

# **Erdbeben und Infrastrukturen**

## **Abwassersysteme**

*Juli 2012*

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

**Studer Engineering GmbH**

Thurgauerstrasse 56  
8050 Zürich

Tel. 044 481 06 00  
Fax 044 481 06 02  
E-mail [studer@studer-engineering.ch](mailto:studer@studer-engineering.ch)

---

**Impressum:**

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern. Das BAFU ist ein Amt des Eidgenössischen Departments für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

**Auftragnehmer:**

Studer Engineering, Thurgauerstrasse 56, 8050 Zürich, Schweiz

**Autoren:**

Jost A. Studer  
Thomas M. Weber

**Begleitung der Studie:**

Roland Boller (AV Morgental)  
Blaise Duvernay (BAFU)  
Felix Gamper (BBL)  
Sven Heunert (BAFU)  
Urs Huggenberger (Hunziker Betatech AG)  
Peter Hunziker (Hunziker Betatech AG, VSA)  
Martin G. Koller (Résonance)  
Ruppert Kuntner (ARA Rhein AG)  
Sebastian Lehmann (BAFU)  
Karlfrieder Locher (ARA Rhein AG)  
Jürg Schläpfer (Entsorgung + Recycling Zürich)  
Ulrich Sieber (BAFU)  
Philipp Sigg (Entsorgung + Recycling Zürich)

**Hinweis:**

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Freigabe BAFU: September 2012, Andreas Götz

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme"</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung der Studie</b>	<b>8</b>
<b>2 Abwassersysteme</b>	<b>10</b>
2.1 Einführung	10
2.2 Zielsetzungen und Hauptaufgabe der Abwassersysteme	11
2.3 Elemente des Abwassersystems	11
2.4 Typischer Konstruktionsweisen der Abwassersysteme in der Schweiz	14
<b>3 Verhalten von Abwassersystemen unter Erdbebeneinwirkung</b>	<b>16</b>
3.1 Einführung	16
3.2 Weltweite Erfahrungen mit Schäden an Abwassersystemen	17
3.3 Verletzbarkeit der einzelnen Elemente eines Abwassersystems unter Erdbebeneinwirkung in der Schweiz	24
<b>4 Betriebsziele und Anforderungen der Abwassersysteme nach Erdbebeneinwirkung in der Schweiz</b>	<b>29</b>
4.1 Einführung zum Begriff Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung	29
4.2 Erdbebeneinwirkung und Nachweise basierend auf Richtlinien für Neubauten	31
4.3 Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung für neue Abwasseranlagen	34
4.4 Minimales Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung für bestehende Anlagen	35
<b>5 Konstruktive Details zur Erdbebensicherung für Neubau und Ertüchtigung</b>	<b>38</b>
<b>6 Vorsorge und Ereignisbewältigung</b>	<b>49</b>
6.1 Vorsorgemassnahmen und Einsatzplanung	49
6.2 Instandstellung und Wiederaufbau	50
<b>7 Überprüfungskonzept bestehender Abwasseranlagen in 5 Stufen</b>	<b>52</b>
7.1 Einführung zur Überprüfung	52
7.2 Relevanzbeurteilung zur Überprüfung der Erdbebensicherheit	53
7.3 Stufe 1: Funktionsanalyse	54
7.4 Stufe 2: Bedeutungsanalyse	55
7.5 Stufe 3: Grobbeurteilung mittels Checklisten	56
7.6 Stufe 4: Detailbeurteilung	60
7.7 Stufe 5: Massnahmenkonzept und Ertüchtigung	60
7.8 Organisatorische Belange	62
7.9 Erfahrungen der Pilotstudie	64
<b>8 Handlungsbedarf</b>	<b>71</b>
<b>9 Literatur</b>	<b>72</b>
<b>Anhang A: Empfehlungen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit</b>	
<b>Anhang B: Relevanzbeurteilung zur Überprüfung der Erdbebensicherheit</b>	
<b>Anhang C: Checklisten zur Grobbeurteilung</b>	
<b>Anhang D: Verletzbarkeit der Kanalisation und Kläranlagen</b>	

## Kurzfassung "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme"

### *Rahmenbedingungen*

Abwassersysteme haben in der Schweiz eine grosse Bedeutung für den Menschen und die Umwelt, zur Erhaltung der Gesundheit und zum Schutz der Gewässer sowie des Grundwassers. Bislang wurden in der Schweiz von Anlagenbetreibern keine besonderen Massnahmen gegen Erdbebeneinwirkung beim Bau und Betrieb von Abwassersystemen getroffen.

Seit 2000 setzt der Bund ein Massnahmenprogramm Erdbebenvorsorge um, das unter anderem auch Infrastruktursysteme betrifft. Im Jahr 2004 hat eine Expertengruppe des Bundes festgehalten, dass die Infrastruktur der Abwassersysteme wegen der potentiellen Verschmutzung des Grundwassers und damit verbundenen Bedeutung für die Trinkwasserversorgung einer der prioritären Sektoren zur Untersuchung der Erdbebenverletzbarkeit ist.

### *Zielsetzung der Studie*

Um im Rahmen des integralen Risikomanagements den Schutz der Bevölkerung und grosser Sachwerte vor Naturgefahrenen sicherzustellen, möchte der Bund mit dieser Studie einen Beitrag zur Reduktion des Erdbebenrisikos bei der Infrastruktur der Abwasserentsorgung leisten. Ziel der Studie ist es, den Handlungsbedarf für die Schweiz bezüglich Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen aufgrund der Erfahrungen aus Schadensfällen vergangener Erdbeben aufzuzeigen, sowie Lösungsansätze zur Minimierung des Erdbebenrisikos vorzuschlagen. Anforderungen an die Erdbebensicherheit von neuen Abwasseranlagen sowie Ertüchtigungskonzepte bestehender Anlagen- teile sollen abgeleitet und spezifiziert werden.

Bei der Umsetzungsstrategie von Massnahmen muss stets die Verhältnismässigkeit untersucht werden, und die Kosten müssen der Risikoreduktion gegenübergestellt werden. Aufgrund dieser Überlegungen sind Massnahmen an bestehenden Elementen auf die Hauptrisiken zu limitieren und effiziente Massnahmen beim Neubau oder Unterhalt zu bevorzugen, bzw. zu standardisieren.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden drei Instrumentarien zur Verbesserung der Erdbebensicherheit neuer und bestehender Abwasseranlagen entwickelt: 1) Empfehlungen zur Erdbebensicherheit, 2) Kriterien zur Beurteilung der potentiellen Umweltgefährdung im Erdbebenfall und 3) ein mehrstufiges Überprüfungskonzept bestehender Anlagen.

Durch die Veröffentlichung der Studie soll auch das Bewusstsein gegenüber der Erdbebenproblematik und die Selbstverantwortung im Abwassersektor gefördert werden. Dies betrifft sowohl Betreiber als auch kantonale Abwasserbehörden. Die Studie wurde vom Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und repräsentativen Betreibern von Abwasseranlagen aus der Praxis unterstützt und begleitet.

### *Folgen der Studie*

Die erarbeiteten Instrumente werden dem VSA zur Verfügung gestellt, um möglichst alle Anlagenbetreiber zu erreichen und betreffend Erdbebensicherheit zu informieren und zu beraten. Die Herausgabe einer VSA-Empfehlung zur Erdbebensicherheit von Abwassersystemen, sowie die Umsetzung einer Weiterbildungsstrategie sollen langfristig dazu beitragen die Erdbebensicherheit des Schweizer Abwassernetzes zu verbessern.

*Verletzbarkeit bestehender Anlagen*

Die Untersuchung der Schadensursachen vergangener Erdbeben sowie die Analyse der typischen Konstruktionsweisen der Abwassersysteme in der Schweiz zeigen, dass auch mit der in der Schweiz vorhandenen Erdbebengefährdung Abwassersysteme in gewissen Punkten verletzlich sind und somit für die Natur, die Umwelt und die Trinkwasserversorgung eine Gefahr im Falle von Erdbeben darstellen. Obwohl sich Abwassersysteme verhältnismässig robust verhalten ist mit Schäden an Leitungssystemen und Einbauteilen in Kläranlagen zu rechnen.

Des Weiteren sind bei entsprechender Topographie und schlechten Bodenverhältnissen auch Kanalisationsnetze verletzlich. Häufig treten Schäden an steifen Verbindungs- und Anschlussstellen auf, vor allem bei älteren korrodierten spröden Rohrleitungen, z.B. bei Hauseinführungen und Schachtanschlüssen. Ferner sind nicht fixierte Elemente, wie Behälter und Steuerschränke, durch Umkippen gefährdet und können dadurch den Betrieb nach einem Erdbeben stark beeinträchtigen.

*Anforderungen an Abwasseranlagen*

Aufgrund der Bedeutung des Wassers für den Menschen, speziell in Hinblick auf die Trinkwasserversorgung sind die Grund- und Oberflächengewässer vor Verunreinigungen zu schützen. Die Hauptaufgabe der Abwassersysteme besteht darin verunreinigtes Wasser zu sammeln, abzuleiten, zu reinigen und in den Wasserkreislauf zurückzuführen.

Nach einem Erdbeben ist davon auszugehen, dass gewisse Schädigungen und Einschränkungen der Funktionstüchtigkeit der Abwasseranlage eintreten. Dabei ist es wichtig zu definieren, welche Anlagenteile ihre volle Funktionstüchtigkeit aufrecht erhalten müssen und welche Teile Einschränkungen bzw. Schädigungen während einer bestimmten Zeitdauer erfahren dürfen. Das Abwassersystem ist dabei in seiner Gesamtheit als Netzsystem zu betrachten.

Bei der Planung und Ausführung von neuen Abwasseranlagen sind unter anderem die Anforderung der Schweizer Tragwerksnormen zu berücksichtigen. Dabei werden zur Definition der Erdbebeneinwirkung die Abwasseranlagen im Allgemeinen in die Bauwerksklasse II eingestuft. Obwohl die Schweizer Normen für den Lastfall Erdbeben keinen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für normale Bauten der BWK I und II fordert, empfiehlt die vorliegende Studie, die Funktionstüchtigkeit von Abwasseranlagen nachzuweisen. Dies geschieht primär durch die Bemessung der Halterungen und Befestigungselemente nichtragender Bauteile, Anlagenteile und Apparate.

Bestehende Abwasseranlagen besitzen grundsätzlich dieselben Aufgaben, bzw. Betriebsziele wie Neuanlagen, dennoch können die Anforderungen an die Erdbebensicherheit reduziert werden. Eine vollumfängliche Ertüchtigung einer bestehenden Abwasseranlage ist finanziell kaum realisierbar, so dass zumindest die wichtigsten Funktionen nach einem Erdbeben aufrecht erhalten bleiben sollen. Als wesentliche Betriebsziele nach Erdbebeneinwirkung können für die Kanalisation das Sicherstellen der hydraulischen Funktionsfähigkeit und das Ableiten des Abwassers aus den Siedlungsgebieten genannt werden. Bei bestehenden kommunalen Kläranlagen lässt sich vor allem das Aufrechterhalten der mechanischen Reinigung als Betriebsziel nach Erdbeben benennen. Für Kläranlagen industrieller Abwasser sollten höhere Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit nach Erdbeben als im Vergleich zu kommunalen Anlagen gestellt werden.

*Empfehlungen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit*

Aufgrund der vorhandenen Verletzbarkeit der Abwassersysteme in der Schweiz und der Anforderungen, die an neue und bestehende Abwasseranlagen gestellt werden, wurden Empfehlungen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit erarbeitet (Anhang A). Diese Empfehlungen sollten einerseits für Neubauten angewendet werden, richten sich aber auch an bestehende Abwasseranlagen und ihre Einrichtungen. Neben den konkreten Massnahmenvorschlägen, sind auch Aspekte zur Prävention und Intervention aufgeführt, die von grosser Bedeutung sind, um nach einem Erdbeben schnell wieder den Normalbetrieb wieder herzustellen. Dabei sind zum Beispiel Prioritäten zu setzen beim Wiederaufbau, um eine grössere Verschmutzung des Trinkwassers zu vermeiden.

*Relevanzbeurteilung und Überprüfungskonzept*

Für bestehende Abwasseranlagen wurde ein Relevanzbeurteilungsblatt erarbeitet (Anhang B), dessen Kriterien es erlauben, die Anlagen zu identifizieren bei denen im Erdbebenfall mit potentiell grösseren Folgeschäden für die Natur, Umwelt und Trinkwasserversorgung zu rechnen ist und somit eine vertiefte Überprüfung sinnvoll ist. Dieses Relevanzbeurteilungsblatt kann auch von kantonalen Fachstellen angewendet werden, um ein Inventar zu erstellen und die Anlagen zu priorisieren. Dabei sind auch die Strategie und die Resultate aus dem Programm Schutz Kritischer Infrastrukturen (siehe [www.bevoelkerungsschutz.admin.ch](http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch)) mit einzubeziehen.

Zur Ausarbeitung eines effizienten Ertüchtigungskonzeptes ist eine umfassende Analyse des Abwassersystems erforderlich. Das vorgeschlagene Überprüfungskonzept (Kapitel 7 mit Anhang C) gliedert sich in 5 Stufen:

1. Funktionsanalyse:  
Festlegen des Betriebsziels nach Erdbeben für die Kanalisation bzw. die Kläranlage.
2. Bedeutungsanalyse:  
Untersuchung der Bedeutung einzelner Abwasserkomponenten hinsichtlich des Erreichens des Betriebsziels.
3. Grobbeurteilung:  
Ortsbegehung nach Checklisten und Einstufen der Anlagenkomponenten nach ihrer Verletzbarkeit.
4. Detailbeurteilung:  
Detaillierte Analyse bedeutender Anlagenkomponenten entsprechend ihrer Verletzbarkeit.
5. Massnahmenkonzept:  
Ausarbeitung eines Ertüchtigungskonzeptes für gefährdete Anlagenkomponenten entsprechend der Effizienz der Massnahmen.

Anhand der detaillierten Analysen lässt sich ein Massnahmenkonzept erarbeiten. Dies umfasst Ertüchtigungsarbeiten an den einzelnen Anlagekomponenten genauso wie die Ermittlung des Reparaturbedarfs und eine Reparaturprioritätenliste für den Erdbebenfall.

Grundsätzlich können einfache konstruktive Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit auch ohne Überprüfung der Anlage durchgeführt werden. Umfangreiche bauliche Ertüchtigungsmaßnahmen sollten mit langfristig geplanten Sanierungsarbeiten kombiniert werden, um den Kostenaufwand zu optimieren. Kleine konstruktive Sicherungsmassnahmen, wie Kippsicherung von Steuer- und Schaltschränken, können auch im Rahmen turnusmässigen Wartungsarbeiten umgesetzt werden.

*Vorsorge und Ereignisbewältigung*

Das Überprüfungskonzept für bestehende Anlagen zeigt dem Anlagenbetreiber recht detailliert, welche Schwachstellen im System vorhanden sind und mit welchem Schadenpotential bzw. Reparaturaufwand nach einem Erdbeben zu rechnen ist. Diese Einschätzungen sind für eine Vorsorgeplanung im Erdbebenfall sehr wichtig, auch wenn keine Ertüchtigung verletzlicher Anlagenkomponenten erfolgt. Entscheidend ist, dass sich der Anlagenbetreiber damit auseinandersetzt, wie nach einem Erdbebenereignis vorzugehen ist und somit auf den Ernstfall vorbereitet ist. Daraus kann eine Einsatzplanung abgeleitet werden, die das Vorhalten von Reparatur- und Notmaterial bzw. die schnelle Beschaffung im Notfall beinhaltet, genauso wie ein Training von Notfallübungen.

