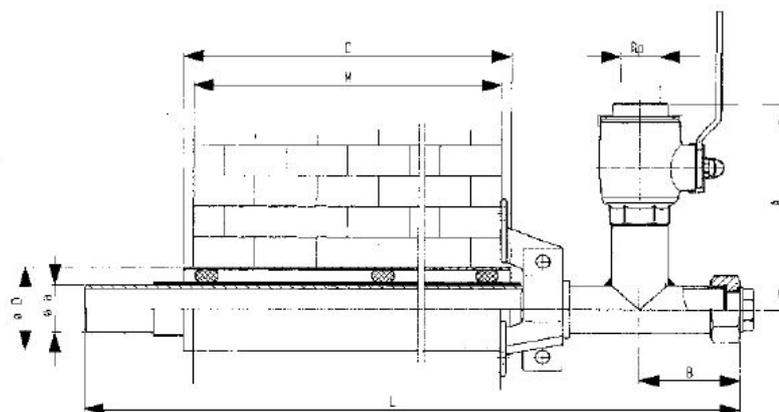


Bild 4.2: *Starre Hauseinführungskombination aus Stahl.*

Eine weitere gängige Lösung zur Mauerdurchführung ist die Verwendung von Ringraumdichtungen (siehe Bild 4.3). Die Rohrleitung wird dabei zentrisch durch ein Schutzrohr mit einem größeren Durchmesser geführt. Der Ringraum zwischen Rohrleitung und Schutzrohr wird mittels einer speziellen Dichtung ausgefüllt. Diese Dichtungen sind primär für die Abdichtung der Anschlussleitung gedacht und nicht für die Aufnahme von Bewegungen. Erfahrungen oder Versuchsergebnisse, ob diese Art von Mauerdurchführung sich einstellende differentielle Setzungen kompensieren kann, liegen nicht vor. In der Praxis werden solche Ringraumdichtungen überwiegend ab Rohrleitungsquerschnitten mit einer Nennweite von 200 mm verwendet, also kaum bei gewöhnlichen Wohnbauten, da dort die verwendeten Nennweiten in der Regel deutlich kleiner sind.

Flexible Hausanschlüsse werden vor allem bei nicht unterkellerten Bauwerken eingesetzt; Bild 4.4 zeigt eine Prinzipskizze. In der dargestellten, üblichen Konfiguration kann die flexible Leitung jedoch keine differentiellen Setzungen zwischen dem Bauwerk und dem umgebenden Erdreich aufnehmen. Diese Anschlüsse wären theoretisch in der Lage, differentielle Setzungen aufzunehmen, wenn sie als Verbindungsstück zwischen Hausanschlussleitung und Bauwerk eingebaut wären; sie sind aber nicht hierfür konzipiert und wären vermutlich als solche auch nicht zulässig.

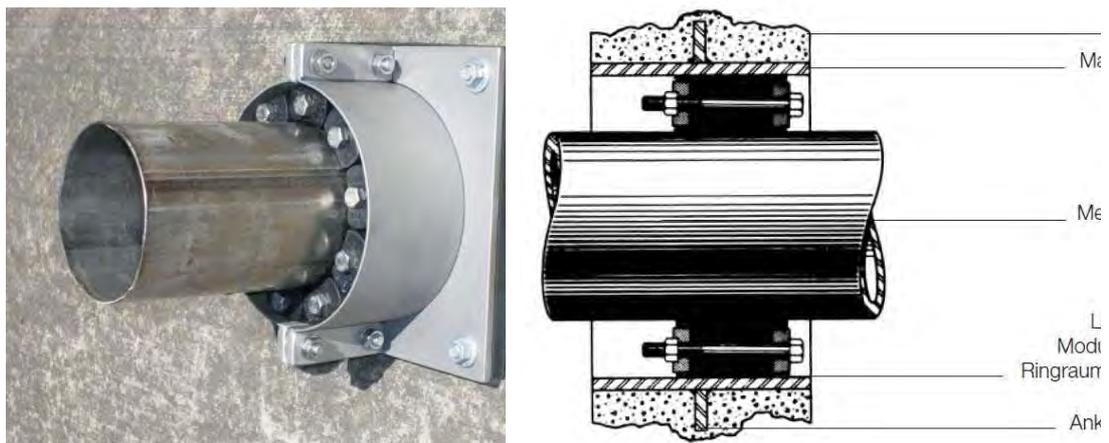


Bild 4.3: Foto und Prinzipskizze einer Ringraumdichtung.

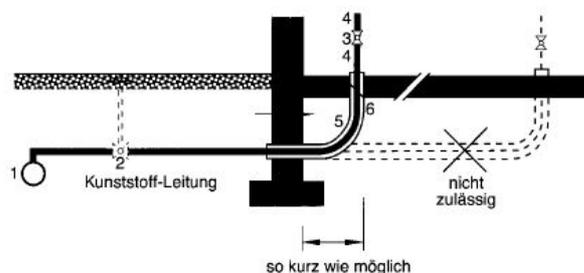


Bild 4.4: Prinzipskizze einer flexiblen Gebäudeeinführung.

Die Durchführung des Anschlussrohres im Schutzrohr mit ausreichendem Abstand (Richtlinie G2 des SVGW) hat den Zweck, dass eine geeignete Abdichtung

eingebraucht werden kann und hat a priori nichts mit der Aufnahme von Setzungs-differenzen zu tun.

Es wurden Produkte folgender Hersteller berücksichtigt: RMA Pipeline Equipment, Schuck Group, hauff technik, Doyma, PSI Pipeline-Zubehör.

#### **4.2.3 Handlungsbedarf bezüglich Hauseinführungen**

Hausanschlussleitungen werden heutzutage zu einem grossen Teil aus PE hergestellt. Ohne detailliertere Untersuchungen bleibt die Frage offen, inwieweit die inhärente Nachgiebigkeit dieses Werkstoffes und beispielsweise eine Hauseinführung gemäss Bild 4.3 gewisse differentielle Setzungen zulässt. Wahrscheinlich bleibt dies aber in Gebieten höherer Seismizität und bei schlechten Böden ein Problem. Bei Neubauprojekten dürfte deshalb zumindest in den Erdbebenzonen Z3a und Z3b, und eventuell auch Z2, ein entsprechender Handlungsbedarf bestehen. Bei bestehenden Bauten rechtfertigen sich die Kosten eines Ersatzes bestehender Hausanschlüsse im Vergleich zur damit erzielbaren Risikominderung jedoch nicht – es sei denn, der Hausanschluss müsse ohnehin aus anderen Gründen neu erstellt werden. Hauseinführungen werden gasdicht ausgeführt, so dass selbst bei einem Abscheren einer Leitung vor dem Gebäude eigentlich kein Gas ins Gebäude eindringen sollte.

In Neuseeland schreibt die Norm AS/NZS 4645.1:2008 (14) in Kapitel 4.8.5 vor, dass beim Bau von Gasversorgungsnetzen differentielle Verschiebungen und zusätzliche Spannungen infolge von Naturgefahren wie Erdbeben berücksichtigt werden müssen, ohne diese Verschiebungen aber genauer zu spezifizieren. Die Hausanschlussleitungen weisen in der Regel vor jedem Gebäude eine oberirdische Druckreduzierstation mit Gaszähler und Ventil auf. Die Gasleitung, die von diesem Ventil bis ins Innere des Gebäudes führt, kann ober- oder unterirdisch verlaufen. Verläuft sie unterirdisch, wird sie beim Durchfahren der Gebäudehülle von einem Schutzrohr umgeben, das zwei- bis dreimal den Durchmesser der Gasleitung aufweist. Der Hohlraum zwischen Schutzrohr und Gasleitung wird mit einem flexiblen Gummi oder Schaum abgedichtet. Diese Konstruktion erlaubt differentielle Setzungen bis zu einem gewissen Ausmass.

Anfragen an Fachleute in Kalifornien haben ergeben, dass dort bei ungünstigen geotechnischen Verhältnissen standardmässig flexible Hausanschlüsse verwendet werden. Dabei handelt es sich aber immer um oberirdische Anschlüsse.

Es bleibt zurzeit offen, ob irgendwo auf der Welt Produkte auf dem Markt sind, die differentielle Setzungen aufnehmen können und die gleichzeitig die in der Schweiz geltenden Sicherheitsvorschriften, wie etwa die Ausziehsicherung bei Baggerangriff, erfüllen.

### **4.3 Gebäude der Gasversorgung**

#### **4.3.1 Bisherige Baupraxis**

Bei den Gebäuden der Gasversorgung bestehen grundsätzlich dieselben Probleme bezüglich Erdbebensicherheit wie bei den übrigen bestehenden Bauten in der Schweiz. Erst 1989 wurden in den SIA-Normen Erdbebenvorschriften eingeführt, die aus heutiger Sicht einen einigermassen ausreichenden Schutz vor Erdbeben gewährleisten. Aber erst im Jahr 2003 wurden diese Vorschriften auf das heute gültige

Niveau verschärft. Aufgrund einer Unterschätzung des Erdbebenrisikos und einer ungenügenden rechtlichen Verpflichtung wurden jedoch die Erdbebenvorschriften der Normen oft nicht eingehalten und werden es teilweise auch heute noch nicht. Die Mehrheit der bestehenden Gebäude entspricht deshalb nicht den heutigen Sicherheitsanforderungen. Dies gilt sowohl für das Tragwerk wie auch für die nichttragenden Bauteile, Installationen und Einrichtungen (Notstromaggregate, Steuerungsschränke, etc.).

#### **4.3.2 Handlungsbedarf bei Gebäuden**

Bei Neubauten ist darauf zu achten, dass die SIA-Normen vollständig umgesetzt werden. Dazu gehört auch die erdbebengerechte Planung und Ausführung nichttragender Bauteile, Installationen und Ausrüstungen, die im Falle des Versagens den Betrieb beeinträchtigen, Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können. Anlagen mit einem Betriebsdruck > 5 bar müssen zusätzlich den Anforderungen der Bauwerkklasse III genügen. Somit ist zusätzlich zum Nachweis der Tragbarkeit auch der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu erbringen, und zwar sowohl für die Tragstruktur und wie auch für die nichttragenden Elemente. In Bezug auf die hier empfohlenen Kontrollen wird auf Abschnitt 3.3.2 dieses Berichts verwiesen.