*Handlungsbedarf*

Mit der Zielsetzung die Resilienz von Systemen zu verbessern, sind gemäss integralem Risikomanagement geeignete Schutzmassnahmen umzusetzen und im Risikokreislauf aufeinander abzustimmen. Mit dem Projekt „Schutz Kritischer Infrastrukturen“ des Bundesamts für Bevölkerungsschutz wird sektorübergreifend eine integrale Betrachtung aller Risiken vorgenommen. Somit sind auch sektorspezifisch präventive Massnahmen zu ergreifen, um die Robustheit der Abwassersysteme gegenüber Erdbeben zu verstärken und somit das Erdbebenrisiko zu reduzieren. Dazu sind die im Rahmen dieser Studie erarbeiteten Empfehlungen von den Erstellern und Betreibern neuer und bestehender Abwasseranlagen zu berücksichtigen und umzusetzen, auch wenn die Relevanzbeurteilung keine vertiefte Überprüfung einer bestehenden Anlage anzeigt. Mit dem Überprüfungskonzept kann effizient die Erdbebensicherheit beurteilt und die Planung konstruktiver und betrieblicher Sicherungsmassnahmen vorgenommen werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Studie ist die Sensibilisierung der Erdbebenproblematik im Abwassersektor. Diesbezüglich ist es wichtig, dass alle Anlagebetreiber via dem Dachverband VSA über die Studie, deren Ergebnisse und die erarbeiteten Instrumente informiert werden. Die Herausgabe einer VSA-Empfehlung, sowie die Umsetzung einer Weiterbildungsstrategie sind eine Voraussetzung, um langfristig die Erdbebensicherheit des Schweizer Abwassernetzes zu verbessern. Da die Abwasseranlagen auf kantonaler Ebene bewilligt werden, sollen auch die Behörden mit diesen Informationen bedient werden, damit die Thematik der Erdbebensicherheit in den Bewilligungsverfahren Einzug findet.

## 1 Einleitung und Zielsetzung der Studie

### Ausgangslage

Abwassersysteme haben in der Schweiz eine grosse Bedeutung für den Menschen und die Umwelt, zur Erhaltung der Gesundheit und zum Schutz der Gewässer sowie des Grundwassers. Bislang wurden in der Schweiz von Anlagenbetreibern keine besonderen Massnahmen gegen Erdbebeneinwirkung beim Bau und Betrieb von Abwassersystemen vorgenommen.

Seit 2000 setzt der Bund ein Massnahmenprogramm Erdbebenvorsorge um, das unter anderem auch die wichtigen Infrastruktursysteme betrifft ([www.bafu.admin.ch/erdbeben](http://www.bafu.admin.ch/erdbeben)). Im Jahr 2004 hat eine Expertengruppe im Erläuterungsbericht zum Programm festgehalten, dass die Infrastruktur der Abwassersysteme wegen der potentiellen Verschmutzung des Grundwassers und damit verbundenen Bedeutung für die Trinkwasserversorgung einer der prioritären Sektoren zur Untersuchung der Erdbebenverletzbarkeit ist und Handlungsbedarf besteht. Die weiteren Sektoren, die als prioritär definiert werden, sind die Stromversorgung, der Strassenverkehr, die allgemeine Schadensabwehr, die Kommunikation und die Gesundheitsversorgung.

Bei der Infrastruktur der Abwasserentsorgung verfügt der Bund über keine Kompetenzen im Bereich des Bauwesens (keine Aufsicht, keine Bewilligung von Bauprojekten, keine Mitfinanzierung von Bauprojekten). Trotzdem möchte er durch diese Studie die Betreiber von Abwassersystemen mit Grundlagen zur Verletzbarkeit von Abwassersystemen im Falle eines Erdbebens und mit methodischen Lösungsansätzen zur Reduktion des Erdbebenrisikos im Sinne der Förderung der Erdbebenvorsorge bedienen.

Die Erdbebengefährdung und daraus resultierende Einwirkung auf Tragwerke und Konstruktionen sind in der Schweizer Norm SIA 261 (2003) geregelt. Danach ist in der gesamten Schweiz mit Erdbeben zu rechnen, wobei im Wallis und im Raum Basel die Gefährdung am höchsten ist. Im internationalen Vergleich ist die Gefährdung in der Schweiz als gering bis mittel einzustufen. Das bedeutet, dass stark schädigende Erdbeben auftreten können, aber selten sind. Demzufolge ist ein Risiko für bestehende Infrastrukturbauten vorhanden, da viele Anlagen nicht erdbebengerecht ausgelegt sind bzw. selbst heute noch teilweise nicht erdbebengerecht ausgelegt werden.

### Zielsetzung der Studie

Um im Rahmen des integralen Risikomanagements den Schutz der Bevölkerung und grosser Sachwerte vor Naturgefahren sicherzustellen, möchte der Bund mit dieser Studie einen Beitrag zur Reduktion des Erdbebenrisikos bei der Infrastruktur der Abwasserentsorgung leisten. Ziel der Studie ist es, den Handlungsbedarf für die Schweiz bezüglich Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen aufgrund der Erfahrungen aus Schadensfällen vergangener Erdbeben aufzuzeigen, sowie Lösungsansätze zur Minimierung des Erdbebenrisikos vorzuschlagen. Mit der Festlegung von Betriebszielen können Anforderungen an die Erdbebensicherheit von neuen Abwasseranlagen sowie Ertüchtigungskonzepte bestehender Anlagenteile abgeleitet und spezifiziert werden. Bei der Umsetzungsstrategie von Massnahmen muss stets die Verhältnismässigkeit gegeben sein und die Kosten müssen der Risikoreduktion gegenübergestellt werden. Aufgrund dieser Überlegungen sind Massnahmen an bestehenden Elementen auf die Hauptrisiken zu limitieren und effiziente Massnahmen beim Neubau oder Unterhalt zu bevorzugen bzw. zu standardisieren.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden drei Instrumentarien zur Verbesserung der Erdbebensicherheit neuer und bestehender Abwasseranlagen entwickelt: 1) Empfehlungen zur Erdbebensicherheit, 2) Kriterien zur Beurteilung der potentiellen Umweltgefährdung im Erdbebenfall und 3) ein mehrstufiges Überprüfungskonzept bestehender Anlagen.

Die Empfehlungen dienen der Verbesserung der Erdbebensicherheit der baulichen Anlagen und Prozesseinrichtungen von Neubauten und bestehenden Anlagen sowie dem Erhalt der Handlungsfähigkeit im Erdbebenfall. Unterschiedliche konstruktive und betriebliche Massnahmen ermöglichen es, präventiv die Schadensauswirkungen eines Erdbebenereignisses gering zu halten, und das Vorgehen nach einem Erdbeben zu koordinieren. Die Empfehlungen sollten im Interesse aller Betreiber berücksichtigt und umgesetzt werden.

Die Relevanzbeurteilung einer Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Anlagen zeigt eine erhöhte Umweltgefährdung im Schadenfall nach einem Erdbebenereignisses an. Als Konsequenz bei erhöhter Gefährdung ist eine vertiefte Überprüfung der Erdbebensicherheit der Anlage empfohlen.

Das Konzept zur Überprüfung und Analyse der Erdbebengefährdung bestehender Abwasseranlagen beinhaltet ein mehrstufiges Vorgehen und befasst sich mit den Betriebszielen, der Funktionstüchtigkeit, der Bedeutung und der baulichen Prüfung einzelner Komponenten bzw. der Gesamtheit einer Abwasseranlage. Mittels Checklisten wird eine Methode zur Verfügung gestellt, die kritische Anlagenteile schnell und effizient erkennen lässt und eine Priorisierung bei der Massnahmenplanung und Bündelung der baulichen Ressourcen ermöglicht.

Durch die Veröffentlichung der Studie soll auch das Bewusstsein gegenüber der Erdbebenproblematik und die Selbstverantwortung im Abwassersektor gefördert werden. Dies betrifft sowohl Betreiber wie auch kantonale Abwasserbehörden. Die Studie wurde vom Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und repräsentativen Betreibern von Abwasseranlagen aus der Praxis unterstützt und begleitet. Die erarbeiteten Instrumente werden dem VSA zur Verfügung gestellt, um möglichst alle Anlagenbetreiber zu erreichen und betreffend Erdbebensicherheit zu informieren und zu beraten. In diesem Zusammenhang ist auch ein Weiterbildungsangebot zur Thematik "Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen" ange- dacht.

## 2 Abwassersysteme

### 2.1 Einführung

#### *Grundwasserschutz*

Beim "Abwasser" handelt es sich um Wasser, das aus Siedlungen abgeleitet werden muss. Es enthält im Allgemeinen Stoffe, die nicht bedenkenlos an die Umwelt zurückgegeben werden können und deshalb behandelt und gereinigt werden müssen.

Durch die Zunahme der Bevölkerung in den Siedlungsgebieten, die Ausweitung der Industrie- und Gewerbegebiete sowie höhere Anforderungen an die Lebensqualität findet eine stetige Steigerung der Anforderung an die Abwassersysteme statt.

Der sorglose Umgang mit Schmutzwasser führt zu einer Gefährdung der Umwelt und der menschlichen Gesundheit durch mangelnde Hygiene und unsauberes Trinkwasser. In der Natur kann bis zu einem gewissen Grad eine Selbstreinigung stattfinden, die sich vor allem in Oberflächengewässern vollziehen kann. Bei einer dichten Besiedelung ist die Grenze der Selbstreinigung jedoch schnell überschritten.

Eine Kontamination des Grundwassers hat schwerwiegende Folgen, da eine Selbstreinigung nur über lange Zeiträume stattfindet und vor allem Grundwasser zur Trinkwassernutzung herangezogen wird. Daher ist dem Grundwasserschutz eine besondere Bedeutung beizumessen.

#### *Zuständigkeiten*

Der Bund stellt die zu erreichenden Zielvorgaben im Bereich Abwasser, erlässt Ausführungsvorschriften, setzt internationale Beschlüsse und Abkommen um oder fördert die Entwicklung von Anlagen und Verfahren, mit denen der Stand der Technik sichergestellt wird. Ferner beaufsichtigt er den Vollzug des Gewässerschutzgesetzes und unterstützt die Kantone beim Vollzug durch Vorbereitung von Empfehlungen und Vollzugshilfen. Zuständig ist dafür das Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Die Kantone sind für den Vollzug des Gewässerschutzgesetzes zuständig (Art. 45 GSchV). So sind sie für das Festlegen der Einleitbedingungen, die Kontrolle der Abwasserreinigungsanlagen und für die Umsetzung des Verursacherprinzips verantwortlich. Ferner liegt die Notfallplanung im Havariefall auch in der Verantwortung der Kantone.

Die Abwassersysteme werden von Gemeindewerken, Abwasserzweckverbänden und von Kantonen betrieben. Die Einhaltung der Zielvorgaben liegt in der Verantwortung des Anlagenbetreibers. Der Betreiber ist selber verantwortlich und verpflichtet, notwendige Abklärungen durchzuführen, allfällige Schutzmassnahmen zu ergreifen und nachzuweisen, dass die Anforderungen zum Schutz der Gewässer erfüllt sind (Art. 32 GSchV).

Die Baubewilligungsverfahren liegen im Zuständigkeitsbereich der Kantone und der Gemeinden. Der Bund kann nur bei seinen eigenen Bauten und den Bauten, die ihm zur Genehmigung / Subventionierung unterbreitet werden, Massnahmen bezüglich der Erdbebensicherheit verlangen. Ausserhalb dieses Bereiches kann der Bund nur die Erdbebenvorsorge fördern.

## 2.2 Zielsetzungen und Hauptaufgabe der Abwassersysteme

*Ziel der Abwassersysteme* Das Ziel der Abwassersysteme ist der Schutz des Grundwassers und der Gewässer vor Verunreinigungen im Interesse der Gesundheit des Menschen und des Schutzes der Natur. Ein unkontrolliertes Abfließen von Schmutzwasser in die Umwelt ist zu vermeiden. Nur durch die Reinigung der Abwässer lässt sich die Gewinnung von Trink- und Brauchwasser durch Verwendung von Quell bzw. Grundwasser realisieren. Darin ist ebenfalls die landwirtschaftliche Bewässerung eingeschlossen. Die Sauberkeit der Gewässer beeinflusst massgeblich ihre Nutzung zur Erholung, den Erhalt des Fischbestandes und Artenreichtums sowie den Natur und Landschaftsschutz.

Die oberste Priorität gilt dem Schutz des Grundwassers, gefolgt vom Schutz der Oberflächengewässer. Diese Reihenfolge lässt sich mit der günstigeren Selbstreinigung der Oberflächengewässer, der Bedeutung für die Trinkwassergewinnung sowie der einfacheren Kontrolle einer möglichen Verschmutzung begründen.

*Hauptaufgaben der Systemkomponenten* Die Abwassersysteme haben verschiedene Aufgaben zu erfüllen, um die genannten Ziele zu erreichen. Zuerst wird das Abwasser an den Orten aufgefangen und gesammelt, an denen es verunreinigt wird. Über ein Leitungssystem wird das verschmutzte Wasser zusammengeführt und zu zentralen Einrichtungen abgeleitet.

Die Aufbereitung und Reinigung des Abwassers erfolgt regional gebündelt in Kläranlagen, in denen ein Grossteil der Schmutzstoffe aus dem Abwasser entfernt wird. Die Reinigung erfolgt auf mechanischem, chemischem und biologischem Wege. Abschliessend wird das aufbereitete und gereinigte Abwasser wieder in den Wasserkreislauf durch die Zuleitung in Flüsse zurückgeführt.

Die zurückgehaltenen Schmutzstoffe fallen im Allgemeinen in Form von Klärschlamm an. Die Behandlung des Klärschlamms ist ebenfalls ein Teil der Abwassersysteme und besteht vor allem aus Eindicken, Entwässern, Trocknen und Verbrennen oder Deponieren bzw. Weiterverwerten.

Bei der Behandlung nicht belasteter Abwässer, wie Regen-, Schmelz- und Drainagewässer, kann auf eine Reinigung verzichtet werden. Das anfallende Wasser wird lokal in den Wasserkreislauf zurückgeführt. Ist das Regen- oder Schmelzwasser verschmutzt, muss es der Reinigung zugeführt werden.

Die Betriebsziele der Abwassersysteme bestehen somit in der Ausführung bzw. in der Aufrechterhaltung der Funktionen Sammeln, Ableiten und Reinigen von Abwässern sowie der Schlammbehandlung.

## 2.3 Elemente des Abwassersystems

*Aufteilung* Ausgehend von den Hauptaufgaben der Abwassersysteme können 3 Teilbereiche unterschieden werden: die Kanalisation, die Klärung und die Schlammbehandlung.

*Geschichtliches* Die Entwicklung zu den heutigen modernen Abwassersystemen vollzog sich langsam über mehrere Jahrhunderte. Aufgrund des Wachstums der Städte und einer zunehmenden Verunreinigung der Gewässer wurde die heute noch übliche Schwemmkanalisation erst-

malig im 19. Jh. in der Schweiz eingeführt. Ende des 19. Jh. erfolgte der Bau von Sedimentationsbecken und die ersten biologischen Reinigungsanlagen. Im 20. Jh. wurde die Abwasserreinigung weiter ausgebaut und auch die chemische Abwasserreinigung entwickelt. Vor allem die Phosphorelimination sollte einer Überdüngung der Flüsse und Seen entgegenwirken.

#### *Systeme der Kanalisation*

Anfänglich erfolgte der Bau der Kanalisation im Mischsystem. Bei diesem System werden Schmutzwasser aus den Haushalten und Regenwasser in der gleichen Rohrleitung abgeleitet. Dies hat zu Folge, dass mehr Abwasser aber gering belastet in die Kläranlage gelangt und der Abfluss grösseren Schwankungen unterworfen ist. Bei mittleren Regenereignissen erfolgt ein Rückstau des Abwassers durch Regenrückhaltebecken, das nach dem Regen in die Kläranlage geleitet wird. Bei starken Regenereignissen wird darüber hinaus über Hochwasserentlastungsanalgen bzw. Regenüberlaufbecken überschüssiges Regenwasser direkt in die Vorflut entlastet.

In jüngerer Zeit wird verstärkt das Trennsystem installiert, bei dem Schmutzwasser aus den Haushalten und Regenwasser in separaten Leitungen abgeführt werden. Die Schmutzwasserleitung hat dabei einen geringeren Querschnitt als die Regenwasserleitung und einen verhältnismässig konstanten Abfluss. Das Schmutzwasser ist auch höher belastet als das Misch- oder Regenwasser.

In der Schweiz sind gemäss einer Umfrage auf Kantonsebenen im Jahr 2005 die Siedlungsgebiete zu 67% im Mischsystem und 33% im Trennsystem erschlossen. Beim Neubau der Kanalisation geht der Trend eher zum Trennsystem. Der Neubau von Rohrleitungen im Trennsystem ist meist teurer, kann aber bei der Erweiterung oder Sanierung bestehender Abwasserleitungen kostengünstig umgesetzt werden.