Bestehende Bauten der Gasversorgung sollten inventarisiert und aufgrund ihrer Verletzbarkeit und Bedeutung gemäss einer Priorisierung überprüft werden. Spätestens bei Instandsetzungsprojekten, Umbauten oder Umnutzungen sollten bestehende Bauten bezüglich ihrer Erdbebensicherheit überprüft und notwendigenfalls ertüchtigt werden. Hierbei ist nach der Norm SIA 269/8 vorzugehen, die darlegt, wie bei Infrastrukturanlagen die Verhältnismässigkeit möglicher Erdbebensicherheitsmassnahmen zu beurteilen ist. Die Norm SIA 269/8 ist zurzeit in Erarbeitung und wird in naher Zukunft das Merkblatt SIA 2018 ablösen.

## **5. Notfallplanung**

### **5.1 Einleitung**

Im Kapitel Notfallplanung werden einerseits die Anforderungen an die Notfallplanung der Betreiber von Erdgasanlagen aufgezeigt, die sich aus den rechtlichen Grundlagen ergeben. Andererseits werden die Notfallplanungen der Erdgas Ostschweiz AG, der Erdgas Zürich AG und der Industriellen Werke Basel IWB hinsichtlich der Handhabung des Ereignisses Erdbeben analysiert. Darauf aufbauend werden Empfehlungen für die Behebung allfälliger Schwachstellen abgegeben.

### **5.2 Rechtliche Vorgaben**

#### **5.2.1 Anforderungen**

Die Anforderungen an die Notfallplanung werden aus den Gesetzen und Verordnungen für Rohrleitungsanlagen sowie aus den Dokumenten entnommen, die gemäss der Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen (RLSV 746.12) Art. 3 als Regel der Technik gelten.

Im Anhang B, Tabelle B.1, sind die verwendeten rechtlichen Grundlagen zusammengestellt. In der Tabelle B.2 sind jene Artikel respektive Kapitel aus den rechtlichen Grundlagen stichwortartig aufgeführt, welche relevante Passagen hinsichtlich der Notfallplanung enthalten. Die Anforderungen sind allgemein gehalten. Sie beinhalten jedoch die für die Erstellung einer Notfallplanung notwendigen Angaben. Die Berücksichtigung von Ereignissen ausgelöst durch Naturgefahren wie Erdbeben wird in den rechtlichen Grundlagen nicht thematisiert.

### 5.2.2 Beurteilung Handlungsbedarf

Um die Einflüsse von Ereignissen ausgelöst durch Naturgefahren wie Erdbeben explizit in den rechtlichen Grundlagen zu verankern, wird vorgeschlagen, folgende Ergänzungen in der ERI-Richtlinie 2003 und der Empfehlung G 1002 vorzunehmen.

ERI-Richtlinie 2003

- Kapitel 8.3.3, Sicherheitskonzept Betreiber von Erdgasanlagen: Beurteilung der Auswirkungen von Ereignissen insbesondere von Naturgefahren wie Hochwasser oder Erdbeben auf die Festlegungen des Sicherheitskonzepts und des Interventionskonzepts und Festlegung der notwendigen Vorsorgemassnahmen,
- Ergänzung Aufzählung in Kapitel 8.3.4, Interventionskonzept: Zusammenstellung der Vorsorgemassnahmen, die in ausserordentlichen Lagen zu treffen sind.

G 1002

- Neues Kapitel über die Beurteilung der Auswirkungen von Ereignissen insbesondere von Naturgefahren wie Hochwasser oder Erdbeben auf die Festlegungen gemäss Kapitel 3 Ereignisverhinderung und Kapitel 4 Ereignisbewältigung und Ergänzung resp. Festlegung der sich aus der Beurteilung ergebenden Vorsorgemassnahmen.

### 5.3 Ereignis Erdbeben – Problematik und Folgerungen für die Notfallplanung

Ein Erdbeben weist bzgl. Erdgasanlagen insbesondere folgende für die Notfallplanung zu beachtende Aspekte auf:

- Trotz der Robustheit der Erdgasanlagen gegenüber Erdbeben können insbesondere durch externe Einflüsse wie Erdbeben, Baugrundinstabilitäten oder Bauwerksversagen gleichzeitig mehrere Anlagen oder Erdgasleitungen durch ein Erdbeben beschädigt werden (vgl. Kapitel 2). Entsprechend ist gleichzeitig mit mehreren Schadenplätzen zu rechnen.
- Die Gebäude des Betreibers inkl. Überwachungszentralen, Kommunikationsmittel, Stromversorgung, Fahrzeugparks, Materialdepots etc. können durch ein Erdbeben beschädigt oder beeinträchtigt werden. Die vorgesehenen Massnahmen der Notfallplanung können somit nicht wie geplant oder nicht im vollen Umfang umgesetzt werden.
- Pikettdienste oder generell das Personal der Notfallorganisation kann direkt durch das Erdbeben betroffen sein oder die Zufahrt zu den relevanten Örtlichkeiten kann be- oder verhindert sein. Somit ist die Verfügbarkeit des notwendigen Personals für die Umsetzung der vorgesehenen Massnahmen der Notfallplanung infrage gestellt.

Für die Festlegung von Massnahmen für das Ereignis Erdbeben ist neben der genannten Problematik, die sich aufgrund der Einwirkung eines Erdbebens ergibt,

die Einsatzdoktrin des Kantons im Fall Erdbeben zu beachten. Entsprechend ist die Notfallplanung mit dem Kanton abzustimmen.

Der Kanton benötigt für die Bewältigung eines Erdbebens insbesondere in den folgenden Punkten von den Betreibern von Erdgasanlagen Unterstützung:

- Lagebeurteilung: Übersicht über Lage respektive Umfang der Schäden,
- Lage sichern, Einsatzbewältigung: Verhinderung von Schäden oder Minderung der Schäden infolge Folgeereignisse wie Brand, Explosion etc.,
- Wiederinbetriebnahme: Erhalt oder rasche Inbetriebnahme von wichtigen Infrastrukturanlagen inkl. Energieversorgung.

Auf der Basis der bei einem Erdbeben zu beachtenden Aspekte sowie der Ansprüche an die Unterstützung seitens Kanton ergeben sich für das Ereignis Erdbeben folgende Anforderungen an die Notfallplanung der Betreiber von Erdgasanlagen:

- Lagebeurteilung:
  - Gewährleisten des Zugriffs auf die Dokumentation des Netzes und der Anlagen.
  - Bereitstellen von Personal mit Kenntnis der Eingriffsmöglichkeiten im Netz sowie mit Zugriff auf die Dokumentation des Netzes und der Anlagen.
  - Gewährleisten der Kommunikation zur Einsatzleitung der kantonalen Ereignisdienste zwecks Information über die Lage sowie zwecks Abgleich der einzuleitenden Massnahmen.
- Lage sichern, Einsatzbewältigung:
  - Gewährleisten von Schieberschliessungen, um das Ausströmen von Erdgas in Sektoren zu verhindern und somit Folgeschäden zu vermeiden oder verkleinern. Dies bedingt eine Abstimmung zwischen Niederdrucknetz und Hochdrucknetz. Um kurze Interventionszeiten zu ermöglichen, sind für die wichtigsten Sektoren die notwendigen Schieberschliessungen festzulegen (Eventualplanung).
  - Unterstützung der Ereignisdienste mit Personal bei der Bekämpfung von Leckagen.
- Wiederinbetriebnahme:
  - Bereitstellen der notwendigen Ressourcen für die Reparatur von beschädigten Leitungen und Anlagen sowie der notwendigen Kontrollen vor der Wiederinbetriebnahme. Dabei kann auch auf Ressourcen anderer Betreiber zurückgegriffen werden.
  - Absprache der Wiederinbetriebnahme im Anschluss an die Reparatur und die Kontrolle des Netzes mit der Einsatzleitung der kantonalen Ereignisdienste (Priorität wird durch den Kanton bestimmt).

## 5.4 Notfallplanung Betreiber von Erdgasanlagen

### 5.4.1 Heutige Praxis – Beispiel Zürich

Die Information zur Notfallplanung der Betreiber von Erdgasanlagen wurde am Beispiel der Erdgas Ostschweiz AG und der Erdgas Zürich AG an einer Besprechung vom 6. April 2011 aufgenommen. Weiter wurden bei den zuständigen Stellen für Katastrophenvorsorge der Stadt Zürich und des Kantons Zürich die Schnittstellen zu den Betreibern von Erdgasanlagen abgefragt.

Die Notfallplanungen der Betreiber von Erdgasniederdruckanlagen sowie dem Betreiber des übergeordneten Erdgashochdrucknetzes sind aufeinander abgestimmt. Die Notfallplanung der Betreiber ist weiter abgestimmt auf die Einsatzplanung der Ereignisdienste, insbesondere der Feuerwehr. Es finden periodisch Kontrollen der Schnittstellen zwischen den Betreibern und den Ereignisdiensten statt (alle 2 Jahre). Dabei wird auch die Einsatzdokumentation aktualisiert.

Der Kontakt zu den Betreibern von Erdgasanlagen ist bei den Einsatzzentralen hinterlegt. Bei Bedarf werden die Betreiber von Erdgasanlagen via Einsatzzentrale von der Katastrophenorganisation der Stadt Zürich oder des Kantons Zürich für Unterstützung aufgebeten. Weitergehende Eventualplanungen in Bezug auf Erdgasanlagen existieren bei der Stadt und beim Kanton nicht.

Die Einsatzdokumentation beinhaltet:

- Ansprechpartner Betreiber,
- Alarmierungsablauf,
- Karte mit Leitungsverlauf und Anlagen,
- Verhaltensanweisungen.