#### *Komponenten der Kanalisation*

Die Kanalisation wird üblicherweise mit Rohrleitungen in Form unterirdischer Freispiegelleitungen ausgeführt. Der Abfluss des Abwassers erfolgt durch ein natürliches Gefälle. In bestimmten Abständen bis max. 100 m werden Schächte gesetzt, die die Begehung, Inspektion und Wartung der Kanalisation ermöglichen. Bei starken geodätischen Höhenunterschieden werden Absturzbauwerke vorgesehen. Beim Aufbau eines Abwasserleitungsnetzes erfolgt die Zusammenführung einzelner Leitungen mittels Vereinigungsbauwerken zu Hauptsammelleitungen. Zur Unterquerung von Flüssen oder Tunnelbauwerke kommen Düker zum Einsatz.

Für die Ableitung des Regenwassers werden verschiedene Formen von Rückhaltebecken oder Rückstauleitungen in das Leitungssystem eingebunden, je nach Art des Abwassersystems.

Zur Gewinnung von Abflusshöhe bei ungünstigen topographischen Verhältnissen werden Pumpwerke eingesetzt. Diese werden meist bei Hauptsammlern gestaffelt zwischengeschaltet und Kläranlagen vorgeschaltet.

Im Trennsystem ist auch die Ausführung der Schmutzwasserleitung als Druckleitungen bei ungünstigen topographischen Verhältnissen möglich. Die Vorteile von Freispiegelleitungen überwiegen jedoch, da das Abwasser mit Sauerstoff versorgt wird und weniger Geruchssprobleme auftreten, die Sedimentation verringert wird, keine Pumpen erforderlich sind und grosse Rohrleitungen auch während des Betriebes für den Unterhalt begangen werden können.

*Kläranlagen für kommunale und gewerbliche Abwässer*

Im Allgemeinen werden Kläranlagen für kommunale und gewerbliche Abwässer ausgelegt. Diese sind oft moderat und vor allem mit organischen Verunreinigungen belastet.

Der Kläranlage ist meist ein Pumpwerk vorgeschaltet, um das Abwasser auf die gewünschte geodätische Höhe zu pumpen. Das Abwasser durchläuft den Klärprozess im freien Gefälle mit zwischen geschalteten Pumpen. Kläranlagen bestehen in der Regel aus einer mechanischen, chemischen und biologischen Klärstufe.

Zur mechanischen Reinigung zählen die Rechenanlage, der Sandfang mit Fettabscheider und die Vorklärung. Die biologische Reinigung durch Mikroorganismen erfolgt in Belebungsbecken oder Festbettanlagen. In Nachklärbecken werden alle restlichen Schwebstoffe entfernt. Je nach Anforderungen können im Klärprozess Chemikalien zugeführt werden, die eine Neutralisation oder Ausfällung von verunreinigenden Substanzen hervorrufen. In manchen Anlagen wird auch eine Reinigung der anfallenden Abluft durchgeführt.

*Kläranlagen für Industrieabwässer*

Industrieabwässer besitzen meist eine andere Art der Verschmutzung als kommunale Abwässer. Sie sind in grossem Masse mit Schadstoffen, Chemikalien und Schwermetallen belastet. Daraus ergibt sich partiell ein veränderter Aufbau im Vergleich zu kommunalen Kläranlagen. Zum Teil ist keine mechanische Klärung erforderlich. Dafür kommt der chemischen Behandlung der Abwässer eine besondere Bedeutung zu. Daraus ergibt sich die Anordnung zusätzlicher Prozessstufen und Beckentypen, als da z.B. wären: Mischbecken, Neutralisation, Vorklarbecken, Speicherbecken, Flockung, Flotation. Die biologische Klärung und Nachklärung ist ähnlich zur kommunalen Abwasserreinigung mit Belebungsbecken, Entgasung und Nachklärbecken. Ebenfalls besitzen manche Anlagen eine Abluftreinigung.

*Schlammbehandlung*

Die Schlammbehandlung ist hier separat aufgeführt, findet aber im Allgemeinen auf dem Gelände der Kläranlage statt. Zur Aufbereitung durchläuft der Klärschlamm verschiedene Prozesse, von der Eindickung, Faulung, Entwässerung, Trocknung bis zur Schlammverwertung als Brennstoff, Deponiegut oder Düngemittel. Bei der Verarbeitung des Klärschlammes wird oft auch eine Abluft- oder Rauchgasreinigung durchgeführt. In der Schweiz wird der Klärschlamm im Allgemeinen verbrannt, während die Rückstände aus dem Sandfang deponiert oder wiederverwertet werden. Eine Hygienisierung des Klärschlammes findet seit 2004 nicht mehr statt.

*Bedeutung für die Systemsicherheit*

Prinzipiell besitzt das Abwassersystem einen seriellen Aufbau. Die Hauptaufgaben der Abwassersysteme, Sammlung, Ableitung, Klärung und Schlammbehandlung, erfolgen nacheinander. Dies hat zur Folge, dass bei Ausfall nur eines Elementes der gesamte Prozess nicht in vollem Leistungsumfang funktionstüchtig ist bzw. unterbrochen sein kann. In Abhängigkeit der Anforderungen, geographischen Bedingungen und dem Abwasseranfall sind jedoch Redundanzen im System vorhanden oder planmäßig vorgesehen. Ein wesentlicher Punkt ist auch die Auslastung der Abwassersysteme. Bei nur einem moderaten Grad der Auslastung entstehen zusätzliche Redundanzen, die eine Reduktion der Verletzbarkeit des Systems bewirken.

Rohrleitungssysteme werden häufig, vor allem im städtischen Bereich, als Netzwerk ausgeführt. Redundanzen sind dahingehend vorhanden, dass eine Umleitung des Abwassers im Netzsystem über

andere Sammelleitungen möglich ist. Dies bietet auch den Vorteil, dass man für Wartungsarbeiten Rohleitungsschnitte vom Netz entkoppeln kann. Bei Schadensfällen ist dann ebenfalls eine Umleitung des Abwassers bis zur Reparatur des betreffenden Leitungsschnittes möglich. Ferner werden an besonders wichtigen Punkten, wie z.B. Flussunterquerungen mit Düker, mit mehreren parallelen Rohrleitungen ausgeführt, so dass für Revisionszwecke eine Rohleitung temporär vom Netzt getrennt werden kann.

Pumpwerke werden im Allgemeinen mit mehreren Pumpen in Parallelschaltung ausgerüstet. Beim Ausfall einer Pumpe kann das Abwasser bis zu einer bestimmten Menge von der zweiten Pumpe gefördert werden, so dass bei moderatem Abwasseranfall die Entsorgung aufrecht erhalten werden kann. Diese Redundanz ist auch für Revisionszwecke erforderlich.

In der Kläranlage sind teilweise Klärbecken in zweifacher Ausführung parallel geschaltet. Hier ergibt sich vor allem bei grösseren Anlagen mit höherer Bedeutung eine Redundanz, die ebenfalls für Wartungsarbeiten erforderlich ist. Für Störfälle bzw. planmässige Wartungsarbeiten sind auch Zwischenspeicher- bzw. Havariebecken vorhanden, die einen Betriebsunterbruch erlauben. Gleiches gilt auch für die Schlammbehandlung, die aber weniger sensibel auf Betriebsunterbrüche reagiert.

Bei Schäden an Anlagenteilen führt das Überbrücken einzelner Klärprozesse zur Reduktion der Reinigungsleistung der gesamten Kläranlage. Je nach Einstufung des Risikos kann diese Reduktion jedoch für einen kurzen Zeitraum toleriert werden. Ein Unterbruch der Schlammbehandlung hat im Allgemeinen keine direkte Verschmutzung der Umwelt zur Folge.

## 2.4 Typischer Konstruktionsweisen der Abwassersysteme in der Schweiz

### Allgemein

Im Allgemeinen werden Abwassersysteme als robuste Konstruktionen aus vorgefertigten Betonelementen oder in Ortbeton ausgeführt. Die Abwasserleitungen sind als drucklose Freispiegelleitungen unterirdisch verlegt. Der Abfluss in der Kanalisation und in Kläranlagen erfolgt aufgrund eines natürlichen Gefälles mit punktuellen Hebeeinrichtungen bzw. Pumpwerken.

Eine Übersicht der einzelnen Komponenten des Abwassersystems und ihrer Verletzbarkeit bei Erdbeben findet sich im Angang C.

### Kanalisation

Die Freispiegelleitungen der Kanalisation werden primär aus vorgefertigten Betonrohren, Steinzeug, Faserzement oder Kunststoff mit natürlichem Gefälle unterirdisch verlegt. Begehungsstäbe bestehen meistens aus auf einem Fundament aufgesetzten vorgefertigten Tubusringen. Andere Bauwerke der Kanalisation, wie Kanalvereinigungen, Absturzbauwerke, werden aus Ortbeton hergestellt. Rückhaltebecken werden in Ortbeton oder als Erdbauwerk ausgeführt. Abwasserpumpwerke werden häufig mit Schnecken ausgestattet, da sie wenig zum Verstopfen neigen oder mit Kreiselpumpen, wenn grössere Höhen überwunden werden müssen.

### Kläranlagen

Die Klärbecken einer Kläranlage sind meist ebenerdig in den Boden eingelassen und aus Ortbeton mit rundem oder rechteckigem Grundriss ausgeführt. Der Rechen zur mechanischen Reinigung grober Bestandteile besitzt die Form eines Siebes mit spezieller Räumungs-

einrichtung. Weitere Anlagenteile sorgen für die Zuführung von Chemikalien zur Neutralisation und chemischen Bindung, z.B. Füllung, zu dem Reinigungsprozess. Im Belebungsbecken ist eine Luftzufuhr zur Aufrechterhaltung günstiger Lebensbedingungen der Mikroorganismen erforderlich. Alternativ zum Belebungsbecken erfolgt vor allem bei Neuanlagen die biologische Reinigung in Festbettanlagen, wie Tropf- oder Tauchkörperanlagen, die im Allgemeinen oberirdisch erbaut sind. In den Absetzbecken kommen Schlammräumer zum Einsatz. Die Klärbecken sind mit verschiedenen für den jeweiligen Reinigungsprozess erforderlichen Einbauteilen versehen und mit Rohrleitungen miteinander verbunden.

Einige Kläranlagen, z.B. die Kläranlage der chemischen Industrie in Basel - ARA-Chemie Basel der Pro Reno AG, verwenden hochgebaute Tanks zur Zwischenspeicherung des Abwassers während des Reinigungsprozesses, sowie Hochbauten für weitere Prozesse.

#### *Schlammbehandlung*

Die zur Schlammbehandlung eingesetzten Anlageteile sind meist in gedrungenen Bauwerken aber auch in Hochbauten eingepasst. Verschiedene Arten Reaktoren, Pressen und Trocknungsöfen kommen hier zum Einsatz. Die Faulung des Klärschlammes erfolgt oft in Türmen mittlerer Höhe.

### 3 Verhalten von Abwassersystemen unter Erdbebeneinwirkung

#### 3.1 Einführung

##### *Gefährdung*

Zu den durch Erdbeben gefährdeten Anlagenteilen des Abwassersystems gehören prinzipiell alle Komponenten, von Rohrleitungen, Schachtbauwerken, Pumpstationen, Kläranlagen bis zur Schlammbehandlung. Allgemein lässt sich aber sagen, dass die massiven robusten Konstruktionen der Abwassersysteme wenig anfällig gegenüber Erdbeben sind, da sie meist unterirdisch verlegt oder ebenerdig ausgeführt sind.

Schäden an unterirdisch verlegten Abwasserfreispiegelleitungen sind oft kaum zu erkennen, und das Abwasser tritt im Schadensfall nicht an die Geländeoberfläche. Es sei denn, es kommt durch Verstopfung zu sichtbarem Auslaufen von Abwasser oder zu Geruchsentwicklung. Abwasserleitungen behalten bei leichten Beschädigungen zum grossen Teil ihre Funktionstüchtigkeit bei, da der Abfluss durch ein natürliches Gefälle stattfindet und nur durch Verstopfung und bei totaler Zerstörung blockiert wird. Bei Schädigungen der Rohrleitungen kann es aber zu einem allmählichen Verstopfen der Leitungen an den Schadstellen kommen, welches sich erst Monate später bemerkbar macht. Durch schadhafte Rohrleitungen kann aber Abwasser in den Untergrund sickern bzw. Grundwasser in die Leitung eindringen. Schäden an der Kanalisation sind im Allgemeinen nur durch visuelle Inspektion zu erkennen. Diese visuelle Inspektion ist recht aufwendig und dementsprechend sind Schäden an Abwasserleitungen nach Erdbebeneinwirkung auch relativ wenig dokumentiert.

Das grösste Problem bei der Beschädigung der Abwassersysteme stellt unkontrolliertes Auslaufen von kontaminiertem Abwasser dar, das zu einer Verschmutzung der Umgebung und des Grundwassers führt. Durch verschmutztes Trinkwasser können bei einem Erdbebenereignis Gesundheitsrisiken auftreten, die zu einer Epidemie führen. Ebenfalls problematisch ist ein längerer Betriebsunterbruch von Kläranlagen, wenn das Abwasser ungereinigt abgeleitet werden muss.

Bei der Analyse von Erdbebenschäden gibt es verhältnismässig wenige Berichte, die ein Versagen der Kanalisation dokumentieren. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass Schäden genauso häufig auftreten, wie bei der Wasser- oder Gasversorgung. Zum Beispiel wurden bei folgenden Erdbeben keine Schäden an den Abwassersystemen festgestellt bzw. gemeldet aber zum Teil vermutet:

- San Simeon, Kalifornien (22. Dezember 2003);  $M_W = 6.5$
- Molise, Italien (31. Oktober 2002);  $M_W = 5.7$
- Nisqually, Washington (28. Februar 2001);  $M_W = 6.8$
- El Salvador (13. Januar 2001);  $M_W = 7.7$
- Quindio, Kolumbien (25. Januar 1999);  $M_W = 6.1$
- Klamath Falls, Oregon (20. September 1993);  $M_S = 5.7$
- Dahshour, Ägypten (12. Oktober 1992),  $M_S = 5.4$  (DHA 1993)
- Erzincan, Türkei (13. März 1992),  $M_S = 6.8$  (EERI 1993)
- Morgan Hill, USA (24. April 1984),  $M_L = 6.2$  (EERI 1985)

Ferner ist anzumerken, dass in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern kaum Abwasserreinigungsanlagen vorhanden sind. Demzufolge gibt es auch kaum Schadensmeldungen. Dies ist z.B. in den Berichten vom San Salvador Erdbeben 1986 (EERI 1987) und Chile

Erdbeben 1985 (EERI 1986) der Fall, zu der Zeit die Städte noch keine Kläranlagen hatten.

#### *Einflussfaktoren*

Die wichtigsten Einflussfaktoren bei der Entstehung der einzelnen Schäden sind:

- Lokale Baugrundeigenschaften
- Topographie der Geländeoberfläche
- Duktilität der betroffenen Elemente

Die lokalen Baugrundeigenschaften beeinflussen in hohem Mass die Einwirkung des Erdbebens auf die einzelnen Elemente. Im Allgemeinen sind in steifem stabilem Untergrund eingelassene Bauwerke oder Rohrleitungen kaum durch Erdbeben gefährdet. Die Erschütterungen infolge Erdbeben können jedoch bei ungünstigen Baugrundverhältnissen verstärkt werden. Außerdem verursachen grosse Bodendeformationen, beispielsweise bei verflüssigungsempfindlichen Böden oder Hanginstabilitäten, Schäden an Elementen, welche diese Bewegungen nicht mitmachen können.

Ungünstige Baugrundverhältnisse liegen zum Beispiel bei mächtigen weichen Ablagerungen (Seebodenablagerungen oder Torf) oder bei locker gelagerten homogenen Sanden vor, welche im gesättigten Zustand verflüssigungsempfindlich sind.