Bei einem externen Ereignis mit Beschädigung einer Erdgasleitung und Ausströmen von Erdgas gelten bei den Betreibern folgende Interventionsgrundsätze:

- Schieber des betroffenen Sektors schliessen oder bei Bedarf Blasen setzen (→ Verhinderung des Nachströmens von Erdgas),
- Beurteilung der Explosionsgefährdung vor Ort und je nach Situation Einleitung von Massnahmen für den Personenschutz wie z. B. Evakuieren weiterer Gebäude oder Gebiete, Belüften von Räumen, Abfackeln von Gas für die Rohrentleerung,
- Reparatur der Gasleitung,
- Wiederinbetriebnahme der Versorgung in Absprache mit der Einsatzleitung der Ereignisdienste.

Die Aufgaben der Ereignisdienste bei einem Ereignis mit Beschädigung einer Erdgasleitung und Ausströmen von Erdgas sind:

- Alarmierung des Betreibers,
- Grossräumige Absperrung der Leckstelle und fernhalten von Zündquellen,
- Löschbereitschaft erstellen.

Erdgas Zürich AG hat mit dem Unternehmen Industrielle Werke Basel IWB eine Vereinbarung für die gegenseitige Aushilfe von Monteurleistungen abgeschlossen. Im Ereignisfall und bei gleichzeitigem Personalengpass kann somit Unterstützung angefordert werden. Die Unterstützung wurde bis anhin nie benötigt. Es werden auch keine Instruktionen oder Schulungen für die Monteure der IWB abgehalten.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Intervention im Ereignisfall sind folgende Elemente:

- Personal (Ingenieure, Monteure) für die Intervention. Hinweis: Ausgebildete Monteure von anderen Betreibern können problemlos eingesetzt werden. Diese verfügen über die notwendige Fachkenntnis, um Reparaturarbeiten an Leitungen und Anlagen durchzuführen. Sie können in Teams mit Ortskenntnissen

integriert werden. Ingenieure von anderen Betreibern sind aufgrund fehlender Netzkenntnisse nur bedingt sofort einsetzbar. Sie benötigen immer eine gewisse Einarbeitungszeit, auch wenn eine ausführliche Netzdokumentation vorliegt.

- Transportmittel, Werkzeug und Material (inkl. persönliches Schutzmaterial) für die Reparatur. Diese Mittel werden bei den Betreibern gelagert. Die Menge der am Lager verfügbaren Mittel ist auf den Bedarf der Betreiber abgestimmt, der sich aus der Grösse des zu unterhaltenen Netzes ergibt.
- Dokumentation des Netzes und der Anlagen (inkl. Zugriff auf die Dokumentation im Ereignisfall).

#### 5.4.2 Heutige Praxis – Beispiel Basel-Stadt

Die Information zur Notfallplanung der Industriellen Werke Basel IWB als Betreiber von Niederdruckerdgasanlagen sowie der zuständigen Stelle für Katastrophenvorsorge Bereich Technik wurde an einer Besprechung vom 15. November 2011 aufgenommen. Die IWB haben vor rund 10 Jahren begonnen, das Ereignis Erdbeben und die Auswirkungen auf den Betrieb sukzessive zu analysieren und Vorsorgemassnahmen umzusetzen. An der Besprechung wurden primär die Vorsorgemassnahmen bzgl. Erdbeben besprochen.

Die Notfallplanung der IWB ist mit den Ereignisdiensten abgestimmt (Schnittstellen definiert, Alarmierung sichergestellt). Die Notfallorganisation der IWB besteht aus folgenden Führungsstufen: Pikett → Pikettleiter → Ereignisstaborganisation. Die IWB sind wie folgt in die kantonale Ereignisdienstorganisation eingebunden:

- Verantwortlich im kantonalen Führungsstab für den Fachbereich Technik/Werke,
- Verantwortlich im Schadenplatzkommando für den Bereich Technischer Dienst.

Exemplarisch sind nachfolgend einzelne Vorsorgemassnahmen aufgelistet, die sich aus der Prüfung der Auswirkungen eines Erdbebens auf den Betrieb ergeben haben:

- Personal: Mindestbestand mit entsprechender Ausbildung vorhanden, um Ausfälle überbrücken zu können; Zusammenarbeitsvereinbarung mit Erdgas Zürich AG bzgl. Personalunterstützung vorhanden; weitere Zusammenarbeitsvereinbarung mit einem anderen Unternehmen geplant,
- Gebäude: Überprüfung der Gebäude bzgl. Erdbeben im Gange; Ziel der Überprüfung ist herauszufinden, was in welchem Umfang nach einem Erdbeben betriebsbereit zur Verfügung steht,
- Gerätschaften, Material: bei Bedarf Rückgriff auf Material anderer Betreiber oder der Lieferanten; Vertrag über Pikettdienstleistungen mit einem Tiefbauunternehmer für Unterstützung,
- Dokumentation: auf Papier an verschiedenen Stellen vorhanden,
- Gasnetz: automatische Schliessung der Gaszufuhr vom Hochdruckerdgasnetz im Erdbebenfall in Bearbeitung; im eigenen Niederdrucknetz Sektorenbildung zur Ausserbetriebnahme einzelner Gebiete vorhanden oder in Planung (Umsetzung bei Erhaltungsmaßnahmen oder Projekten); im Niederdrucknetz werden bei Sanierungen Gussleitungen durch PE-Leitungen ersetzt; das Hochdrucknetz besteht bis auf wenige PE-Leitungen aus Stahlleitungen.

### 5.4.3 Beurteilung Handlungsbedarf

Die Analyse der bestehenden Notfallplanungen der Betreiber von Erdgasanlagen ergibt folgendes Bild:

- Die Schnittstelle Betreiber Erdgasniederdruckanlagen – Betreiber Erdgashochdruckanlagen ist definiert.
- Die Schnittstelle Betreiber – Kanton ist definiert.
- Die Aufgaben der Ereignisdienste sowie des Betreibers im Ereignisfall sind definiert und kommuniziert.
- Die Dokumentation zur Beurteilung der Lage und zur Unterstützung der Intervention ist vorhanden.
- Der Umfang der Berücksichtigung der Aspekte eines Ereignisses mit grösserem Ausmass, wie es etwa ein Erdbeben hervorrufen kann, ist unterschiedlich. Je nach Erdbebengefährdung sind die Aspekte in der Notfallplanung der Betreiber berücksichtigt worden.

Es ergibt sich somit generell die Empfehlung, dass die Betreiber von Erdgasanlagen ihre Notfallplanung hinsichtlich der Anforderungen gemäss Kapitel 5.3 und hinsichtlich möglicher Ausfälle der Elemente der Notfallplanung überprüfen und bei Bedarf Anpassungen vornehmen. Dabei sind insbesondere folgende Fragen zu klären:

- Sind die Verbindungen zur Einsatzleitung des Kantons auch nach einem Erdbeben gewährleistet?
- Ist der Zugriff auf die Dokumentation der Anlagen und des Netzes immer sichergestellt?
- Sind Eventualplanungen vorhanden, die eine sektorielle Ausserbetriebnahme des Netzes erlauben?
- Sind diese Eventualplanungen mit dem Kanton abgestimmt worden?
- Ist das Personal inkl. Einsatzmittel für die Einsatzunterstützung vorhanden?
- Kann bei Bedarf von anderen Betreibern personelle und materielle Unterstützung angefordert werden?
- Die Elemente der Notfallplanung sind Personal, Gebäude inkl. Überwachungszentralen, Kommunikationsmittel, Stromversorgung, Fahrzeugparks, Materialdepots sowie Zufahrten. Welche sind die kritischen Elemente?
- Können die geplanten Massnahmen auch bei Ausfall einzelner Elemente ausgeführt werden (zeitverzögert; allenfalls nicht in vollem Umfang), resp., welche Einschränkungen ergeben sich durch den Ausfall?
- Sind die Abläufe für die Wiederinbetriebnahme mit dem Kanton abgestimmt?
- Sind die Endverbraucher über das Verhalten nach einem Erdbeben informiert?

Besondere Bedeutung für die Schadenminderung im Erdbebenfall kommt der sektoriellen Ausserbetriebnahme des Netzes zu. Die Sektorbildung inkl. Standorte für den Druckabbau oder die Gasausbläser sind entsprechend auf ihre Zweckmässigkeit zu überprüfen.

## 6. Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

Nach einer zusammenfassenden Darstellung der Risikoschwerpunkte wird im Folgenden eine Liste aller Punkte mit konkretem Handlungsbedarf aufgeführt. Die aufgelisteten Punkte sind relativ knapp formuliert; für Hintergrundinformationen und Begründungen wird der Leser auf die entsprechenden Kapitel dieses Berichts verwiesen.

### 6.1 Risikoschwerpunkte

Die zusätzlichen Risiken, die sich bei einem starken Erdbeben aus dem Vorhandensein der Gasversorgung ergeben, sind gering. Explosionen zum Beispiel werden nur äusserst selten beobachtet. Hochdruck-Transportleitungen und die DRM-Stationen an den Schnittstellen zu den lokalen Versorgern sind in der Regel unkritisch. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass den Leitungen keine grossen differentiellen Verschiebungen aufgezwungen werden und dass die Einrichtungen der DRM-Stationen fachgerecht verankert sind.

Auch Versorgungsnetze sind weitgehend unkritisch, sofern sie keine alten Sprödgussleitungen mehr aufweisen und ihnen keine grossen differentiellen Verschiebungen aufgezwungen werden. Zahlreiche DRM-Stationen auf Quartierebene könnten allerdings durch einstürzende Gebäude in Mitleidenschaft gezogen werden.