Die Duktilität eines Materials oder eines gesamten Systems spielt bei Erdbebeneignissen eine grössere Rolle als dessen Festigkeit. Anders als bei statischen Lasten, deren Aufnahme durch die Festigkeit des Materials begrenzt ist, wird bei zyklischen Lasten, wie Erdbebenereignissen, die Duktilität eines Systems zum entscheidenden Faktor. **Das System muss grundsätzlich nicht die Kräfte aufnehmen können, welche durch ein Erdbeben verursacht werden, sondern es soll vielmehr die aufgezwungenen Verformungen mitmachen können.**

Besondere Aufmerksamkeit ist den Ausführungen der Anschlüsse von Leitungen in feste Bauwerke zu widmen. Allgemein zeigen flexible Leitungsverbindungen ein robustes Verhalten.

## 3.2 Weltweite Erfahrungen mit Schäden an Abwassersystemen

#### *Hauptursachen für starke Schäden*

Die Hauptursachen für Schäden an Abwassersystemen sind im Allgemeinen starke Deformation des Untergrundes. Diese werden durch die lokalen Bodeneigenschaften und die lokale Topographie beeinflusst.

Bei siltigen und feinsandigen, locker gelagerten Böden kann es bei Wassersättigung unterhalb des Grundwasserspiegels zu Bodenverflüssigung kommen. Der Boden verliert dabei seine Scherfestigkeit und verhält sich wie eine Flüssigkeit. Grosse Deformationen entstehen auch durch Hangrutschung bei geneigtem Gelände und durch Verformung von Stützwänden. Abhängig vom Untergrund wurden auch viele Schäden in weichen setzungsempfindlichen Böden, wie Ton und Torf, beobachtet.

Bei Kläranlagen ist neben den baugrundbedingten Ursachen auch Wellenschlag in Klär- und Schlammbecken ein Hauptgrund für Beschädigung von Konstruktionselementen.

Ferner führt häufig Stromausfall zum Betriebsstillstand bzw. Betriebseinschränkungen von Kläranlagen und Pumpwerken, wenn

keine Notstromversorgung zur Verfügung steht (PWRI 1979, EERI 1986, EERI 1990, EERI 1995b, ASCE 1999, EERI 2002, Edwards 2006).

#### *Schäden an der Kanalisation*

Erfahrungen aus Erdbeben zeigen, dass Schäden der Kanalisation primär an den Rohrleitungen und Verbindungsstellen entstehen. Hier sind Rissbildung, der Versatz von Rohrsegmenten und das Durchstanzen von Anschlussstücken zu beobachten. Ein ungünstiges Verhalten zeigen Gusseisenrohre, Betonrohre mit steifer Standardverbindung, korrodierte Stahlrohre und galvanisierte verschraubte Eisenrohre (Abb. 3.1). Ein gutes genügsames Verhalten ist hingegen bei flexiblen duktilen Rohrabschlüssen mit Gummidichtung, bewehrten Beton-, Steinzeug-, duktilem Eisen, PVC- und Faserzementrohren zu beobachten (EERI 1990, ASCE 1999).

Der Einsturz von Abwasserleitungen ist eher selten, wurde aber bei starken Erdbeben bei Rohrleitungen mit grossem Durchmesser in Japan beobachtet (Abb. 3.2) (Scawthorn et al. 2006, EERI 2007a).



Abb. 3.1: Bruch spröder Wasserrohre einer Tankanlage beim San Fernando Erdbeben 1971 (NISEE 2010)



Abb. 3.2: Kollaps von Kanalisationsrohrleitungen beim Niigata Ken Erdbeben in Japan von 2004 (Scawthorn et al. 2006)



Abb. 3.3: Aufschwimmen von Kontrollschächten durch Bodenverflüssigung beim Niigata Ken Erdbeben in Japan von 2004 (Scawthorn et al. 2006)

Das Verhalten von Abwasserleitungen aus Mauerwerk hängt wesentlich von der Ausbildung des Gewölbes ab. Oberirdisch verlegte Rohrleitungen zeigen auch Beul- und Knickerscheinungen sowie Lagerversagen.

Bei Schächten sind Rissbildung, die Verschiebungen einzelner vorgefertigter Tubusringe und Schädigung der Rohranschlüsse zu beobachten. Häufig treten gleichzeitig Schäden an den Schächten und an der Rohrleitung auf.

Besonders grosse Schäden treten bei Verflüssigung des Bodens auf. Es kommt zum Aufschwimmen der Konstruktionen, wobei Schächte stärker zum Auftreiben neigen als Rohrleitungen. In Japan ist dies ein besonders verbreitetes Phänomen. Beispiel für Schäden durch Bodenverflüssigung sind bei den Erdbeben 2004 Niigata Ken Japan (Abb. 3.3, Scawthorn et al. 2006), 2003 Tokachi Oki, Japan (EERI 2003) und 1995 Hyokogen-Nambu (Kobe) Japan (Abb. 3.4) (NIST 1996) beobachtet worden.



Abb. 3.4: Auftreiben einer 500 mm Rohrleitung durch Bodenverflüssigung beim 1995 Hyokogen-Nanbu (Kobe) Erdbeben in Japan (NIST 1996)

Beim Niigata-Chuetsu Oki Erdbeben 2007 in Japan kam es zur Bodenverflüssigung des Verfüllmaterials von Rohrleitungsgräben, was zum Aufschwimmen von Schächten und zu Sackungen aufgrund Bodenverdichtung führte (siehe Abb. 3.6) (EERI 2007b, Kayen et al.

2007).

Problematisch sind ebenfalls grosse Verschiebungen durch Rutschungen, die zum Versatz und Abscheren von Rohrleitungen führen (EERI 2001). Abb. 3.1 zeigt die Zerstörung eines Strassenabschnitts durch einen Erdrutsch, der ebenfalls zum Abreissen der Strasse entlang verlegter Rohrleitungen führt.



Abb. 3.5: Erdrutsch an der Zufahrtstrasse nach Kashiwazaki beim Niigata Chuetsu Oki Erdbeben 2007 (Kayen et al. 2007)

Bei einigen Erdbeben hatte die grösste Auswirkung der Zusammenbruch der Stromversorgung über einen längeren Zeitraum, der den Ausfall von Pumpwerken im Kanalisationsnetz verursachte, z.B. beim Northridge Erdbeben 1994 (EERI 1995a).



Abb. 3.6: Bodenverflüssigung im verfüllten Rohrgraben, Aufschwimmen des Schachtes und Sackungen durch Verdichtung des Füllmaterials (Kayen et al. 2007)

#### *Schäden an Kläranlagen*

An Kläranlagenteilen wurden vor allem folgende Schadensbilder beobachtet: Rissbildung und Betonschäden an Beckenbauwerken und Gebäuden, ungleiche Setzungen, Abreissen vor Rohrleitungen, Schiefstellung von Pumpenanlagen, Versatz an Fugen und Auf-

schwimmen von leeren oder teilgefüllten Klärbecken. Ferner zeigten sich Schäden an unzureichend verankerten Ventilen, Behältern und Einbauteilen, die aufrecht standen bzw. aufgebockt waren und nicht ausreichend fixiert waren (siehe Abb. 3.9). Lose herunterfallende Teile verursachten Schäden an anderen Anlagekomponenten, z.B. wurde ein Schlammräumer durch ins Becken fallende Rohleitungs-teile geschädigt.

Abb. 3.8 zeigt die Beschädigung eines Klärbeckens an der Betonwandung, am Schlammräumer sowie an der Laufbühne und deren Verankerung. Das Klärbecken war zum Zeitpunkt des Erdbebens leer. Ein zweites volles Klärbecken der Anlage in Calexico Kalifornien zeigte keine Schäden.



Abb. 3.7: Rohrleitungsabriss gelenkiger Verbindungen durch sehr grosse Deformationen bei der Kashiwazaki Kläranlage beim Niigata Chuetsu Oki Erdbeben 2007 (Kayan et al. 2007)



Abb. 3.8: Schädigungen eines Klärbeckens in Calexico Kalifornien beim Sierra El Mayor Erdbeben 2010 (Hutchison et al. 2010)



Abb. 3.9: Umkippen eines Luftdruckbehälters auf der Kläranlage Valencia beim 1994 Northridge Erdbeben in den USA (EERI 1995a)

Durch Wellenschlag wurden Einbauteile, Leitungen und Dächer in Klär- und Schlammbecken geschädigt. Ferner kam es zu Schäden durch umstürzende Lagergegenstände, die nicht ausreichend fixiert waren. Schadensbeispiele für Wellenschlag sind zum Beispiel beim Erdbeben von 1994 in Northridge USA beobachtet worden (Abb. 3.10).

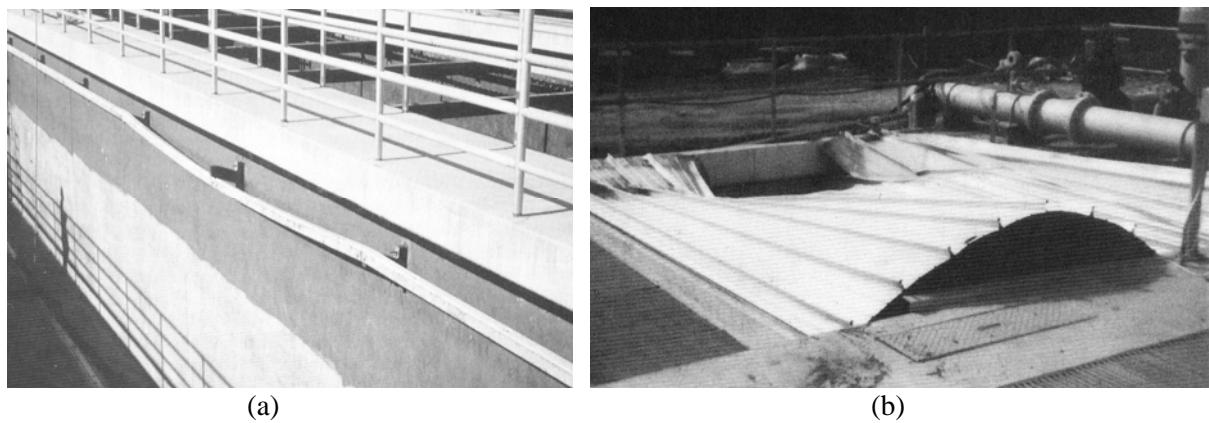


Abb. 3.10: Schäden durch Wellenschlag beim 1994 Northridge Erdbeben in den USA, a) Rückführungseinrichtung des Schlammräumers der Tillman Kläranlage, b) Klärbeckenabdeckung der Kläranlage in Valencia (EERI 1995a)

Ein Ausfall von Kläranlagen trat häufig durch den Zusammenbruch der Energieversorgung auf. Im Allgemeinen ist jeder Kläranlage ein Pumpwerk vorgeschaltet. Ein Stromausfall führt dann auch zum Ausfall der Funktionstüchtigkeit bzw. zum Stillstand der Kläranlage, da das Abwasser nicht mehr gehoben werden kann (EERI 1995a). Ein Unterbruch des Betriebes der Kläranlage durch Stromausfall über längere Zeit kann ferner zum Absterben der biologischen Klärstufe führen. Die Belüftung der biologischen Klärung ist recht energieaufwendig, und ein Ausfall dieser führt zur Verschlechterung der Lebensbedingungen der Mikroorganismen. Ein erneutes Ansiedeln

der Organismen kann dann erforderlich werden.

Nach dem Loma Prieta Erdbeben 1989 wurde von Knappheit an Reparaturmaterial berichtet (EERI 1990). Dadurch ergaben sich Verzögerungen bei der Wiederinbetriebsetzung geschädigter Anlagenteile. Beim 2001 Bhuj Erdbeben in Indien ist das Hauptgebäude der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung eingestürzt (EERI 2002). Dieser Schaden hat nicht direkt Auswirkungen auf die Umwelt, führt aber zur massiven Beeinträchtigung der betrieblichen Organisation und Koordination der Reparaturmassnahmen.

#### *Schäden an Tankbauwerken*

Tankbauwerke zeigen vor allem Schäden aufgrund von Stabilitätsversagen, welche durch starke Wellenbildung im Tank verursacht werden. Primär tritt bei dünnwandigen Stahlkonstruktionen Beulen auf, dies vor allem im Fussbereich, sogenannter Elefantenfuss, und im Dachbereich (Abb. 3.11). Bei starken Deformationen kann die dünnwandige Tankhaut aufreissen (Abb. 3.12). Bei sehr starker Wellenbildung kann die Tanksohle vom Fundament abheben, was zum Abreissen von Rohrleitungsanschlüssen und Anbauelementen, z.B. Treppen, führt. Bewehrte Betontanks sind weniger empfindlich auf Stabilitätsversagen.

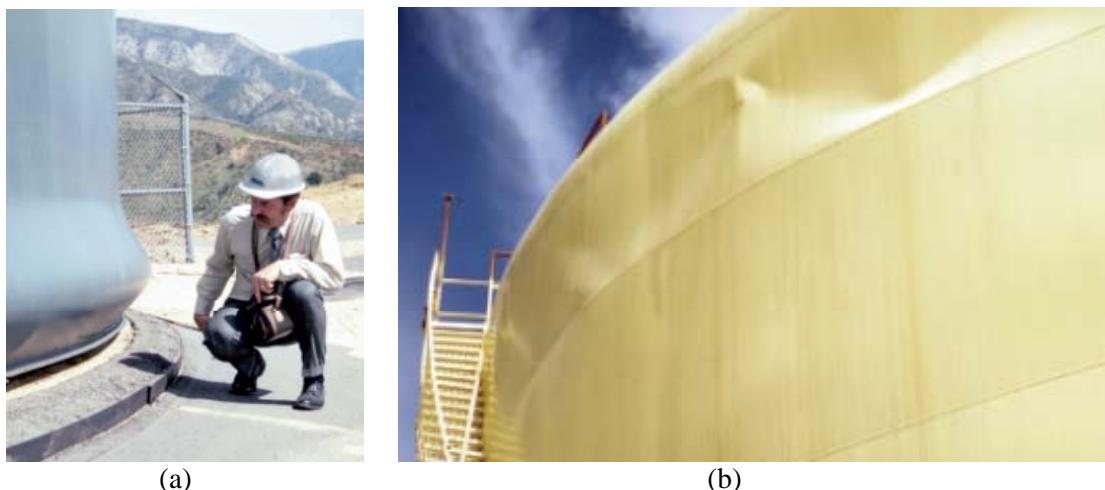


Abb. 3.11: Beuerscheinungen an Tankbauwerken, (a) Elefantenfussbeulen, (b) Beulen im Dachbereich beim San Fernando Erdbeben 1971 (NISEE 2010)



Abb. 3.12: Tankschäden der Kläranlage in Calexico Mexico beim Sierra El Mayor Erdbeben 2010 (Hutchinson et al. 2010)

*Schäden an Einrichtungen und Installationen*

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen Schäden an Installationen und Einrichtungen. Abb. 3.14 zeigt den Ausfall der unabhängigen Stromversorgung durch Umkippen der Batterien aus der Halterung beim San Fernando Erdbeben 1971. Auf Abb. 3.15 ist eine umgestürzte Schaltschranksreihe nach dem Izmit Erdbeben 1999 in der Türkei zu sehen.



Abb. 3.13: Versagen der unabhängigen Stromversorgung durch umfallen der Batteriehalterung beim San Fernando Erdbeben 1971 (Foto Steinbrugge)



Abb. 3.14: Umgestürzter Schaltschrank beim Izmit Erdbeben 1999 in der Türkei (Foto Sezen)

### 3.3 Verletzbarkeit der einzelnen Elemente eines Abwassersystems unter Erdbebeneinwirkung in der Schweiz

Aufgrund international beobachteter Schadensfälle (Kapitel 3.2) geht die Gefährdung für grosse Schäden an Abwasseranlagen primär von zur Verflüssigung neigenden Böden und von Erdrutschen aus. Die Gefährdung durch Bodenverflüssigung ist in der Schweiz relativ gering, da die erforderlichen Standortbedingungen selten vorherrschen. Dieses Phänomen ist praktisch nur für die Erdbebenregion im Rhonetal potentiell ein Problem.

Die Erdbeben, bei denen starke Schäden an Abwassersystemen beobachtet wurden, beispielsweise 2007 Niigata-Chuetsu Oki (Japan), 2004 Niigata Ken (Japan), 1995 Kobe (Japan), Northridge 1994 und Loma Prieta 1989, waren viel stärker, als dies in der Schweiz zu erwarten ist.