Die – zumindest potentiell – wichtigsten Schwachstellen liegen in drei Bereichen:

- Lecks sind zu befürchten bei starren Hauseinführungen infolge differentieller Setzungen von Gebäude und umgebendem Boden, bei den Anschlussleitungen nicht befestigter Gasverbrauchsapparate und schliesslich generell bei Gebäudeeinstürzen. Die zusätzlichen Schäden infolge Gasaustrittes bei einem starken Erdbeben dürften gewöhnlich relativ bescheiden bleiben, könnten aber in sehr grosser Zahl auftreten.
- Zahlreiche Betriebsgebäude der Gasversorger dürften den heutigen Anforderungen – wie generell der Schweizer Gebäudebestand – an die Erdbebensicherheit nicht genügen. Der Ausfall eines wichtigen Betriebsgebäudes droht aber die Ereignisbewältigung wesentlich zu erschweren.
- Die wenigsten der heute bestehenden Notfallplanungen der Gasversorgungsunternehmen dürften auf die spezifische Problematik eines Erdbebens – zahlreiche, gleichzeitig auftretende Schäden kombiniert mit Ausfällen beim Personal – ausgerichtet sein.

Wie in Kapitel 2 festgehalten, stehen viele Schäden bei der Gasversorgung bis zum Endverbraucher in engem Zusammenhang mit Gebäudeschäden. Selbstverständlich können die Gasversorgungsunternehmen die Erdbebensicherheit nur bei solchen Gebäuden verbessern, die als Teil der Versorgungskette in ihrem direkten Einflussbereich und damit in der Regel in ihrem Besitz sind.

### 6.2 Rechtlicher Handlungsbedarf

In rechtlicher Hinsicht lässt sich folgender Handlungsbedarf festhalten:

- Im Druckbereich  $> 5$  bar sollte die ERI-Richtlinie dahingehend ergänzt werden, dass
  - die Bewältigung von Naturereignissen geregelt wird (vgl. Kap. 5.2.2),
  - die Problematik grosser differentieller Bodenverschiebungen bei Erdbeben explizit erwähnt wird (vgl. Kap. 3.2).
- Im Druckbereich  $\leq 5$  bar sollten die SVGW-Richtlinie G2 sowie das SVGW-Regelwerk G 1002 dahingehend ergänzt werden, dass
  - die Bewältigung von Naturereignissen geregelt wird (vgl. Kap. 5.2.2),
  - gefordert wird, dass bei Erdbeben differentielle Bodenverschiebungen, insbesondere im Bereich von Hauseinführungen, von den Leitungen bis zu einem gewissen Mass aufgenommen werden können, ohne dass dabei Lecks entstehen (vgl. Kap. 3.2).

### 6.3 Technischer Handlungsbedarf

Auf technischer Ebene lassen sich folgende Bereiche mit einem – zumindest potentiellen – Handlungsbedarf aufzählen:

- Es sollte ein Inventar von potentiell kritischen Leitungen und Anlagen erstellt werden, sowohl für Transportleitungen  $> 5$  bar wie auch für Leitungen der Versorgungsnetze im Druckbereich  $> 1$  bar. Kritisch sind Leitungen und Anlagen, die sich in rutschgefährdeten Hängen befinden, und Leitungen, die über im Erdbebenfall einsturzgefährdete Brücken führen. Eine erste Beurteilung ist bei Rutschhängen mit Hilfe von Gefahrenkarten möglich, soweit diese existieren; besonders kritische Fälle sollten aber genauer untersucht werden – nicht nur in Bezug auf Erdbeben (vgl. Kap. 2.2.2 und 4.1).
- Alle für den Betrieb wichtigen Gebäude, für welche keine Nachweise der Erdbebensicherheit vorliegen, sollten einer Erdbebenbeurteilung unterzogen werden (vgl. Kap. 4.3.2).
- Es sollte genauer abgeklärt werden, bis zu welchem Ausmass die in der Schweiz üblichen Hauseinführungen differentielle Setzungen zwischen Gebäude und umliegendem Boden aufnehmen können, beziehungsweise ob in hochseismischen Ländern Produkte auf dem Markt sind, die sich besser eignen würden und gleichzeitig die übrigen Sicherheitsanforderungen, die in der Schweiz gelten (z.B. HTB-Beständigkeit), erfüllen (vgl. Kap. 4.2).
- Es sollte abgeklärt werden, ob die Problematik unverankerter Gasverbrauchsapparate (z.B. direktbefeuerte Boiler) für die Schweiz von Bedeutung ist; gegebenenfalls wäre eine Kampagne durchzuführen, um diese Gasverbrauchsapparate geeignet zu befestigen, so dass sie sich im Erdbebenfall nicht bewegen und die Anschlussleitungen abreissen (vgl. Kap. 2.2.2).

### 6.4 Organisatorischer oder betrieblicher Handlungsbedarf

Auf organisatorischer oder betrieblicher Ebene lassen sich folgende Bereiche mit Handlungsbedarf aufzählen:

- Es sollte sichergestellt werden, dass neue DRM-Stationen bis auf Quartierebene ausserhalb des Einflussbereiches möglicherweise einstürzender Gebäude erstellt werden. Schieber sind so zu referenzieren, dass sie auch nach dem Einsturz der umliegenden Gebäude noch sicher lokalisiert werden können (vgl. Kap. 2.2.3).

- Es sollte ein Instrumentarium erarbeitet werden, mit dessen Hilfe sichergestellt werden kann, dass bei künftigen Neubauten die Erdbebenanforderungen der ERI-Richtlinie und der Norm SIA 261 beachtet und fachlich einwandfrei umgesetzt werden. Hierzu sollte ein Hilfsmittel für das ERI und den SVGW respektive die Aufsichtsorgane der Kantone einerseits und die Betreiber andererseits erarbeitet werden, mit dem Ziel, die den Aufsichtsbehörden einzureichenden Dokumente zu definieren und zu standardisieren (Nutzungsvereinbarung mit genauer Regelung der Zuständigkeiten, Leistungsbeschreibungen, Minimalinhalt eines Berichts zur Erdbebenbemessung, Checklisten zur Erkennung von Schwachstellen, etc.) (vgl. Kap. 3.3.2).
- Bei den Notfallplanungen der Gasversorgungsunternehmen sollte überprüft werden, ob sie die spezifischen Schadensbilder eines starken Erdbebens angemessen berücksichtigen; notwendigenfalls wären diese zu überarbeiten beziehungsweise zu ergänzen (vgl. Kap. 5.3). Besondere Bedeutung für die Schadenminderung im Erdbebenfall kommt der sektoriellen Ausserbetriebnahme des Netzes zu. Die Sektorbildung ist entsprechend auf ihre Zweckmässigkeit hin zu überprüfen (vgl. Kap. 5.3 und 5.4.3).

## 7. Quellen

- (1) Gasverbund Mittelland AG (Datum unbekannt). Erdgasentspannungsanlage Arlesheim. Broschüre
- (2) ASCE-25 Task Committee on Earthquake Safety Issues for Gas Systems (2002). Improving Natural Gas Safety in Earthquakes. Seismic Safety Commission, State of California.
- (3) SKS Ingenieure (2005). Wirkung von Erdbeben auf Infrastrukturbauten und -einrichtungen. Bericht zuhanden der Industriellen Werke Basel, Zürich.
- (4) Jennings, P.C. (Editor) (1971). Engineering Features of the San Fernando Earthquake of February 9, 1971. California Institute of Technology, Pasadena, USA.
- (5) AFPS (1992). Séisme de Spitak. Rapport de la mission AFPS, Paris.
- (6) AFPS (1994). Le séisme de Northridge du 17 janvier 1994. Rapport de mission, Paris.
- (7) AFPS (1999). Le séisme de Kocaeli du 17 août 1999. Rapport de mission, Paris.
- (8) Youd, T.L., J.-P. Bardet und J.D. Bray (ed.) (2000). Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999 – Reconnaissance Report. Earthquake Spectral, Vol. 16, pp 384-387
- (9) Uzarski, J. und C. Arnold (ed.) (2001). Chi-Chi, Taiwan, Earthquake of September 21, 1999 – Reconnaissance Report. Earthquake Spectral, Vol. 17, pp 158-159.
- (10) Rasulo, A., A. Goretti und C. Nuti (2004). Performance of Lifelines During the 2002 Molise, Italy, Earthquake. Earthquake Spectral, Vol. 20, pp S301-S314.
- (11) EERI (2009). The Mw 6.3 Abruzzo, Italy, Earthquake of April 6, 2009. Erkundungsbericht des EERI-Teams, Los Angeles.
- (12) ANIDIS (2011). L'Ingegneria Sismica in Italia. Addressing ground-shaking-induced damage of the gas distribution network in the 2009 L'Aquila earthquake. Bari.

- (13) European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG) (2008). 7th EGIG-report 1970 – 2007, Gas Pipeline Incidents. EGIG 08.TV-B.0502, Ma Groningen.
- (14) Australian/New Zealand Standard AS/NZS 4645.1:2008 (2008). Gas distribution networks, part 1: Network management. Sydney und Wellington.

## Anhang A: Erfahrungen bei Erdbeben im Ausland

Im Folgenden werden die wichtigsten Beobachtungen zum Verhalten von Elementen der Gasversorgung wiedergegeben, die in der Literatur gefunden wurden. Zahlreiche Angaben basieren in erster Linie auf zwei Übersichtsberichten, einem Bericht der "California Seismic Safety Commission" (2) aus dem Jahr 2002 sowie einem Bericht des Ingenieurbüros SKS (3), der 2005 für die Industriellen Werke Basel erarbeitet wurde. Beigezogene Berichte über einzelne Erdbeben werden in den entsprechenden Abschnitten zitiert.

Im Weiteren wurden insbesondere auch Berichte der Erkundungsmissionen der "Association Française du Génie Parasismique" der letzten zwei Jahrzehnte konsultiert; erstaunlicherweise wurden aber nur in drei Berichten relevante Angaben zum Verhalten von Gasversorgungssystemen gefunden. Zum Teil lässt sich dies dadurch erklären, dass bei Erdbeben in nicht hochindustrialisierten Gebieten in der Regel keine Gasversorgungssysteme betroffen sind, da im Hauptschadengebiet keine solchen vorhanden sind.

Da die verschiedenen konsultierten Quellen je nach Erdbeben anderweitig fokussiert sind, war es nicht möglich, die im Folgenden wiedergegebenen Beobachtungen systematisch zu gliedern und in einheitlicher Form darzustellen. Der Informationsgehalt ist deshalb von Beben zu Beben unterschiedlich.

### A.1 San Fernando-Beben 1971 (Kalifornien, $M = 6.6$ )

Die folgenden Angaben entstammen dem CALTECH-Bericht (4) zum San Fernando Erdbeben, der in (3) ausführlich zitiert wird.

Die Gasversorgung im Hauptschadengebiet erfolgte durch die "Southern California Gas Company". Diese Gesellschaft berichtete, dass insgesamt vier Hauptversorgungsleitungen mit Durchmessern von 12 bis 26 in (NW 300 bis 600 mm) beschädigt wurden. Die spektakulärsten Schäden traten im Glenoak Boulevard auf, wo infolge von Lecks in einer 16 in-Leitung (NW 400 mm) 14 Aufgrabungen notwendig wurden, mit Durchmessern von bis zu 3 m und Tiefen von bis zu 2.5 m (Bild A.1). Die Lecks ergaben sich entweder aus übermässigen Stauchungen (Bild A.2) oder aber im Gegenteil aus zu starken Dehnungen (Bild A.3).

In einigen Fällen entzündete sich das austretende Gas, was Brandschäden an umliegenden Einrichtungen, wie etwa Strommasten, bewirkte.

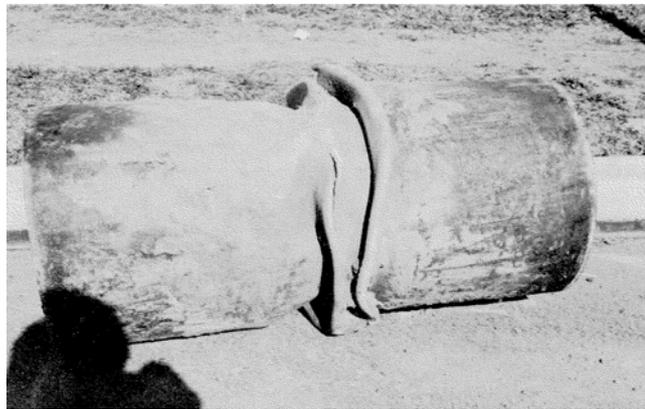
Die zahlreichsten Schäden entstanden in einem Gebiet von 25 bis 50 km<sup>2</sup> am eigentlichen Versorgungsnetz. In diesem herrschten Durchmesser von 2 bis 4 in (NW 50 bis 100 mm) vor. Es wurden etwa 450 Leitungsbrüche gezählt, so dass die Versorgung von 17'000 Kunden unterbrochen war.

Die "Los Angeles Times" berichtete von 456 Feuersbrüchen innerhalb der ersten acht Stunden nach dem Erdbeben. Gemäss der "Southern California Gas Company" waren allerdings nur sehr wenige Feuer auf lecke Gasleitungen zurückzuführen.

Transportleitungen mit Durchmessern von 30 in und mehr, selbst veralteter Bauart, erlitten keine Schäden.



*Bild A.1: San Fernando Erdbeben: Gaslecks in einer Hauptleitung im Glenoaks Boulevard, die 14 Aufgrabungen notwendig machten (aus (4)).*



*Bild A.2: San Fernando Erdbeben: Gestauchte und gebrochene 10 inch Gasleitung aus dem Glenoaks Boulevard (aus (4)).*



*Bild A.3: San Fernando Erdbeben: Auseinandergezogene Leitungsstücke einer 10 inch Gasleitung im Glenoaks Boulevard (aus (4)).*

## A.2 Whittier Narrows-Beben 1987 (Kalifornien, $M = 5.9$ )

Ein kurzer Abschnitt in (2) gibt eine Übersicht über die Schäden, die beim Whittier Narrows-Beben aufgetreten sind. Auch hier war die "Southern California Gas Company" betroffen.

Die Hochdruck-Transportleitungen erlitten keine Schäden. Im Versorgungssystem wurden 22 Lecks festgestellt, wobei in allen ausser einem Fall Korrosion mit im Spiel war. Zusätzlich wurden nach dem Erdbeben 5900 Lecks gefunden, von denen aber offenbar nur etwa 2000 auf das Erdbeben zurückzuführen waren. Etwa 75 % dieser Schäden traten bei den Verbindungen mit gasverbrauchenden Vorrichtungen auf, die sich infolge des Erdbebens verschoben haben. Etwa 300 Lecks traten in den Zubringerleitungen zwischen der Hauptversorgungsleitung und dem Gaszähler beim Kunden auf.

Von 61 relevanten Feueralarmen ("in response to structural fire"), die am Tag des Erdbebens bei der zuständigen Feuerwehr eingingen, sollen nur sechs auf das Erdbeben zurückzuführen gewesen sein: Drei auf Erdgas und drei auf Zündungen durch elektrische Apparate.

Die Erdgasversorgung war im Hauptschadengebiet nach zehn Tagen wieder hergestellt.

## A.3 Spitak-Beben 1988 (Armenien, $M = 6.9$ )

Der Bericht (5) enthält zum Thema Gas nur einen einzigen kurzen Abschnitt. Das Erkundungsteam hat nur von zwei Bränden in Leninakan gehört, die auf Gasaustritte zurückzuführen gewesen sein sollen. Bild A.4 zeigt den Fall eines mechanisch beschädigten Gebäudes, in dem Gasbrände aufgetreten sein sollen. Viel mehr konnte nicht gefunden werden. Im Vergleich zu den enormen Verlusten – so kamen z.B. rund 6000 Schulkinder ums Leben – blieben die Schäden, die auf Probleme mit der Gasversorgung zurückzuführen waren, vernachlässigbar.



Bild A.4: Spitak-Beben: Gebäude in Leninakan, in welchem Gasbrände aufgetreten sind (aus (5)).

Die das Schadengebiet durchquerende Transportleitung soll keine relevanten Schäden erlitten haben.

#### **A.4 Loma Prieta-Beben 1989 (Kalifornien, M = 7.2)**

Die nachfolgenden Angaben entstammen der Quelle (2): Im Schadengebiet war die "Pacific Gas and Electricity Company" für die Gasversorgung zuständig. Grosse Bodenverschiebungen ("soil failure") im "Marina District" in San Francisco führten zu verbreiteten Schäden in den älteren Gusseisen- und Stahlleitungen des Niederdruck-Versorgungssystems. In den zwei Wochen nach dem Erdbeben wurden 1094 Lecks identifiziert, und von diesen wurden 601 als potentiell gefährlich eingestuft. 85 % dieser Lecks traten in den Anschlussleitungen auf, die zu den einzelnen Gebäuden führten. Etwa in einem Drittel der Fälle handelte es sich um Situationen, bei denen ohne korrosionsbedingte Vorschädigung wahrscheinlich kein Leck entstanden wäre. Die meisten Schäden am Gasversorgungssystem traten dort auf, wo auch die schwersten Schäden an den Gebäuden zu verzeichnen waren.

In San Francisco wurden 57 Feuersbrünste auf das Erdbeben zurückgeführt; bei einem Drittel von diesen war Erdgas mit im Spiel.

#### **A.5 Northridge-Beben 1994 (Kalifornien, M = 6.7)**

Die folgenden Angaben basieren auf den Quellen (2), (3) und (6), wobei sich (3) praktisch ausschliesslich auf (2) abzustützen scheint.

Über 150'000 Kunden waren nach dem Erdbeben und den ersten Nachbeben ohne Gas. In ungefähr 133'000 Fällen war dies darauf zurückzuführen, dass die Kunden als Vorsichtsmassnahme den Haupthahn geschlossen hatten, obwohl keine Schäden und damit keine Gasaustritte zu verzeichnen waren. In 15'000 Fällen waren Lecks nicht näher bezeichneter Grösse aufgetreten.

An älteren Transportleitungen aus den 20er-, 30er- und 40er-Jahren traten 35 Lecks auf. Weitere 123 Lecks traten an Stahl-Versorgungsleitungen ("distribution mains") und 117 an Hausanschlussleitungen ("service lines") auf. Auch hier erlitten in erster Linie ältere Leitungen Schäden. Interessant ist, dass im Laufe der Kontrollen, die wegen des Erdbebens durchgeführt wurden, weitere 394 Lecks gefunden wurden, die allein auf Korrosion zurückzuführen waren.

Nach (2) wurden je nach Quelle 85 bis 120 erdbebenbedingte Brände gezählt. Bei etwa einem Drittel dieser Brände dürfte gemäss dem "Los Angeles Fire Department" Erdgas mit im Spiel gewesen sein. Die meisten dieser Brände mit Erdgas brachen in Wohnhäusern mit Holzrahmen aus. Nach (6) handelte es sich in erster Linie um sogenannte "mobile homes", die von ihren Fundamentsockeln gefallen sind, was zum Abreißen der Gasanschlussleitungen geführt hat.

Eine statistische Auswertung hat ergeben, dass etwa in 10 % der Fälle mit schweren strukturellen Schäden Gasbrände aufgetreten sind. Dieses Resultat dürfte aber stark durch die typisch amerikanische Bauart, durch zahlreiche Holzbauten und insbesondere durch die "mobile homes" beeinflusst sein und ist deshalb nur bedingt auf schweizerische Verhältnisse übertragbar.

## A.6 Kobe-Beben 1995 (Japan, M = 7.2)

In (3) wird berichtet, dass die aus Stahlrohren bestehenden Hauptversorgungsleitungen (> 10 bar, total 460 km) keine Schäden erlitten haben, ebenso wenig wie die Gaseinspeisestationen, wo das per Schiff antransportierte Flüssigerdgas (LNG) ins Netz eingespeist wird.