Prinzipiell sind Anlagen der Abwasserentsorgung in der Schweiz durch Erdbeben gefährdet, aber das zu erwartende Schadensausmass ist verhältnismässig gering. Viele Schwachstellen können durch einfache konstruktive Massnahmen beseitigt werden, und die Verletzbarkeit der Anlagen wird damit reduziert.

Eine Übersicht der Verletzbarkeit von Komponenten der Abwassersysteme im Anhang D dieses Berichtes gegeben.

#### *Kanalisation*

Die Kanalisation als im Boden vergrabenes Leitungssystem bildet eine robuste Konstruktion und ist im Erdbebenfall bei guten Untergrundverhältnissen im Allgemeinen wenig anfällig für Schäden. Eine erhöhte Gefährdung geht von erdbebeninduzierte Bodenverschiebungen aus. Solche Verschiebungen sind in der Schweiz aufgrund der Seismizität und der vorliegenden geologischen und topographischen Verhältnissen primär durch Aktivierung schon bestehender Rutschgebiete zu erwarten.

Schäden durch Bodenverflüssigung sind in der Schweiz kaum zu erwarten, da die erforderlichen Standortverhältnisse kaum und wenn nur lokal begrenzt vorkommen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Leitungsgräben ordnungsgemäss verfüllt und verdichtet werden, damit es im Verfüllmaterial nicht zu Bodenverflüssigung kommen kann (siehe Abb. 3.6).

Schäden infolge Erschütterungen sind bei Kanalisationen im Allgemeinen kaum zu befürchten. Ausnahmen bilden jedoch ungünstige starre Anschlüsse von Rohrleitungen an massive Bauwerke, wie Becken, Pumpengebäude oder Vereinigungsbauwerke. Eine grössere Verletzbarkeit besitzen alte Rohrleitungen aus spröden Materialien mit starren Anschlässen, z.B. aus Gusseisen, und korrodierte Rohrleitungen. Die Schweizer Abwassersysteme haben z.T. ein beträchtliches Alter und sind im Allgemeinen nicht speziell auf Erdbeben ausgelegt. Erst mit der Einführung der Norm SIA 160 im Jahre 1989 wurde Erdbeben als Einwirkung in der Bemessung nach modernen Gesichtspunkten berücksichtigt.

Eine höhere Verletzbarkeit weisen Pumpwerke auf. Hier können Schäden am Pumpenhaus, an den Zuleitungen und an der Pumpeneinrichtung auftreten. In der Schweiz werden oft Schneckenpumpen eingesetzt, die eine hohe Anfälligkeit gegenüber differentiellen Verschiebungen aufweisen.

Die Funktionstüchtigkeit der Pumpwerke ist auch durch Ausfall der Energieversorgung und Steuerung im Erdbebenfall gefährdet, wenn keine Notstromversorgung vorhanden ist. Dies führt zum Versagen der Hydraulik des Kanalisationsnetzes, und Schmutzwasser kann nicht abgeleitet werden.

#### *Kläranlagen und Schlammbehandlung*

Für Kläranlagen und die Schlammbehandlung gilt ähnliches wie für die Kanalisation. Die Bauwerke einer Kläranlage sind im Allgemeinen robust, massiv und häufig ebenerdig ausgeführt und somit wenig durch Erdbeben gefährdet. Das grösste Gefahrenpotential für die Bauwerke geht primär von exzessiven Bodenverschiebungen aus, die durch Setzungen locker gelagerter Schichten, Erdrutsche und Bodenverflüssigung entstehen. Solche lokalen Bedingungen sind in der

Schweiz relativ selten und Bodenverflüssigung unter Erdbebeneinwirkung ist kaum zu erwarten, jedoch ist mit Setzungen zu rechnen. Aufgrund der Bodenverschiebung kommt es primär zur Rissbildung von Becken, was zum Auslaufen und Versickern von Abwasser führt.

Eine grössere Verletzbarkeit besitzen hingegen Hochbauten, wie Festbettanlagen, sowie Anlagen- und Einbauteile, wie Rechen, Pumpen, Belüfter, Behälter, Abdeckungen, Schlammräumer, Steuer- und Schaltschränke etc., die nicht ausreichend befestigt oder verankert sind. Ferner sind schwach befestigte, spröde Rohrleitungen gefährdet. Die Verletzbarkeit dieser Teile hat vor allem Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbebenereignis.

Grosse leichte Tankbauwerke weisen ebenfalls eine erhöhte Verletzbarkeit auf, da sie zum Beulen neigen.

Ein besonderer Problempunkt stellt die Stromversorgung da. Ein Stromausfall führt direkt zum Ausfall der Funktionstüchtigkeit der Kläranlage, da das der Kläranlage vorgesetzte Pumpwerk das Abwasser nicht mehr heben kann, sowie biologische und chemische Reinigungsprozesse unterbrochen werden, z.B. Ausfall der Sauerstoffzufuhr im Belebungsbecken. Ein Betrieb von Kläranlagen mit einer Notstromversorgung ist kurzzeitig möglich. Ein längerfristiger Stromausfall bewirkt häufig den Ausfall einzelner Prozessstufen, da der Stromverbrauch der Kläranlagen recht hoch ist und nur die wichtigsten Prozesse längerfristig mit Notstrom betrieben werden können. Problematisch ist partiell auch die Stromverteilung auf der Kläranlage. Trafostationen werden üblicherweise auf Schienen gelagert. Oft fehlen aber Befestigungseinrichtungen, die ein Kippen oder Rollen der Trafos effektiv verhindern. Die gleiche Problematik der nichtvorhandenen Kippsicherung gilt auch für Verteilerkästen sowie Schalt- und Steuerschränke. Ein Ausfall der Steuerung verschiedene Prozesse führt ebenfalls zum Ausfall der Funktionstüchtigkeit in diesem Bereich.

#### *Ausgewählte Ausführungsbeispiele*

In den folgenden Abbildungen Abb. 3.15 bis Abb. 3.18 sind Anlagenteile von Schweizer und Amerikanischen Kläranlagen dargestellt, die bei einem Erdbebenereignis ein zum Teil ungünstiges Verhalten zeigen und wahrscheinlich zu Schaden kommen. Abb. 3.19 und Abb. 3.21 zeigen weite Mängel fehlender Befestigungen oder Verankerungen, wie sie in Schweizer Kläranlagen vorkommen könnten.



Abb. 3.15: Ungünstige auskragende unsymmetrische Rohrleitungshalterungen, Gefährdung durch Abreissen und starke Deformationen (Foto Studer)



Abb. 3.16: Nicht ordnungsgemäss verankerte Behälteraufstellung, Gefährdung durch Umkippen und Verschieben (Foto Studer / Weber)



Abb. 3.17: Erdbebengerechte Rohrleitungshalterungen in Querrichtung, zusätzliche Halterungen der Konsole in Längsrichtung sind jedoch erforderlich (siehe Abb. 5.7a), Gefährdung durch Abreissen und starke Deformationen in Längsrichtung (Foto Studer)



Abb. 3.18: Korrodierte oder schlechte Befestigung bzw. Verankerung von Pumpenanlagen (ALA 2004)



Abb. 3.19: Freistehender gegen Kippen ungesicherter Kontrollschränke (Uni Freiburg)



Abb. 3.20: Transformator auf Schienen gelagert, ohne ausreichende Kipp- und Rollsicherung (<http://www.obus-ew.de/>)



Abb. 3.21: Fehlende Verankerung eines Gasbehälters im Boden (Regierung Niederbayern)

## 4 Betriebsziele und Anforderungen der Abwassersysteme nach Erdbebeneinwirkung in der Schweiz

### 4.1 Einführung zum Begriff Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung

*Zum Begriff Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung* Aufgrund der Bedeutung des Wassers für den Menschen werden Schutzziele für Grund- und Oberflächenwässer formuliert, die eine Verunreinigung verhindern sollen. Die Hauptaufgabe der Abwassersysteme ist der Schutz des Grund- und Oberflächenwassers, speziell in Hinblick auf die Trinkwasserversorgung, indem verunreinigtes Wasser gesammelt, abgeleitet, gereinigt und in den Wasserkreislauf zurückgeführt wird. Ausgehend davon lassen sich grundlegende Betriebsziele der Abwasseranlagen ableiten.

Das Betriebsziel einer Abwasseranlage wird durch die angestrebte Funktionstüchtigkeit der Anlage nach einer bestimmten Erdbebeneinwirkung beschrieben. Dabei sind zwei Problempunkte zu analysieren, die Funktionstüchtigkeit der einzelnen Anlagenteile und unterschiedlich starke Erdbebeneinwirkungen. Beide Teilbereiche sind miteinander verknüpft und müssen differenziert betrachtet werden.

In den folgenden Abschnitten werden auf die Zusammenhänge der Funktionstüchtigkeit und der Erdbebeneinwirkung detailliert eingegangen.

#### Funktionstüchtigkeit

Im Normalbetrieb ohne Erdbebeneinwirkung ist davon auszugehen, dass Abwasseranlagen voll funktionstüchtig sind und ihren Zweck störungsfrei erfüllen. Im System sind Reserven bzw. Redundanzen für allfällige Revisionsarbeiten enthalten. Nach einem starken Erdbeben ist anzunehmen, dass gewisse Schädigungen und Einschränkungen der Funktionstüchtigkeit der Abwasseranlage eintreten.

Bei der Analyse des Betriebsziels nach einem starken Erdbeben ist einzuschätzen, welche Anlagenteile ihre volle Funktionstüchtigkeit aufrecht erhalten müssen und welche Teile Einschränkungen bzw. Schädigungen während einer bestimmten Zeitdauer erfahren dürfen. Das Abwassersystem ist dabei in seiner Gesamtheit als Netzsystem zu betrachten.

Beispiele für die Funktionstüchtigkeit nach einer Erdbebeneinwirkung lauten:

- Die Kanalisation mit den wichtigsten Leitungssträngen muss ihre Funktion des Ableitens des Abwassers aus den Siedlungsgebieten aufrechterhalten. Regenrückhaltebecken können reparable Schäden erfahren und die Funktionstüchtigkeit der Regenrückhaltebecken kann temporär ausfallen. Pumpwerke und Dücker wichtiger Leitungsstränge dürfen nicht ausfallen und ihre Funktionstüchtigkeit verlieren. Kanalisationsleitungen und Bauwerke in Grundwasserschutzbereichen dürfen keine Schädigungen in der Art erfahren, so dass der Trinkwasserentnahme verunreinigten Grundwasser zugeführt wird.
- In der Kläranlage muss mindestens die mechanische Klärung aufrechterhalten werden. Der hydraulische Durchfluss durch die Kläranlage muss gewährleistet bleiben. Hebwerke vor der Kläranlage müssen ihre Funktionstüchtigkeit behalten.
- Die Anlagenteile der Schlammbehandlung dürfen reparable Schäden aufweisen und die Funktionstüchtigkeit der Schlammbehandlung kann temporär ausfallen.

Bei der Analyse der Betriebsziele einer Abwasseranlage nach Erdbebeneinwirkung sind vielfältig Aspekte zu berücksichtigen: die Durchquerung von Grundwasserschutzzonen, die Leistungsstärke der Vorflut, handelt es sich um industrielle oder kommunale Abwasser und handelt es sich um ungereinigtes oder bereits teilgereinigtes Abwasser innerhalb des Reinigungsprozesses. Ferner können auch spezifische Betreiberinteressen von Bedeutung sein. Diese können finanzielle Interessen oder Interessen der Öffentlichkeit beinhalten und in Form einer Risikoanalyse in die Festlegung der Betriebsziele einfließen.

Bei der Diskussion der Funktionstüchtigkeit muss immer auch die Energieversorgung betrachtet werden, da wichtige Einrichtungen, wie Pumpen, Hebewerke, Schlammräumer und Belüftung der Belebungsbecken, auf eine Energieversorgung angewiesen sind. Bei starken Erdbeben kann man davon ausgehen, dass es zu temporärem Ausfall der elektrischen Energieversorgung kommt. Massnahmen zur Vorsorge beim Ausfall der Stromversorgung nach einem Erdbeben sollten geplant werden.

Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit sind insbesondere von Betreibern industrieller Abwasseranlagen bei der Festlegung des Betriebsziels anzustellen. Kunden industrieller Kläranlagen haben Interesse, dass nach einem Erdbebenereignis die Produktion fortgesetzt werden kann. Dies gilt dann als Konsequenz auch für die Abwasserbehandlung. Eine Abstimmung bezüglich Erdbebensicherheit des Produktionsprozesses und Erdbebensicherheit der Abwasserbehandlung sind hierbei erforderlich. Neben baulichen Schäden sind deshalb wirtschaftliche Folgeschäden bei einem Ausfall der Abwasseranlage zu berücksichtigen. Diese wirtschaftlichen Szenarien sind beim Festlegen des Betriebsziels vor allem im Kontext der Massnahmenplanung anhand einer Kosten-Nutzenanalyse zu evaluieren.

#### *Erdbebeneinwirkung*

Unter Erdbebeneinwirkung versteht man im Allgemeinen Erdbebenerschütterungen, die in Form von Bodenbeschleunigungen auf das Bauwerk einwirken. Jeder Erdbebeneinwirkung kann eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden, mit der die Stärke der Erschütterungen an einem Standort überschritten wird. Alternativ lässt sich die Überschreitenswahrscheinlichkeit einer bestimmten Erschütterungsstärke als mittlere Wiederkehrperiode dieser Erdbebenanregung beschreiben.

Die Festlegung der Wiederkehrperiode bzw. Überschreitenswahrscheinlichkeit einer bestimmten Erdbebenerschütterung zur Bemessung von Bauwerken hängt massgeblich von der Bedeutung und der Art des Bauwerks, seiner Nutzungsdauer und der ausgehenden Gefährdung für Dritte ab. Die Stärke der Erdbebenerschütterung an einem betrachteten Standort wiederum wird durch die seismische Gefährdung abhängig von den tektonischen Bedingungen bestimmt. Je nach Anforderungen an die betreffende Abwasseranlage kann das Sicherheitsniveau anhand der Wiederkehrperiode bzw. Überschreitenswahrscheinlichkeit der Erdbebeneinwirkung für einzelne Komponenten festgelegt werden. Grundsätzlich gilt, je höher die Wiederkehrperiode bzw. je kleiner die Überschreitenswahrscheinlichkeit, desto größer ist die Erdbebenanregung, auf die das Bauwerk ausgelegt wird. Die Festlegung der Wiederkehrperiode für das Bemessungserdbeben ist unabhängig vom Standort der Abwasseranlage und eigentlich eine sozio-politische Entscheidung.

## 4.2 Erdbebeneinwirkung und Nachweise basierend auf Richtlinien für Neubauten

### *Schweizer Situation*

Beim Bau von Abwassersystemen sind in der Schweiz verschiedene Regelwerke gültig. Für die Planung und den Unterhalt von Abwasseranlagen stehen eine Reihe Richtlinien des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) zur Verfügung. Für die Bauausführung in der Schweiz gelten die Baunormen nach SIA 260 Grundlagen, SIA 261 Einwirkungen, SIA 262 Betonbau, SIA 263 Stahlbau, SIA 266 Mauerwerk, SIA 267 Geotechnik und weitere Normen.

### *Seismische Gefährdung*

In der Norm SIA 261 ist die Gefährdung von Bauwerken durch Erdbeben in der Schweiz dargelegt und die daraus resultierende Einwirkungen. Es werden 4 Erdbebengefährdungszonen unterschieden: 1, 2, 3a und 3b (Abb. 4.1), wobei in der gesamten Schweiz eine Erdbebengefährdung vorliegt, die im Wallis am grössten ist. Die Erdbebenanregung ist bei der Bemessung jedes Bauwerks zu berücksichtigen. Für jede Zone ist ein Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung  $a_{gd}$  definiert. Dieser Wert entspricht der maximalen Bodenbeschleunigung eines Erdbebens auf felsigem Untergrund bei einer Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Das entspricht einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 10 % in 50 Jahren.