Die Hauptleitungen konnten teils mit ferngesteuerten, teils mit manuellen Schiebern unterbrochen werden. Diese Schieber wurden aber im Gebiet der grössten Schäden erst nach über sechs Stunden geschlossen. Das Versorgungsnetz (3 bis 10 bar, 1250 km) war in Blöcke eingeteilt, die manuell oder ferngesteuert abgetrennt werden konnten. Diese Abschlüsse blieben alle funktionell. Im 3000 km langen Mitteldrucknetz (1 bis 3 bar) wurden einige Gasverluste festgestellt.

Das Niederdrucknetz, zu einem grossen Teil älteren Datums, erlitt zahlreiche Schäden. Diese entstanden entweder infolge übermässiger Bodendeformationen oder aber wegen einstürzender Häuser.

Ganze Quartiere eingestürzter Holzhäuser sind niedergebrannt, wobei kaum feststellbar war, inwiefern umgekippte, in Japan sehr verbreitete Petroleumöfen mit offenen Flammen und inwiefern Gasaustritte für die Brandausbrüche verantwortlich waren.

In (2) wird argumentiert, aus den Erfahrungen in Kobe könnten für die USA insofern kaum Lehren gezogen werden, als die Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in Kobe um eine 10er-Potenz höher war als in typischen US-Städten. Zusätzlich sei die Gasversorgung in Kobe mit höheren Drücken erfolgt als in den USA üblich, so dass bei einem Leck grössere Gasmengen ausgetreten seien, als dies in Kalifornien der Fall wäre. Darüber hinaus seien viele veraltete Rohrsysteme betroffen gewesen, die in Kalifornien nicht vorkämen. Und letztlich seien in Japan mit den weit verbreiteten Heizungen und Küchen mit offenen Flammen viel mehr Zündquellen vorhanden, die austretendes Gas entzünden können.

Dieselben Argumente dürften auch bezüglich einer Übertragung auf die Schweiz gelten. Dazu kommt, dass Schweizer Städte nur wenige Holzhäuser aufweisen.

## A.7 Kocaeli-Beben 1999 (Türkei, M = 7.4)

Der AFPS-Erkundungsbericht (7) beschreibt das Verhalten der Gasversorgung im Schadengebiet ausführlich, und auch der EERI-Erkundungsbericht (8) gibt eine gute Übersicht; die beiden Berichte stimmen in den wesentlichen Punkten überein.

Im Schadengebiet des Erdbebens, von der Region Kocaeli (Izmit) bis Istanbul, betrieb die BOTAS Hochdruck-Transportleitungen, die dazumal etwa zehn Jahre alt waren. In der Folge des Erdbebens wurden diese Leitungen aufgrund vorbehaltener Entschlüsse schnell unterbrochen und während zweier Tage auf Schäden hin untersucht. Es wurde ein einziges Leck an der Küste bei Izmit festgestellt, das über das Anziehen einer Bride behoben werden konnte. Die Transportleitungen durchquerten nirgends direkt die Herd-Verwerfung des Erdbebens.

Die IZGAS betrieb zur Zeit des Erdbebens ein nur wenige Jahre altes Versorgungsnetz im Raum Izmit mit einer Länge von gut 400 km. Etwa 10 % der Leitungen waren geschweisste Stahlrohre, mit einem Betriebsdruck von 15 oder 25 bar, während die

übrigen aus mitteldichtem Polyethylen (PE) bestanden, mit einem Betriebsdruck von zirka 4 bar. Das Gebäude, das den Kommandoposten beherbergte, wurde beim Erdbeben leicht beschädigt und deshalb evakuiert. Das gesamte Versorgungssystem hat sich aber ausgezeichnet verhalten, und dies trotz teilweise sehr grosser bleibender Bodenverschiebungen. An den Rohrleitungen und DRM ausserhalb des Einflussbereiches einstürzender Gebäude entstanden keine Schäden – mit Ausnahme eines einzigen Lecks in einer PE-Leitung, welches wahrscheinlich auf ein Auswaschen infolge einer gebrochenen Wasserleitung zurückzuführen war. An, je nach Quelle, 500 (7) bis 860 (8) Kunden-Druckregelanlagen traten jedoch schwere Schäden infolge einstürzender Gebäude auf. Trotzdem wurde kein einziger Gasbrand bekannt.

Das Quartier Avcilar in Istanbul wurde von der IGDAS versorgt. Hier wurde eine von 5 DRM (20 / 4 bar) beim Einsturz eines Gebäudes beschädigt. Aber auch hier wurde kein einziger Gasbrand gemeldet.

### **A.8 Chi-Chi-Beben 1999 (Taiwan, M = 7.6)**

Der EERI-Erkundungsbericht (9) enthält eine kurze Übersicht über das Verhalten der Gasversorgung während des Chi-Chi-Bebens.

Das Gastransportsystem, inklusive Kompressorstationen, Lagertanks etc., blieb unbeschädigt, abgesehen von zwei parallelen Leitungen, welche die bis an die Oberfläche reichende Verwerfung durchquerten.

Im Umfeld von 19 km um das Epizentrum haben fünf lokale Versorgungsunternehmen die Gasversorgung unmittelbar nach dem Erdbeben abgestellt, da Aufzeichnungen von "Strong-Motion"-Geräten vorgegebene Grenzwerte überschritten hatten. 400'000 Kunden erlitten damit eine vorübergehende Unterbrechung der Versorgung. Zehntausende von Lecks traten in den Leitungen zwischen den Gaszählern und den Verbrauchern auf. Die Hauptursachen für die Schäden waren einerseits beschädigte oder eingestürzte Gebäude und andererseits differentielle Setzungen, insbesondere zwischen den Gebäuden und dem umliegenden Boden. 50 % der Stahlleitungen, die Lecks erlitten, waren bereits durch Korrosion geschwächt.

### **A.9 Molise-Beben 2002 (Italien, M = 5.7)**

Die wichtigsten Angaben in (10) wurden in (3) zusammengefasst und werden hier in ähnlicher Weise wiedergegeben.

Am 31. Oktober und am 1. November 2002 ereigneten sich bei Molise im Südosten von Italien zwei Beben der Magnitude 5.7. Diese Erdbeben erfuhren grosse Beachtung, da von 30 Todesopfern 27 junge Schulkinder waren, die alle, zusammen mit einem Lehrer, beim ersten der beiden Beben Opfer eines einzigen einstürzenden Schulhauses wurden.

In der Gegend von Molise betrieb die SNAM Reti Gas als regionale Versorgerin Transportleitungen und die S.G.M. die lokale Gasversorgung.

Die Hauptleitungen der SNAM erlitten keine Schäden. Vereinzelt Leitungsbrüche traten im Versorgungsnetz der S.G.M. auf, die hauptsächlich durch einstürzende

Gebäude verursacht wurden. Verschiedene Leitungen wurden deshalb aus Sicherheitsgründen vorübergehend stillgelegt. Die Feuerwehr verzeichnete ein paar ("some") durch Gaslecks verursachte Brände, aber keine Explosionen.

#### **A.10 L'Aquila-Beben 2009 (Italien, M = 6.3)**

Nach (11) und (12) wurde die Erdgasversorgung nach dem Erdbeben in allen Gebieten mit schweren Schäden als Sicherheitsmassnahme eingestellt. Das Rohrleitungsnetz der betroffenen Region umfasst etwa 620 km an Leitungen. Davon sind etwa 230 km Mitteldruck- und 390 km Niederdruckleitungen, die zum Teil aus Stahl, zum Teil aus HDPE ("High Density Polyethylen") bestehen. Es gibt drei DRM Stationen vom Hoch- zum Mitteldruckbereich und 300 vom Mittel- zum Niederdruckbereich. Die DRM Stationen waren nach (12) in Bezug auf Erdbeben sehr verletzlich, da die ihnen zugehörigen Komponenten nicht befestigt waren. Teilweise wurden sie auch von Trümmern einstürzender Häuser in Mitleidenschaft gezogen.

Der Gaslieferant ENEL hat anschliessend an die Katastropheneinsätze mit der Wiederherstellung des Gasversorgungsnetzes begonnen. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden technische Berichte zur Beschreibung der einzelnen Reparaturarbeiten erstellt. Da das Hauptziel der Arbeiten die rasche Wiederherstellung war, wurden die eigentlichen Schadensarten nicht genau dokumentiert. Von den 431 Berichten, die in (12) analysiert wurden, entfallen 255 auf Begutachtungen, die schliesslich keinen Schaden erkennen liessen. 176 der Berichte beschreiben Arbeiten wie z.B. Rohrleitungsreparaturen, Wiederanschluss von Rohrleitungen, Ventileinbau, Ventilausbau und die Reparatur von Abzweigstellen. Diese Arbeiten betreffen Schäden, die direkte Folgen der Erdbebeneinwirkung waren. Ob die Leitungen vor dem Erdbeben in einem einwandfreien Zustand waren, oder ob sie unter Umständen bereits durch Korrosion geschwächt oder gar beschädigt waren, wird in (12) nicht erwähnt.

## Anhang B: Rechtliche Grundlagen

### B.1 Generelle Übersicht

Tabelle B.1 gibt eine Übersicht über die Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen in der Schweiz, die sich mit der Sicherheit bei der Gasversorgung befassen. Diese Grundlagen werden anschliessend aus einem Blickwinkel, der für die Gewährleistung der Erdbebensicherheit relevant ist, etwas ausführlicher dargelegt.

*Tabelle B.1: Übersicht über die rechtlichen Grundlagen.*

| Kürzel        | Literatur  | Gültigkeit  |
|---------------|--|---|
| (RLG 746.1)   | Schweizerische Eidgenossenschaft: SR 746.1 Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe. Rohrleitungsgesetz, RLG, 04.10.1963 | Rohrleitungsanlagen mit Betriebsdruck grösser als 5 bar und Betriebsdruck mal Aussendurchmesser grösser als 200 bar cm.   |
| (RLV 746.11)  | Schweizerische Eidgenossenschaft: SR 746.11 Rohrleitungsverordnung, RLV, 02.02.2000  | Rohrleitungsanlagen mit Betriebsdruck grösser als 5 bar und Betriebsdruck mal Aussendurchmesser grösser als 200 bar cm.   |
| (RLSV 746.12) | Schweizerische Eidgenossenschaft: SR 746.12, Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen. RLSV, 04.04.2007   | Rohrleitungsanlagen mit Betriebsdruck grösser als 5 bar und Betriebsdruck mal Aussendurchmesser grösser als 200 bar cm.<br>Art. 2 und 3 ebenfalls anwendbar auf Gasleitungen mit Betriebsdruck bis 5 bar. |
| (ERI-RL 2003) | Eidgenössisches Rohrinspektorat: ERI-Richtlinie 2003. Planung, Bau und Betrieb von Rohrleitungsanlagen über 5 bar, Revision 2.1, gültig ab 11.09.2009                                    | Rohrleitungsanlagen mit Betriebsdruck über 5 bar.   |
| (G2 RL)       | Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches: Richtlinie für Gasleitungen. G2 d, Ausgabe April 2010  | Gas- und Rohrleitungen mit Betriebsdruck bis 5 bar.   |

|                |   |  |
|----------------|---|--|
| (G 1001)       | Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches: Empfehlungen für die Sicherheitsbeurteilung von Erdgasleitungen mit Betriebsdruck von 1 bis 5 bar. Regelwerk, G 1001d, Ausgabe 2004 | Lokale Gasversorgung mit Betriebsdruck bis 5 bar.  |
| (G 1002)       | Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches: Empfehlungen für die Verhinderung und Bewältigung von Störungen in lokalen Gasversorgungen. Regelwerk, G 1002d, Ausgabe Januar 2007 | Lokale Gasversorgung mit Betriebsdruck bis 5 bar.  |
| (StfV 814.012) | Schweizerische Eidgenossenschaft: SR 814.012 Verordnung über den Schutz vor Störfällen. Störfallverordnung, StfV, 27.02.1991  | Rohrleitungsanlagen (> 5 bar) gemäss Rohrleitungsverordnung, welche gewisse Kriterien erfüllen unterliegen der revidierten Störfallverordnung (Frühling 2013). |

### B.1.1 Rohrleitungsgesetz - RLG

Die Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe untersteht dem Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen vom 4. Oktober 1963 (Stand am 13. Juni 2006).

Die in den nächsten Abschnitten angeführten Verordnungen stützen sich auf Artikel 52 Abs. 2, der lautet:

*(Der Bundesrat) erlässt die erforderlichen Ausführungsvorschriften namentlich über:*

1. die mit dem Vollzug betrauten Amtsstellen des Bundes, ihre Aufgaben sowie ihre Zusammenarbeit mit anderen beteiligten Amtsstellen;
2. Die Anforderungen, denen die Rohrleitungsanlagen zum Schutze von Personen, Sachen und wichtigen Rechtsgütern zu entsprechen haben;
3. Das Plangenehmigungsverfahren;
4. Die Gebühren für die Tätigkeit des Bundesamtes.

Explizit wird in diesem Gesetz die Erdbebensicherheit von Rohrleitungen und ihren Nebenanlagen nicht erwähnt.

Gemäss Abschnitt III, Haftpflicht und Versicherung, Artikel 33 Abs.1, haftet der Inhaber einer Anlage für entstehende Schäden.

Gemäss Abschnitt IV, Rohrleitungsanlagen unter der Aufsicht der Kantone, Artikel 42 Abs. 1, bedürfen der Bau und der Betrieb von Rohrleitungsanlagen im Sinne von Artikel 41 einer Bewilligung der Kantonsregierung. Diese Anlagen unterstehen nach Artikel 43 der Aufsicht der Kantone, aber zusätzlich auch der Oberaufsicht des Bundes, konkret des Bundesamts für Energie BFE.

### B.1.2 Rohrleitungsverordnung - RLV

Diese Verordnung regelt die Bau- und Bewilligungsverfahren sowie die Zuständigkeiten im Bereich der Rohrleitungsanlagen.

Artikel 1 der RLV vom 2. Februar 2000 (Stand am 1. Juli 2008) regelt den Gegenstand ihrer selbst:

*Diese Verordnung regelt Bau und Betrieb von Rohrleitungen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- und Treibstoffe, Kohlenwasserstoffe oder Kohlenwasserstoffgemische wie Roherdöl, Erdgas, Raffineriegase, Erdöldestillate oder flüssige Rückstände der Erdölraffination.*

Artikel 2 der Verordnung regelt ihren Geltungsbereich:

*1 Diese Verordnung gilt für:*

- a. Rohrleitungsanlagen, bei denen das Produkt aus dem genehmigten Betriebsdruck in Pascal (Pa) mal Aussendurchmesser in m grösser als 200 000 Pa m (200 bar cm) und zugleich der genehmigte Betriebsdruck grösser als 500 000 Pa (5 bar) ist; bei den Angaben ist der Druck als Überdruck zu verstehen;*
- b. Rohrleitungsanlagen, die dem Bund oder einer Anstalt des Bundes gehören und nicht die Kriterien nach Buchstaben a erfüllen.*

Der Artikel 4 – Technische Aufsicht bestimmt das Folgende:

*Die technische Aufsicht über die Rohrleitungsanlagen obliegt dem Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorat (ERI).*

Des Weiteren obliegen die Bauaufsicht (Artikel 18) und die Abnahmeprüfung (Artikel 20) dem ERI.

### **B.1.3 Verordnung Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen - RLSV**

Artikel 1 der RLSV vom 4. April 2007 (Stand am 1. Juli 2008) regelt den Geltungsbereich:

- 1 Diese Verordnung gilt für Projektierung, Bau, Betrieb und Unterhalt der dem RLG unterstehenden Rohrleitungsanlagen.*
- 2 Für Gasleitungen, die für einen maximalen Betriebsdruck bis 0,5 MPa (5 bar) erstellt werden, gelten nur Artikel 2 und 3 Absätze 1 und 2 Buchstaben b-e.*

Artikel 2 definiert die verwendeten Begriffe. Absatz 2 legt insbesondere fest, dass Gasleitungen Rohrleitungsanlagen für den Transport gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe sind.

Artikel 3 der RLSV legt die Einhaltung der Regeln der Technik fest:

- 1 Die Rohrleitungsanlagen sind nach den Regeln der Technik von fachkundigen Personen zu projektieren, zu erstellen, zu bearbeiten und zu unterhalten.*
- 2 Als Regeln der Technik gelten namentlich:*
  - a. Die Richtlinie des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorates (ERI) für Planung, Bau und Betrieb von Rohrleitungsanlagen über 5 bar;*
  - ...*
  - e. die Richtlinien des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches, insbesondere die Richtlinien:*

- ...
- G2 Gasleitungen
- ...

Artikel 23 der RLSV legt den Schutz gegen Erdbeben explizit fest:

- 1 Die Rohrleitungsanlage ist gegen besondere Gefahren wie Vibrationen, Erdbeben oder Steinschlag zu schützen.*
- 2 In Gebieten mit Senkungs- oder Rutschgefahr sind bauliche Schutzmassnahmen zu treffen.*

Der Artikel 23 betrifft gemäss Artikel 1 Absatz 2 nur die Rohrleitungsanlagen mit einem Betriebsdruck von > 5 bar.

#### **B.1.4 ERI-Richtlinie 2003 – Revision 2.1**

Die Revision dieser Richtlinie trat am 11. September 2009 in Kraft und gilt für Planung, Bau und Betrieb von neu zu errichtenden Rohrleitungsanlagen mit einem Betriebsdruck von > 5 bar.

Abschnitt 3.3.9.2 der Richtlinie konkretisiert Artikel 23 der RLSV; dieser Abschnitt behandelt die Konstruktion von Gebäuden und Nebenanlagen und legt unter anderem Folgendes fest:

- *Die Gebäudedimensionierung hat gemäss den gültigen Baunormen zu erfolgen.*
- *Die Erdbebensicherheit gemäss der Norm SN 505261 (SIA 261), Bauwerksklasse 3, oder den entsprechenden europäischen Normen ist nachzuweisen.*
- ...

Abschnitt 10 regelt die Übergangsbestimmungen:

*Die Anforderungen dieser Richtlinie sind auf neu zu errichtende Anlagen anzuwenden. Bei Änderungen an bestehenden Anlagen sollen die geänderten Anlageteile den Anforderungen dieser Richtlinie entsprechen. Bei wesentlichen Änderungen ist die gesamte Anlage als Neuanlage anzusehen und muss den Anforderungen dieser Richtlinie entsprechen.*

#### **B.1.5 Richtlinie G2 des SVGW**

Diese Richtlinie wurde vom Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW) herausgegeben. Kapitel 2 legt den Geltungsbereich und Gegenstand der Richtlinie fest:

*Die "SVGW-Richtlinie für Gasleitungen" (G2) gilt für die Planung, den Bau und Betrieb von Gas-Rohrleitungen mit Betriebsdrücken  $\leq 5$  bar, einschliesslich der Anschlussleitungen. Sie gilt sinngemäss auch für Druckerhöhungen bis 5 bar.*

*Diese Richtlinie gilt ausschliesslich für Erdgas und erdgasähnliche Brenn- und Treibstoffe leichter als Luft. Bei anderen Gasen kann sie sinngemäss angewandt werden.*

Der Begriff "Erdbeben" kommt in dieser Richtlinie nirgends vor.

In Abschnitt 6.11.5 wird die Einführung der Anschlussleitung ins Gebäude behandelt:

*Die Anschlussleitung ist gegen Axialkräfte und Verdrehen zu sichern. In setzungsempfindlichem Boden ist die Anschlussleitung vor unzulässigen mechanischen Beanspruchungen zu schützen.*

...