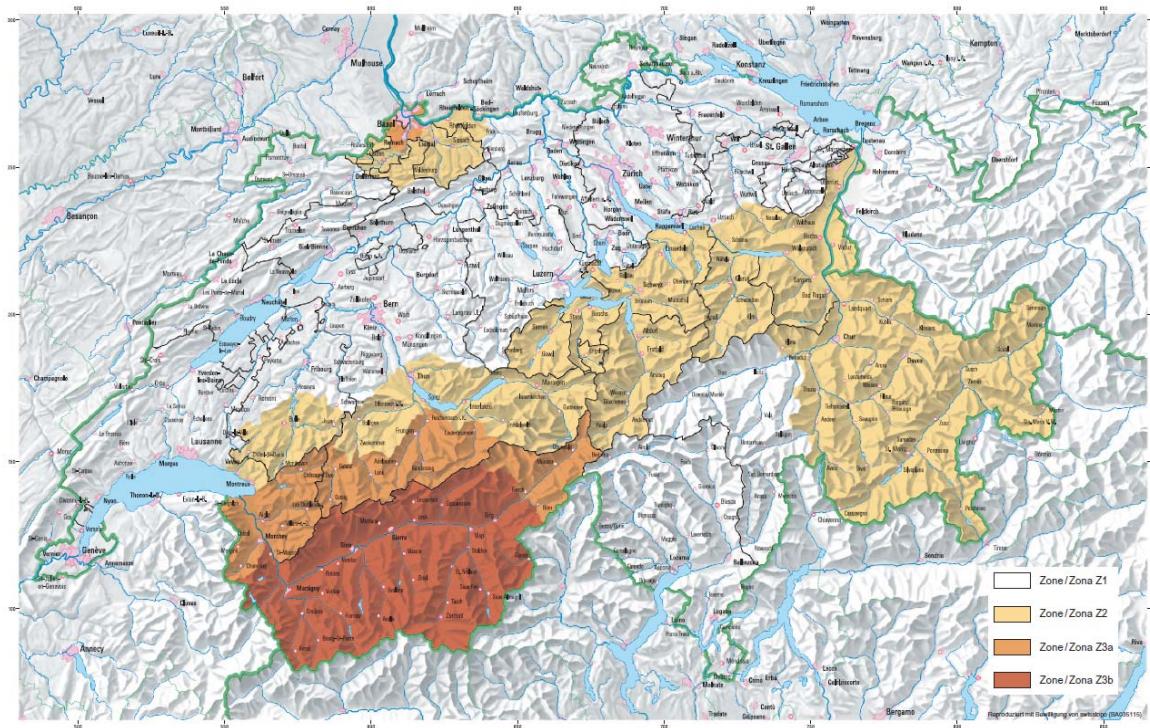


Abb. 4.1: Gefährdungszonen für Erdbeben in der Schweiz nach SIA 261 (2003)

Da die Erdbebenanregung stark standortabhängig ist, wird bei der Bemessung der Baugrund grob berücksichtigt. Hierbei werden vereinfacht 6 Baugrundklassen unterteilt, die jeweils verschiedene elastische Antwortspektren aufweisen. Dabei variieren die einzelnen Antwortspektren in ihrer Verstärkung und in ihrem Frequenzgehalt. Liegen genaue Daten aus einer Mikrozonierungsstudie vor, wird

empfohlen, ein spezifisches Standortspektrum zu verwenden. Eine Übersicht über die Baugrundklassen gibt die Karte des BAFU unter <http://erdbeben.admin.ch/index.php>.

*Nachweis der Tragfähigkeit*

Für die Bemessung des Tragwerks wird aus dem elastischen Antwortspektrum das Bemessungsspektrum entwickelt, wobei das Tragwerksverhalten und die Bedeutung des Bauwerks mit einfließen. Bezuglich der Bedeutung eines Bauwerks werden 3 Bauwerksklassen (BWK) unterschieden: BWK I, BWK II und BWK III. Dies entspricht einer normalen, hohen bzw. lebenswichtigen Bedeutung. Das elastische Antwortspektrum und somit die Erdbebenanregung wird mit einem Bedeutungsfaktor  $\gamma_f$  multipliziert: 1.0 für BWK I, 1.2 für BWK II und 1.4 für BWK III. Dies kann mit einer Erhöhung der Referenz-Wiederkehrperiode des Bemessungserdbebens von 475 Jahren auf ca. 800 Jahre bzw. ca. 1200 Jahre verglichen werden. Mit dem Bemessungsspektrum unter Berücksichtigung des Bauwerksverhaltens sind alle Anlagenkomponenten auf ihre Tragfähigkeit nachzuweisen. Tab. 4.1 zeigt eine Übersicht über die Bauwerksklassen (BWK) der Norm SIA 261 und die Anforderungen an die Erdbebensicherheit.

Die Bauwerke der Abwassersysteme sind im Allgemeinen in die Bauwerksklasse BWK II nach SIA 261 eingeordnet. Für bestimmte besonders bedeutende Anlagen, z.B. Industriekläranlagen für chemisch verunreinigte Abwässer mit stark erhöhtem Gefahrenpotential, kann eine Einstufung in die Bauwerksklasse BWK III nach SIA 261 sinnvoll sein. Dies gilt allerdings nur in Ausnahmefällen, wenn auch der vorgeschaltete Produktionsprozess in BWK III eingeteilt ist.

Für Gebäude der Bauwerksklasse III ist nach SIA 260 (2003) neben der Tragfähigkeit auch die Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes während eines Erdbebens nachzuweisen, wobei die Anregung des Bemessungserdbebens um 50% abgemindert wird. Dies entspricht schätzungsweise einem Erdbeben mit einer Referenz-Wiederkehrperiode von 200 Jahren (siehe Tab. 4.1). Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des gesamten Gebäudes erfolgt über die Einhaltung bestimmter Kriterien, z.B. Einhaltung von Verschiebungen und Schiefstellungen des Gebäudes.

Tab. 4.1: Übersicht der Erdbebeneinwirkung und Anforderungen an Bauwerke unterschiedlicher Bauwerksklassen (BWK) und Bedeutung nach SIA 260 und SIA 261 (zusammengefasste Darstellung)

BWK	Merkmale	Bespiele	Tragsicherheit		Gebrauchstauglichkeit	
			Wiederkehrperiode des Bemessungserdbebens	Bedeutungsfaktor $\gamma_f$	Wiederkehrperiode des Bemessungserdbebens	Bedeutungsfaktor $\gamma_f$
I	keine grossen Menschenansammlungen keine Gefährdung für die Umwelt	normale Wohn- und Gewerbegebäude	475 Jahre	1.0	kein Nachweis	-
II	große Menschenansammlungen bedeutende Infrastruktur Gefährdung für die Umwelt	Schulen, Einkaufszentren, Brücken mit erheblicher Bedeutung, Einrichtungen der Versorgung	ca. 800 Jahre	1.2	kein Nachweis	-
III	lebenswichtige Infrastrukturfunktion erhebliche Gefährdung für die Umwelt	Akutspitäler, Einrichtungen des Katastrophen- schutzes, lebenswichtige Einrichtungen der Versorgung	ca. 1200 Jahre	1.4	ca. 200 Jahre	0.7

*Nachweis der Funktions-tüchtigkeit*

Für den Lastfall Erdbeben sind nach SIA 260 / 261 keine Nachweise der Gebrauchstauglichkeit für normale Bauten der Bauwerksklasse I und II gefordert. Dies gilt somit auch für Abwasseranlagen, die überwiegend in die Bauwerksklasse II eingestuft sind. SIA 261 fordert aber den Nachweis der Befestigungen und Verankerungen betriebswichtiger Anlagenkomponenten. Da Abwasseranlagen massgeblich durch ihre Funktion als Infrastrukturbauwerke geprägt sind, müssen in Bezug auf die Funktionstüchtigkeit diese Anforderungen an die Erdbebensicherheit der Prozessanlagen erfüllt werden.

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit kann wie folgt durchgeführt werden: Funktionswichtige nichttragende Anlagen- und Einbauteile, wie z.B. Schlammräumer, Pumpen, Steuergräte, Schaltschränke, Apparaturen, Belüftungsgebläse, Behälter, Rohrleitungen etc., werden auf ihre Tragfähigkeit unter Einwirkung des Bemessungsbebens nachgewiesen. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit umfasst primär den Nachweis der Lagesicherheit gegen Kippen und Gleiten dieser nichttragenden Komponenten. Halterungen und Verankerungen sind auf Erdbebenlasten nach SIA 261 zu bemessen und konstruktiv ausreichend auszulegen. Kapitel 16.7 "Nicht tragende Bau-teile" der SIA 261 bietet eine Handhabung zur Bemessung dieser Bauteile. Einzelkomponenten und Geräte, wie Pumpen und Schaltschränke, sind im Allgemeinen robust ausgeführt und behalten ihre Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben, solange die Lagesicherheit gewährleistet ist. Eine exakte Prüfung der Funktionstüchtigkeit im Erdbebenfall kann nur experimentell auf einem Rütteltisch erfolgen und ist für Abwasseranlagen nicht sinnvoll. Der Nachweis der Lagesicherheit bietet eine ausreichende Überprüfung der Funktions-tüchtigkeit im Erdbebenfall. Die konsequente Anwendung der Norm SIA 261, auch in Bezug auf nichttragende Bauteile, bietet eine aus-reichende Sicherheit gegen Erdbeben.

Für Einbauteile in Klär- und Schlammbekken ist zusätzlich zur Trägheitswirkung aufgrund des Eigengewichts auch eine Einwir-kung durch möglichen Wellenschlag zu berücksichtigen.

Wichtig ist auch die Betrachtung der Stromversorgung, da ein Aus-fall der Energieversorgung massive Einschränkung der Funktions-tüchtigkeit einer Abwasseranlage zur Folge hat. Auf die Erdbebensicherheit von Energieversorgungseinrichtungen kann im Allgemeinen nicht direkt Einfluss genommen werden. So sind zumindest präven-tiv Massnahmen zur Vorsorge für den möglichen Fall der Energieunterbrechung zu treffen.

Bei korrekter Anwendung der Tragwerksnormen der SIA mit Nach-weis funktionswichtiger nichttragender Elemente ist eine neugebaute Abwasseranlage in der Schweiz ausreichend gegen Erdbeben ausge-legt. Im Anhange A der vorliegenden Studie sind grundsätzliche Empfehlungen zu konstruktiven und organisatorischen Massnahmen zusammengefasst.

### 4.3 Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung für neue Abwasseranlagen

#### *Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung von neuen Abwasseranlagen*

Beim Neubau von Abwasseranlagen sind die Betriebsziele für den Normalbetrieb ohne Erdbebeneinwirkung allgemein festgelegt. Der bauliche Entwurf und dessen Bemessung werden nach den Schweizer Tragwerksnormen SIA 260 bis 267 durchgeführt. Nach SIA 261 sind die Einwirkungen auf Tagwerke, nichttragende Elemente und Einbauteile genau definiert. Darin sind Erdbebeneinwirkungen festgelegt und bilden einen international vergleichbaren Stand der Sicherheit und Technik (siehe Kapitel 4.2). Diese Tragwerksnormen der SIA sind allgemein und konsequent anzuwenden.

Bei einer Erdbebenanregung entsprechend SIA 261 darf an der Abwasseranlage kein strukturelles Versagen auftreten. Hingegen dürfen leichte, aber reparable Schäden an den Tragstrukturen entstehen. Funktionswichtige nichttragende Bauteile dürfen ebenfalls kein strukturelles Versagen aufweisen, können aber eine leichte Schädigungen erfahren. Die Funktionstüchtigkeit aller Komponenten muss weitestgehend aufrechterhalten bleiben. Reparaturarbeiten dürfen nur wenige Tage in Anspruch nehmen. Aufgrund möglicher Rissbildung können geringe Mengen von Abwasser in den Untergrund versickern. Die hydraulische Wirksamkeit der Kanalisation darf nicht unterbrochen werden und das Abwasser muss aus den Siedlungsgebieten abgeleitet werden können. Pumpwerke und Düker wichtiger Leitungsstränge dürfen ihre Funktionstüchtigkeit nicht verlieren. Leichte Schäden an Kanalisationsleitungen und Verbindungen können auftreten.

Die Kläranlage muss ebenfalls ihre hydraulische Wirksamkeit bewahren und der Durchfluss des Abwassers muss gewährleistet sein. Hebwerke vor der Kläranlage müssen ihre Funktionstüchtigkeit behalten. Die Mechanische Klärung sollte aufrecht erhalten bleiben. Die chemische und biologische Reinigung kann zeitweise reduziert sein, z.B. durch kurzzeitigen Ausfall der Neutralisation oder Belüftung. Geringe Schäden an Pumpen, Räumern, Becken und anderen Elementen können zu einer Minderung der vollen Funktionstüchtigkeit führen, sollen aber in wenigen Tagen repartiert werden können. Es darf kein strukturelles Versagen der Komponenten der Schlammbehandlung eintreten, z.B. an Faultürmen und Pressen etc., aber leichte reparable Schäden können erwartet werden. Die Funktionstüchtigkeit der Schlammbehandlung kann Einschränkungen erfahren. Bei Neubauten von Industriekläranlagen gelten noch weitergehende Anforderungen im Vergleich zu kommunalen Kläranlagen, vor allem wenn die Anlage der Störfallverordnung untersteht. Die Erdbebenanregung für Industriekläranlagen entspricht im Allgemeinen der Anregung für kommunale Abwasseranlagen. Wichtig ist, dass industrielle Abwasseranlagen konservativ ausgelegt werden, und konstruktiv ein erdbebengerechter Entwurf umgesetzt wird.

Beim Nachweis der Funktionstüchtigkeit einer neu zu bauenden Abwasseranlage muss auch die Energieversorgung betrachtet werden. Falls erforderlich sind Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Als Erdbebeneinwirkung zur Bemessung neuer Abwasseranlagen wird im Allgemeinen das erhöhte Bemessungsspektrum der Bauwerksklasse II angesetzt (siehe Kapitel 4.2). In Ausnahmefällen können spezielle Industriekläranlagen mit besonders grosser Umweltgefährdung in die Bauwerksklasse III eingeordnet werden, dies aber nur, wenn auch die Produktion des vorangehenden Industrieprozesses in die Bauwerksklasse III eingeordnet ist.

Hinweise und Empfehlungen zur konstruktiven Ausbildung von Neubauanlagen und Prozessinstallationen finden sich im Anhang A des Berichtes.

#### 4.4 Minimales Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung für bestehende Anlagen

##### *Vorbemerkung*

Für bestehende Abwasseranlagen gelten prinzipiell gleiche Betriebsziele und Anforderungen wie für Neubauanlagen. Für bestehende Anlagen sind jedoch noch weitere Überlegungen von Bedeutung und eine differenzierte Betrachtung sinnvoll.

Die Schweizer Tragwerksnormen vor 1989 hatten die Erdbebeneinwirkungen auf Bauwerke nur ungenügend berücksichtigt. Selbst nach der Einführung der Neuerungen bezüglich Erdbebenanregung 1989 wurde das Erdbebenrisiko unterschätzt. Ferner herrschten ungenügende rechtliche Verpflichtungen zur Anwendung der Erdbebenvorschriften. Dies ist teilweise auch heute noch der Fall. Überlegungen bezüglich der Funktionstüchtigkeit nach Erdbebeneinwirkung sind bislang kaum angestellt worden. Aus diesen Gründen ist davon auszugehen, dass bestehende Abwasseranlagen ein Defizit in der Erdbebensicherheit im Verhältnis zur heute gültigen Tragwerksnorm aufweisen. Dies bedeutet, dass der Nachweis der Tragfähigkeit gegenüber Erdbebenanregung gemäss der geltenden Norm nicht erbracht werden kann.

Es wäre sehr streng, die gleichen Anforderungen an bestehende Anlagen wie an Neubauanlagen zu stellen. Aufgrund von Kosten-Risiko-Überlegungen ist es nicht angezeigt, alle bestehenden Bauten auf das Sicherheitsniveau der aktuellen Tragwerksnorm zu ertüchtigen. Eine Reduktion der Anforderungen im Erdbebenfall kann deshalb in Erwägung gezogen werden. Der Mehraufwand eines erdbebensicheren Entwurfs ist bei Neubauten sehr gering. Bei bestehenden Anlagen können bei Umbau- und Sanierungsarbeiten relativ hohe Ertüchtigungskosten bezüglich Erdbebensicherheit entstehen. Bestehende Anlagen werden dadurch unwirtschaftlich. Aus diesen Gründen können die Betriebsziele für bestehende Anlagen differenzierter betrachtet und normativen Anforderungen aufgeweicht werden.