*Der Werkstoffübergang von Kunststoff auf Metall muss ausserhalb des Gebäudes oder in einer Hauseinführungskombination (HEK) stattfinden.*

*Für das gebündelte Einführen von Werkleitungen sind Mehrsparten-Gebäudeeinführungen zu verwenden.*

*Die Gebäudeeinführungen aller Leitungen und Kabel müssen gas- und wasserdicht sein.*

*Bei einer metallenen Anschlussleitung, die in einem Schutzrohr durch die Aussenwand eingeführt wird, gilt zusätzlich:*

- *Das Schutzrohr muss dicht und fest in die Aussenwand eingebaut sein und diese aussen überragen.*
- *Die Anschlussleitung ist im Schutzrohr zentrisch mit ausreichendem Zwischenraum zu führen.*
- *Die Abdichtung des Ringspaltes zwischen dem Schutzrohr und der Anschlussleitung muss auf der Gebäudeaussenseite erfolgen.*
- *Schutzrohre müssen aus korrosionsbeständigem Material bestehen oder gegen Korrosion geschützt sein.*

Im Anhang der Richtlinie sind Prinzipskizzen von starren Anschlussleitungen aus Stahl, duktilem Guss und Kunststoff sowie von einer flexiblen Anschlussleitung angeführt.

### 3.1.6 SVGW-Regelwerke G 1001 und G 1002

Das SVGW-Regelwerk G 1001 beinhaltet Empfehlungen für die Sicherheitsbeurteilung von Erdgasleitungen mit Betriebsdruck von 1 bis 5 bar. Es handelt sich um ein erfahrungsgestütztes, praxisnahes Beurteilungsverfahren mit Hilfe einer einfachen Beurteilungsmatrix für Anwender ohne spezielle Kenntnisse im Bereich der Risiko-beurteilung. Das Verfahren dient dem frühzeitigen Erkennen, Beurteilen und eventuellen Reduzieren von Risiken in der Planungsphase eines Rohrleitungsprojektes. Definiert wird das generelle Vorgehen, ohne auf einzelne Gefahrenarten einzutreten; entsprechend wird auch der Fall Erdbeben nirgends erwähnt.

Das SVGW-Regelwerk G 1002 beinhaltet Empfehlungen für die Verhinderung und Bewältigung von Störungen in lokalen Gasversorgungen. Dieses Regelwerk ist vor allem für die Notfallplanung relevant (vgl. Kapitel 5 dieses Berichts). Auf die besonderen Notlagen, wie sie sich bei einem starken Erdbeben ergeben können, wird nirgends hingewiesen.

## B.2 Für die Notfallplanung relevante Grundlagen

In der Tabelle B.2 sind jene Artikel respektive Kapitel aus den rechtlichen Grundlagen stichwortartig zusammengestellt, welche relevante Passagen hinsichtlich der Notfallplanung enthalten. Die Anforderungen sind allgemein gehalten. Sie beinhalten jedoch die für die Erstellung einer Notfallplanung notwendigen Angaben. Die

Berücksichtigung von Ereignissen ausgelöst durch Naturgefahren wie Erdbeben wird in den rechtlichen Grundlagen nicht thematisiert.

*Tabelle B.1: Zusammenfassung für die Notfallplanung relevanter Artikel respektive Kapitel der rechtlichen Grundlagen.*

| Referenz      | Zusammenfassung   |
|---------------|---|
| (RLG 746.1)   | Art. 30 Abs. 2 Bst. b<br>Genügend Personal zur sicheren Bedienung der Anlage und zur Behebung von Schäden erforderlich.   |
| (RLG 746.1)   | Art. 31<br>Anlagen in betriebsbereitem und betriebssicherem Zustand erhalten.   |
| (RLG 746.1)   | Art. 32 Abs. 1<br>Bei undichter Rohrleitungsanlage Massnahmen treffen, um Schadensentstehung oder -ausbreitung zu verhindern und um Schäden zu beheben oder Gefahren zu beseitigen.   |
| (RLG 746.1)   | Art. 32 Abs. 2<br>Bei undichter Rohrleitungsanlage Bundesamt und die von der Kantonsregierung bezeichnete Alarmstelle benachrichtigen.  |
| (RLV 746.11)  | Art. 22 Abs. 2 Bst. e<br>Schadenbehebungsorganisation, Alarm- und Einsatzpläne, Sicherheits- und Interventionskonzept im Betriebsreglement enthalten.   |
| (RLV 746.11)  | Art. 22 Abs. 2 Bst. f<br>Konzept für die Schadensminimierung im Betriebsreglement enthalten.  |
| (RLV 746.11)  | Art. 22 Abs. 2 Bst. g<br>Informationen zu Einsatzübungen im Betriebsreglement enthalten.  |
| (RLSV 746.12) | Art. 55<br>Grundsatz: Der Betreiber muss alle Massnahmen treffen, welche bei Unfällen und Schadenfällen die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt minimieren.  |
| (RLSV 746.12) | Art. 56. Abs. 1 bis Abs. 3<br>Der Betreiber muss ausgebildete und ausgerüstete Einsatzmannschaft bereitstellen, welche jederzeit einsatzbereit ist.<br>Die Leitstelle muss jederzeit besetzt sein und die Überwachung der Anlage sowie Alarmierung der Einsatzmannschaft gewährleisten. |
| (RLSV 746.12) | Art. 57 Abs. 1<br>Der Betreiber muss festlegen, welches Material für Schadensminimierung und Reparaturen jederzeit greifbar sein muss.  |
| (RLSV 746.12) | Art. 58<br>Mit den zuständigen Ereignisdiensten (Feuer- und Ölwehrorganen, Polizei) zweckmässige Zusammenarbeit vereinbaren. Interventionskonzepte regelmässig überprüfen.  |
| (RLSV 746.12) | Art. 59 Abs. 1<br>Jährlich mindestens eine Einsatzübung durchführen.  |
| (RLSV 746.12) | Art. 60 Abs. 1<br>Im Schadenfall kantonale Alarmstelle und ERI benachrichtigen.   |
| (ERI-RL 2003) | Kapitel 8.2<br>Der Betreiber muss sicherstellen, dass ein Pikettdienst eingerichtet ist, dass das erforderliche Material für Schadensbehebung und das Kommunikationssystem zwischen Pikettdienst und Leitstelle zur Verfügung stehen.   |

| Referenz      | Zusammenfassung   |
|---------------|---|
| (ERI-RL 2003) | <p>Kapitel 8.3.3<br/>Inhalt Sicherheitskonzept:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Technische Anlagensicherheit,</li> <li>- Überwachung Rohrleitung, Trasse, Nebenanlagen, Bauten Dritter,</li> <li>- Information der Öffentlichkeit,</li> <li>- Festlegung der internen Abläufe bei Schadenfällen,</li> <li>- Schulung der Mitarbeiter zur Bewältigung von Schadenfällen,</li> <li>- Information und Schulung der in die Interventionskonzepte eingebundenen Rettungsdienste.</li> </ul>   |
| (ERI-RL 2003) | <p>Kapitel 8.3.4<br/>Inhalt Interventionskonzept:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pikettorganisation mit Pflichtenheft,</li> <li>- Liste der Vertragsfirmen mit deren Pflichtenheften,</li> <li>- Alarmplan,</li> <li>- Einsatzplanung mit öffentlichen Rettungsdiensten,</li> <li>- Personelle und geografische Einsatzplanung der Mitarbeiter,</li> <li>- Organisation des Schadenplatzes (Kommando, Kommunikation, Zuständigkeiten),</li> <li>- Zutrittsberechtigung der Beteiligten zum Schadenplatz,</li> <li>- Organisation des Materialtransportes (Einsatz- und Drittmaterial).</li> </ul> |
| (ERI-RL 2003) | <p>Kapitel 8.4<br/>Einsatzübungen durchführen.</p>  |
| (ERI-RL 2003) | <p>Kapitel 8.13.1<br/>Schadenfälle, ausserordentliche Ereignisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betreiber muss auf Schadenfälle reagieren können,</li> <li>- 1. Schaden begrenzen, 2. Schaden beheben,</li> <li>- Bei schweren Funktionsstörungen oder bei Alarmierung der Interventionskräfte, muss das ERI benachrichtigt werden (ERI informiert bei Bedarf Aufsichtsbehörde).</li> </ul>  |
| (G2 RL)       | <p>Kapitel 11.1 und 11.3<br/>Betreiber muss Pikettdienst sicherstellen, dieser muss bei Störungen zeit- und sachgerecht eingreifen.</p>   |
| (G 1002)      | <p>Kapitel 1<br/>Konzepte zur Bewältigung der Störfälle in Zusammenarbeit mit einzelnen Vorlieferanten erstellen; das gesamtschweizerische Störfallmanagement beachten.<br/>Inhalt Konzepte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abschaltpläne (Abwurfmanagement),</li> <li>- Informationskonzepte für die Orientierung der durch das Ereignis betroffenen Gasbezüger,</li> <li>- Massnahmenpläne für die bestmögliche Bewältigung des Störfalls.</li> </ul>   |
| (G 1002)      | <p>Kapitel 3<br/>Folgende Massnahmen zur Ereignisverhinderung in einem Notfallordner zusammenstellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Organisatorische Vorkehrungen,</li> <li>- Personelle Vorkehrungen,</li> <li>- Materielle Vorkehrungen,</li> <li>- Technische Vorkehrungen,</li> <li>- Inbetriebnahmen,</li> <li>- Generelle Überwachung und Wartung der Versorgungsanlagen,</li> <li>- Verhindern von Leitungsbeschädigungen,</li> <li>- Bereitschaftsdienst (Pikett),</li> <li>- Abwurfmanagement (Abnehmer einbeziehen).</li> </ul>  |

| Referenz | Zusammenfassung   |
|----------|---|
| (G 1002) | Kapitel 4<br>Zusammenstellung von Massnahmen für die Ereignisbewältigung bei folgenden Schädigungen: <ul style="list-style-type: none"><li>- Leitungsbeschädigung,</li><li>- Druckabfall im Leitungsnetz,</li><li>- Gasaustritt im Freien,</li><li>- Gasaustritt in Rohranlagen und Schächten,</li><li>- Gasaustritt in Gebäuden.</li></ul> |