Bei baulichen Massnahmen an einer bestehenden Anlage sollte das Betriebsziel nach Erdbebenanregung wie bei einer Neubauanlage angestrebt werden. Zeigt sich, dass die Ertüchtigungskosten bezüglich Erdbebensicherheit unverhältnismässig sind, ist jedoch ein minimales Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung einzuhalten.

##### *Festlegung des minimalen Betriebsziels*

Die Einschätzung des minimalen Betriebsziels nach Erdbebeneinwirkung der Abwasseranlage wird vom Betreiber vorgenommen, da er die vorherrschenden Bedingungen am besten kennt. Er ist auch für die Einhaltung der Betriebsziele verantwortlich. Im Allgemeinen ist es ausreichend nur die Funktionstüchtigkeit der wichtigsten Anlagenkomponenten nach einem Erdbebenereignis zu untersuchen. Nebenanlagen spielen bei der Erdbebenuntersuchung eine untergeordnete Rolle.

Der zu erwartende Schaden an der Abwasseranlage bzw. die zulässigen Ausfallzeiten haben Auswirkungen auf die anfallenden Reparaturarbeiten und deren Dauer nach einem Erdbebenereignis. Der Reparaturbedarf und die entsprechenden Ausfallzeiten können bei bestehenden Anlagen durch geeignete Ertüchtigungsmassnahmen bzw.

Vorratshaltung beeinflusst werden. Bei der Festlegung der Funktionsstüchtigkeit nach einem Erdbebeneignis spielt auch der durchschnittliche Auslastungsgrad einer Kläranlage eine Rolle. Für Wartungsarbeiten im normalen Betriebszustand sind Überkapazitäten erforderlich, die ein partielles Abschalten der Anlage erlauben. Diese Reserven können nach einem Erdbeben genutzt werden. Falls die Erdbebensicherheit einzelner Anlagenkomponenten nicht gewährleistet werden kann, können Noteinrichtungen vorgesehen werden, z.B. mobile Pumpen oder Notstromversorgung.

Ein wesentlicher Punkt bei der Analyse und dem Festlegen des Betriebsziels bestehender Anlagen ist die Betrachtung der Gefährdung des Grund- und Oberflächenwassers zu Trinkwasserversorgungszwecken sowie der Kontamination von Siedlungsgebieten, die von der Abwasseranlage ausgeht bzw. von deren Funktionseinschränkung. Es ist zu registrieren ob Grundwasserschutzzonen von Leitungen durchquert oder von Anlagen berührt werden. Ferner ist es günstig, die Hauptstränge der Kanalisation zu betrachten und risikoreiche Gebiete zu lokalisieren, z.B. Gebiete entlang Flüssen oder Niederungen, die auf Pumpwerke angewiesen sind. Unterquerungen von Flüssen gehören ebenfalls dazu, denn bei Versagen eines Dükers ergibt sich fast zwangsläufig eine Flussverschmutzung. Solche Unterquerungen sind auch aufwendig zu reparieren. Von solchen kritischen Punkten geht eine erhöhte Gefährdung für die Umwelt bzw. für die Hygiene aus.

Allgemein lassen sich differenzierte minimale Betriebsziele formulieren, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

*Minimales Betriebsziel  
nach Erdbebeneinwirkung  
für bestehende kommunale Abwasseranlagen*

Als wichtigstes minimales Betriebsziel muss die Hydraulik der Kanalisation weitestgehend aufrecht erhalten bleiben. Das verschmutzte Abwasser muss aus den Siedlungsgebieten abgeleitet werden. Bei mässiger Belastung der Abwässer, vor allem bei kommunalen Abwässern im Mischsystem, könnte ein kurzzeitiger Unterbruch der Reinigung akzeptiert werden. Dies hätte das direkte Ableiten des Abwassers in die Vorflut zur Folge. Die genaue Dauer des Funktionsausfalls ist unter den gegebenen Umständen festzulegen.

Ein weiteres minimales Betriebsziel lässt sich aus Erfahrungen in Kalifornien ableiten. Dabei sollte bei kommunalen Abwasserreinigungsanlagen im Erdbebenfall mindestens die mechanische Reinigung aufrechterhalten werden. Ferner kann von einem Rückgang der Abwassermenge nach einem Erdbebeneignis ausgegangen werden, da mit einer Schädigung der Wasserversorgung zu rechnen ist und weniger Brauchwasser bereitgestellt wird.

Befinden sich kommunale Abwasseranlagen bzw. Kanalisationstränge in Grundwasserschutzzonen oder besonderen Schutzbereichen ist eine strengere Beurteilung vorzunehmen. Als Überblick zu den Grundwasserschutzzonen bietet das BAFU Information und Karten im Internet unter folgender Adresse an:

<http://www.bafu.admin.ch/grundwasser> oder unter  
<http://www.ecogis.admin.ch>.

Kommunale Abwasseranlagen sind allgemein der Bauwerksklasse II zugeordnet.

*Minimales Betriebsziel  
nach Erdbebeneinwirkung  
für bestehende industrielle Abwasseranlagen*

Für bestehende Industrieabwasseranlagen sollten strengere Anforderungen gelten als für bestehende kommunale Abwasseranlagen. Hier könnten der Erhalt der biologischen und chemischen Reinigungsstufe neben dem Sicherstellen der hydraulischen Funktionsfähigkeit als

Mindestanforderung genannt werden. Eine partielle Reduktion der Reinigungsleistung kann eventuell zugelassen werden. Die Nachklärung und Schlammbehandlung besitzt evtl. eine untergeordnete Bedeutung.

Die Anforderungen an die Reinigung von Industrieabwässern könnten gleich lauten, wie die Anforderungen an den Produktionsprozess selber. Ein Ausfall der chemischen und biologischen Klärung könnte somit eine Reduktion oder einen Unterbruch der industriellen Produktion erzwingen. Eine eventuelle Ausfallzeit der Industriekläranlage ist somit von der Kapazität vorhandener Auffang- und Havariebecken abhängig, bzw. von vorhandenen Redundanzen und Überkapazitäten im System. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass sich durch Erdebenschädigung der Produktionsstätten eine zeitweise Reduktion der industriellen Abwassermenge ergibt.

Industrielle Abwasseranlagen sind im Allgemeinen der Bauwerksklasse II zugeordnet.

*Minimales Betriebsziel  
nach Erdbebeneinwirkung  
für die Schlammbehand-  
lung*

Die Schlammbehandlung zeigt sich im Allgemeinen weniger kritisch als die Abwasserbehandlung. Die Verarbeitungsprozesse des Schlammes sind zeitaufwendiger, und die zu verarbeitenden Stoffmengen sind meist geringer als beim Abwasser. Außerdem ist die Handhabung günstiger und eine Zwischenlagerung teilweise möglich.

Der Ausfall der Schlammbehandlung hat nicht direkt eine Verunreinigung der Umwelt zur Folge. Somit würde sich das minimale Betriebsziel im Erdbebenfall auf die maximale Unterbrechungsdauer bis zur Reparatur beschränken. Für diesen Zeitraum sind Zwischenlagermöglichkeiten vorzusehen.

Anlagen der Schlammbehandlung sind im Allgemeinen der Bauwerksklasse II zugeordnet.

## 5 Konstruktive Details zur Erdbebensicherung für Neubau und Ertüchtigung

### *Generelles*

Aus Erfahrungen mit Erdbebenschäden an Abwassersystemen und deren Verhalten bei Erdbebeneinwirkung ergeben sich Empfehlungen und Richtlinien beim Bau von Neuanlagen, die auch für die Ertüchtigung von Abwasseranlagen gelten. Da die unterirdisch verlegten Rohrleitungen und in die Erde eingelassenen Beckenbauwerke gering durch Erdbebenerschütterungen gefährdet sind, ist eine Ertüchtigung vor allem der Einbauten und oberirdische Anlagenteile zu prüfen. Unterirdische Bauwerke reagieren primär sensibel auf starke Bodenverschiebungen durch Rutschungen und Bodenverflüssigung. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit von Anlagenkomponenten ist häufig recht aufwendig. Im Allgemeinen ist es bei einer geringen seismischen Gefährdung (z.B. Erdbebenzone 1, siehe Kapitel 4.2) ausreichend, die wichtigen konstruktiven Grundregeln des erdbebengerechten Entwurfs zu befolgen. Aufgrund der Erfahrungen aus vergangenen Erdbeben und Analysen haben sich verschiedene konstruktive Lösungen als günstig herausgestellt. Die wesentlichen Inhalte der folgenden Abschnitte sowie ergänzenden konstruktive Hinweise sind in den Empfehlungen "Neubauten" und "Einrichtungen und Prozessanlagen" im Anhang A des Berichtes zusammengefasst.

### *Rohrleitungen und Anschlüsse*

Abwasserrohrleitungen sollten aus bewehrtem Beton, Steinzeug, duktilem Eisen, PVC oder Faserzementrohren mit flexiblen duktilen Rohranschlüssen mit Gummidichtung ausgeführt werden. Ebenfalls sind Rohrabschlüsse an starre Bauwerke wie Tanks, Pumpwerke oder Schächte flexible und duktil auszulegen, um mögliche Deformationen auszugleichen bzw. aufnehmen zu können.

In den folgenden Abbildungen Abb. 5.1 bis Abb. 5.5 sind Rohrverbindungen abgebildet, die Deformationen in unterschiedlicher Größe zulassen.

Ältere spröde oder korrodierte Rohre aus Gusseisen oder Beton mit steifer Stemmverbindung sollten bei Revision gegen Rohre aus duktilen Materialien ausgetauscht werden. Das Gleiche gilt für Anschlüsse an starre Bauwerke, wie Tanks oder Pumpwerke. Diese Verbindungen sind ebenfalls flexibel auszuführen (siehe Abb. 5.6).

In Kläranlagen sind besonders nichttragende Elemente, wie Rohrleitungen, gefährdet, wenn sie nicht fixiert sind und stark frei schwingen können. Abb. 5.7 zeigt eine konstruktive Lösung zur erdbeben-gerechten Halterung von Rohrleitungsschächten. Eine solide U-Bolzenhalterung einer Rohrleitung ist in Abb. 5.8 dargestellt.

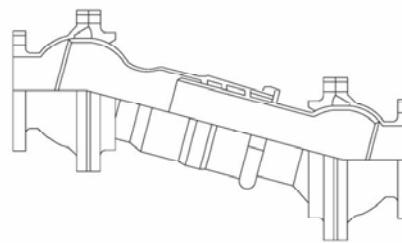


Abb. 5.1: Flexibler Rohanschluss - Flex-Tend Gelenk (EBAA Iron)



Abb. 5.2: Terra Brute Verbindung zur Aufnahme begrenzter axiauer Deformationen (IPEX Inc.)

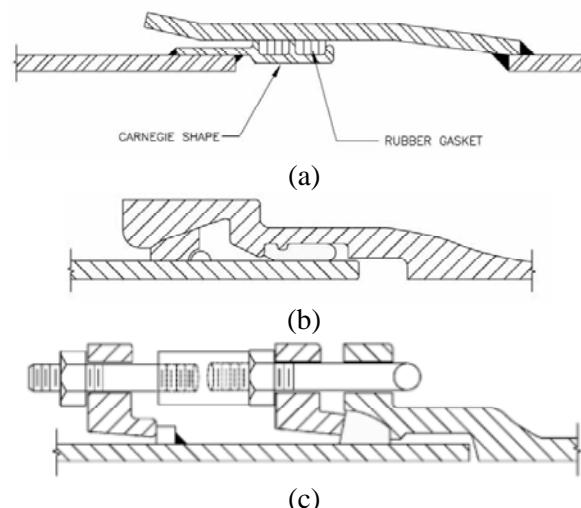


Abb. 5.3: Rohrverbindungen zur Aufnahme von Deformationen in Längsrichtung, (a) ohne Begrenzung, (b) mit Schloss als Anschlag, (c) fixiert (ALA 2005)



(a)

(b)

Abb. 5.4: flexible Rohrleitungsanschlüsse mit Bewegungsmanschetten, a) aus Gummi (<http://www.ditec-kt.de>) und b) aus Metall (<http://www.jetaerators.com/>)



Abb. 5.5: flexible Rohrleitungen mit U-förmigen Dehnungsbereichen (<http://www.z-montagen.ch>)



Abb. 5.6: Flexibler Rohrabschluss an ein Tankbauwerk (<http://www.sccitanks.com>)

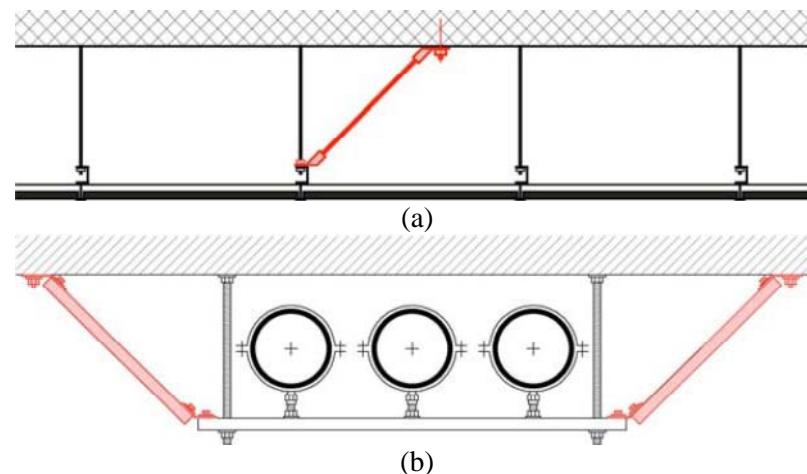


Abb. 5.7: Schematische Darstellung erdbebensicherer Rohrleitungshalterungen in (a) Längsrichtung und (b) in Querrichtung (Marxer et al. 2003)



Abb. 5.8: Solide Rohrhalterung mittels U-Bolzen (ALA 2002)

#### *Apparaturen*

Freistehende nichtragende Elemente, wie Behälter, Ventile, Schieber, Steuerschränke, Steuerelemente Transformatoren, Batterien, Lagergut oder ähnliches sind fest aufzuständern bzw. zu verankern und gegen unkontrolliertes Verschieben und Umkippen zu sichern (Abb. 5.9 bis Abb. 5.17). Große Ventile bzw. Schieber an freien Rohrleitungen, Pumpen sowie andere freistehenden Elemente sind abzustützen und zu verankern. Dazu zählen auch Schaltschränke und Stromaggregate. Ferner empfiehlt es sich, Lagergegenstände zu fixieren. Aufgeständerte Fussböden und darauf stehende Schaltschränke sind gegen Abheben und Kippen zu sichern (Abb. 5.11).

Auch Kranbahnen sollten gegen Absturz gesichert sein (siehe Abb. 5.18). Einbauteile in Wasser- und Schlammbecken sollten auf Wellenschlag ausgelegt sein, und Halterungen sind auszulegen bzw. nachzurüsten.

Bei manchen Anlagenteilen ist es sinnvoll, Sollbruchstellen anzubringen, um im Erdbebenfall größere Schäden zu vermeiden. Nach einem Schadensereignis können Reparaturen schnell und gezielt vorgenommen werden. Lose Anlagenteile sind dahingehend zu fixieren, dass ein Herunterfallen verhindert wird und andere Anlagenteile nicht geschädigt werden.



Abb. 5.9: Freistehende Schaltschränke mit Deckenverankerung (Foto Studer)



Abb. 5.10: Verankerung eines Schaltschrankes an einer tragenden Wand (Foto Weber)



Abb. 5.11: Sicherung gegen Abheben und Kippen von aufgeständerten Fussböden am Boden



Abb. 5.12: Erdbebengerechte unabhängige Stromversorgung mit Sicherung der Batterien gegen Umkippen und Herausfallen (JMAEG, Phasor Corporation)



Abb. 5.13: Gegen Umfallen gesicherte Gasflaschen (Foto Studer)



Abb. 5.14: Erdbebengerechte Lagerung von Waren durch Zusammenbinden der Paletten und Gebinde (Foto Studer)



Abb. 5.15: Verankerung von Behältern und Gerätetüpfen (HB-Technik, Profitexx)



Abb. 5.16: Transformator auf Schienen gelagert mit Kipp- und Rollsicherung



Abb. 5.17: Verankerung von Anlagenkomponenten gegen Kippen im Fundament, effektive Verankerung eines Kühlagggregates beim dem Sierra El Mayor Erdbeben 2010 in Mexicali (Hutchinson et al. 2010))



Abb. 5.18: Laufkatze einer Kranbahn, die gegen Absturz bzw. Abrutschen vom Kranträger gesichert ist (<http://www.directindustry.de>)

Apparaturen, wie z.B. Gebläse Zentrifugen oder Pressen, können auch elastisch gelagert werden, um starke Ersbebenanregungen aufzunehmen. Beispiele solcher elastischen Lagerungen mit Gummi- oder Federelementen sind in Abb. 5.19 und Abb. 5.20 dargestellt. Bei sensiblen elektrischen Steueranlagen kann ebenfalls eine seismische Basisisolierung mit Kipp- und Gleitsicherung sinnvoll sein (Abb. 5.21). Das Isolationsprinzip ist identisch mit der Isolation gegen Erschütterungen. Es ist aber darauf zu achten, dass die Isolatoren sowohl an der Anlage wie auch im Untergrund befestigt sind.



(a)

(b)

Abb. 5.19: Schwingungsisolation mit a) Luftfederbälge (<http://www.oelmuellers.com/>) und b) mit Gummipuffer (<http://www.nettervibration.com>)



Abb. 5.20: Schwingungsisolation einer Lüftungsanlage mit Federelementen  
(<http://www.gerb.com>)



Abb. 5.21: Seismische Isolation eines Notstromgenerators. (<http://www.etccd.com>)

Automatische Schlammräumer in Klärbecken sollten bei einem Erdbebenereignis anhalten, damit geprüft werden kann, ob sie nicht durch heruntergefallene Trenn- oder Abdeckbleche bzw. andere lose Teile blockiert werden.

#### *Tankbauwerke*

Tankbauwerke weisen Stabilitätsprobleme vor allem im Fussbereich auf (Elefantenfuss). Die Verringerung der Beulflächen und damit einer Verbesserung der Sicherheit kann durch Aufschweißen von Aussteifungsstreben erreicht werden. Schlaff gegründete Tanks müssen mittels Anker gegen Abheben der Fundamentensohle gesichert werden. Anschlüsse der Rohleitungen sind flexibel auszuführen. Durch den Einbau von Wellenbrechern oder Trennblechen im Inneren eines Tanks kann die schädigende Wirkung des Schwappens der Flüssigkeit reduziert werden. Betriebliche Massnahmen, z.B. Reduktion der Füllhöhe im Tank, können ebenfalls die Erdbebensicherheit verbessern.

**Systemsicherheit**

Günstig ist auch der Einbau von Redundanzen im System. Bei Abwasserleitungen kann dies in Abhängigkeit von der Topographie durch ein Netz von Rohrleitungen realisiert werden, so dass im Schadensfall eines Leitungsabschnittes Abwasser in andere Leitungstränge umgeleitet werden kann. Dazu gehören auch Pumpwerke mit mehreren, parallel arbeitenden Pumpen sowie eine redundante Anordnung von Rückhalte- und Klärbecken.

Für besonders kritische Anlagenbereiche kann es sinnvoll sein, Havariebecken bzw. Pufferbecken vorzusehen, die im Störfall eine Befüllung ermöglichen. Dadurch wird Zeit gewonnen, die wichtigsten Reparaturmassnahmen durchzuführen, bis der normale Betrieb wieder hergestellt ist. Gleiches gilt auch für den Ausfall der Schlammbehandlung.

Wichtig ist auch das Anordnen von Sperrventilen in Zonen erhöhter Erdrutschgefahr, um geschädigte Rohrleitungen abzuriegeln und vom Netz zu entkoppeln. Dies erfordert aber alternative Leitungswege und Redundanz im Kanalisationssystem oder Havariebecken zum temporären Zwischenspeichern des Abwassers. Abb. 5.22 zeigt ein Beispiel der temporären Umgehung einer Schadenstelle in der Wasserversorgung. Für eine Kanalisationsrohrleitung könnte dies ähnlich aussehen. In diesem Fall sind Anschlüsse bzw. Einrichtungen vorzusehen, an denen im Notfall transportable Pumpen angeschlossen werden können, um Umleitungen im Abwassernetz zu bedienen und die Ableitung des Schmutzwassers aufrechtzuerhalten.

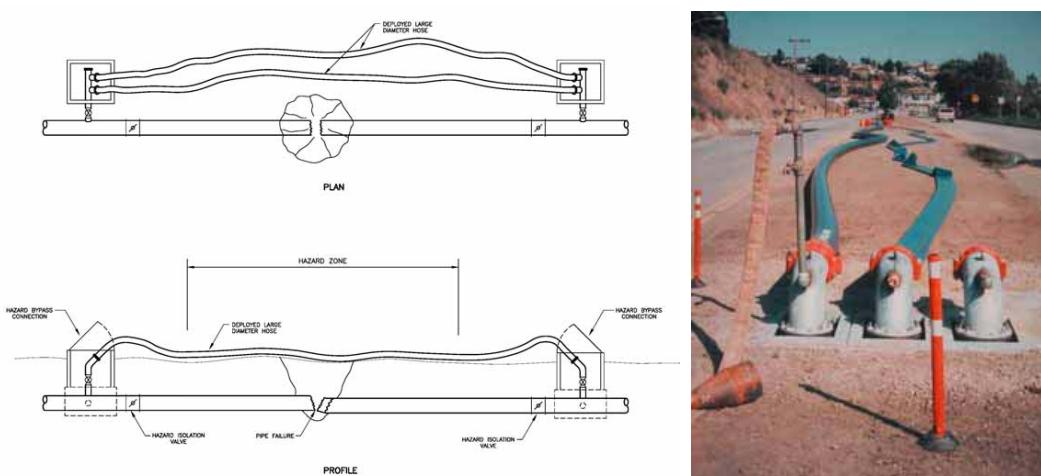


Abb. 5.22: Anordnen von Sperrventilen und Einsatz von Notleitungen zur Umgehung einer Schadensstelle am Beispiel einer Wasserversorgungsleitung (ALA 2005), links: Grundriss oben, Aufriss unten

**Baugrundverbesserung**

Bei ungünstigen Baugrundverhältnissen kann der Gefahr von Bodenverflüssigung durch Bodenverbesserung mit Rütteldruckverdichtung oder der Anordnung von Pfahlgründungen begegnet werden.

**Stromversorgung und Systemsteuerung**

Eine Forderung, die in verschiedenen Literaturquellen genannt wird, ist der Anschluss einer redundanten Stromversorgung aus verschiedenen Netzen bzw. Unterwerken oder das vorhalten einer eigenen lokalen Notstromversorgung für kritische Betriebsanlagen vor Ort. Es hat sich gezeigt, dass der Transport von Aggregaten im Erdbebenfall schwierig ist, da entweder Zufahrtswege blockiert sind, oder keine Aggregate im Notfall zu Verfügung stehen, da sie schon an-

derweiterig in Verwendung sind. Ferner ist der Unterhalt einer Notstromversorgung mit Aufwand verbunden.

Der Systemsteuerung ist ebenfalls eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Hier ist zu überlegen, wie sich die Steuerung im Erdbebenfall verhält. Es ist zu überlegen, ob für wichtige Prozesse eine Notsteuerung vorgesehen werden kann, die die Grundfunktionen aufrechterhält. Konstruktive Sicherungsmassnahmen von Steuerelementen und Schaltanlagen sind vorzusehen.

## 6 Vorsorge und Ereignisbewältigung

### 6.1 Vorsorgemassnahmen und Einsatzplanung

Im Folgenden werden prinzipielle Punkte der Vorsorge und Einsatzplanung vorgestellt. Allgemein gelten diese Aspekte für den Katastrophenschutz innerhalb grosser Organisationen. Für Betreiber kleiner Abwasseranlagen können die dargelegten Ideen aber sinngemäss für die vorliegende Situation übertragen werden. Sie sind separat auch im Anhang A als Empfehlungen "Vorsorge und Ereignisbewältigung" zusammengefasst.

<i>Sicherheitsmassnahmen</i>	Die Funktionsfähigkeit der verschiedenen Sicherheits- oder Reparaturmassnahmen soll nach einem Ereignis gewährleistet sein. Das beinhaltet z.B. die Bereitstellung einer Notstromversorgung für Sicherheitsventile, Generatoren, Pumpen und portable Lichtanlagen für Nachtarbeiten an der Abwasserentsorgung. Ferner empfiehlt sich das Vorhalten transportabler leichter mobiler Anlagen, z.B. Pumpen, Generatoren und Desinfektionsanlagen, deren Einsatz im Erdbebenfall zur Überbrückung, Entwässerung und Seuchenprävention dient. Diese Massnahmen sollen regelmässig überprüft und aktualisiert werden.
<i>Ermittlung des Reparaturbedarfs</i>	<p>Ein wesentlicher Punkt der Vorsorge ist die Ermittlung des Reparaturbedarfs basierend auf der Verletzbarkeitsanalyse für ein vorgegebenes Erdbebenereignis. Der Reparaturbedarf umfasst vor allem den Bedarf an Ersatzmaterial, personellen Kapazitäten und die Vorbereitung einer Führungsorganisation für auswärtige Unterstützungskräfte. Diese Massnahmen können sich weitgehend auf vorbehaltene Entschlüsse, Einsatzkonzepte, Absprachen betreffend Reservematerial (wo vorhanden, wie rasch erhältlich, etc.) und Ausbildung der entsprechenden Organe beschränken.</p> <p>Die Analyse der Verletzbarkeit der Anlagenkomponenten ist Teil des in der vorliegenden Studie präsentierten Überprüfungskonzeptes (siehe Kapitel 7). Aus den Ergebnissen der Grobbeurteilung (Stufe 3 des Überprüfungskonzeptes) lässt sich weitgehend der Reparaturbedarf der Abwasseranlage abschätzen. Eine Verbesserung der Abschätzung des Reparaturbedarfs ergibt sich nach einer Detailbeurteilung (Stufe 4 des Überprüfungskonzeptes).</p> <p>Aus der Verletzbarkeitsanalyse der Grobbeurteilung und allfälligen Detailbeurteilung kann der Betreiber ein Prioritätenplan der Reparaturarbeiten im Erdbebenfall entwickeln. In diesem Zusammenhang ist nochmal zu erwähnen, dass das Betriebsziel nach einem Erdbebenereignis vorgängig festzulegen ist. Daraus ergibt sich ein mögliches erlaubtes Schadensmass mit entsprechend unterschiedlichem Reparaturbedarf.</p>
<i>Notfallplanung und Ausbildung in Katastrophenbewältigung</i>	<p>Die Vorbereitung des Personals auf Notsituationen ist Voraussetzung für die rasche und sichere Bewältigung der verschiedenen Aufgaben. Dazu gehört eine Notfallplanung und Grundausbildung der Einsatzkräfte mit regelmässigen Trainings der Notsituationen sowie einer regelmässige Überprüfung des Ausbildungsstandes. Diese Trainings sollen die verschiedenen Versorgungssysteme berücksichtigen und fachübergreifende Schulungen beinhalten.</p> <p>Nicht alle Massnahmen sind von gleicher Priorität. Zu einer Notfallplanung soll gleichzeitig eine entsprechende Prioritätenliste erstellt</p>

werden. Die Notfallplanung ist fortwährend zu aktualisieren. Die Entwicklung eines Notfallplans sollte folgende Punkte beinhalten: Notfallberichterstattung, alternative Pflichtzuweisung, Schaltung, Notfallversorgung mit Lebensmittel, Inspektionsplan kritischer Anlagen und anders.

Prinzipiell wichtig ist, dass sich der Betreiber einer Abwasseranlage Gedanken zum Vorgehen nach einem Erdbebenereignis macht. Ein kopfloses und panisches Handeln nach einem Erdbebenereignis kann wertvolle Ressourcen und Zeit verschwenden. Eine vorgängig strukturierte Planung und das Aufstellen eines Notfallplans ist hierbei die Grundlage eines effizienten Einsatzes.

<i>Kommunikation im Ereignisfall</i>	Ein eigenes Kommunikationssystem der Versorgungsbetriebe ist vorteilhaft, jedoch für Abwasseranlagen unrealistisch. Bei grösseren Ereignissen kann das öffentliche Kommunikationsnetz überlastet oder nicht funktionsfähig sein.
--------------------------------------	--

<i>Vorratshaltung für den Ereignisfall</i>	Aufgrund der Reparaturbedarfsermittlung sollten Reparaturteile in erdbebensichere Gebäude oder auf offenen Arbeitshöfen aufbewahrt werden. Damit ist der Zugang zu diesen Teilen gesichert, und die Reparaturzeit kann minimiert werden. Ein ausreichendes Inventar an Reparaturteilen und Kraftstoff soll dabei bereitgestellt werden, da mit Knappeit im Erdbebenfall zu rechnen ist. Grössere Schäden an Gebäuden bei einem Ereignis behindern eine rasche Reparatur der Infrastruktursysteme. Dies ist bei einer vorgängigen Massnahmenplanung entsprechend zu berücksichtigen. Die Zugänglichkeit von Reparaturtruppen zu den betroffenen Gebieten ist zu gewährleisten. Auch die Unterkunft und Verpflegung von Reparatureinheiten ist sicherzustellen, evtl. sind Restaurants oder Hotels nicht in Betrieb.
--	---

## 6.2 Instandstellung und Wiederaufbau

<i>Priorität</i>	Nach einem Erdbebenereignis bleibt die oberste Priorität der Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer zur Gewinnung von Trinkwasser und Verhinderung der Seuchen- und Krankheitsausbreitung. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nach einem Erdbeben sind die Bereiche der Kanalisation zu kontrollieren, die in Grundwasserschutzzonen liegen, und gegebenenfalls zu reparieren.</li> <li>- Kläranlagensysteme sind auf ihren ursprünglichen Betriebszustand wiederherzustellen. Die mechanische Reinigung soll stets aufrechterhalten bleiben.</li> </ul>
------------------	---

<i>Vorgehen</i>	Nach einem Erdbebenereignis kommt die entwickelte Notfallplanung zum Einsatz. Die wichtigste Massnahme nach einem Erdbebenereignis ist eine schnelle visuelle Prüfung der Kanalisation und Kläranlagen, vor allem der Anlagenteile, die in Grundwasserschutzzonen und Quellgebieten liegen. Anhand der Prioritätenliste des Reparaturbedarfs ist nachfolgend die detaillierte Planung der Reparaturmassnahmen aufgrund des aufgetretenen Schadens vorzunehmen. Um einen grösseren Abwasserausfluss zu verhindern, können temporäre Absetz- und Klärbecken errichtet werden. Nachfolgend ist die
-----------------	--

Reparatur und Sanierung der wesentlicher Anlagenteile anzugehen. Ziel ist es, die baldige Wiederaufnahme des ungestörten Betriebs. Bei vergangenen Erdbeben hat sich gezeigt, dass durch die Schädigung der Wasserversorgung auch ein Rückgang der anfallenden Abwassermenge zu beobachten war. Solche Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Infrastruktursystemen untermauern die Wichtigkeit einer bereichsübergreifenden Koordination; dies gilt natürlich prioritär bei der Abhängigkeit vom Stromversorgungsnetz.

## 7 Überprüfungskonzept bestehender Abwasseranlagen in 5 Stufen

### 7.1 Einführung zur Überprüfung

#### Allgemein

Das Erfordernis zur Überprüfung bestehender Abwasseranlagen ergibt sich primär aus der ungenügenden Berücksichtigung der Erdbebeneinwirkung in den Schweizer Tragwerksnormen vor dem Jahr 1989. Selbst nach der Einführung der Neuerungen bezüglich Erdbebeneinwirkung (1989 und 2003) wurden aufgrund einer Unterschätzung des Erdbebenrisikos und einer ungenügenden rechtlichen Verpflichtung, die Erdbebenvorschriften oft nicht befolgt. Dies ist teilweise auch heute noch der Fall. Aus diesen Gründen ist davon auszugehen, dass bestehende Abwasseranlagen ein Defizit in der Erdbebensicherheit aufweisen. Ferner sind Überlegungen bezüglich der Funktionstüchtigkeit nach einer Erdbebeneinwirkung bislang kaum angestellt worden.

Das Konzept Erdbebensicherheit von Abwassersystemen geht davon aus, dass die Empfehlungen für bestehende und neue Anlagen befolgt werden (Anhang A). Bestehende Anlagen sollen einmalig überprüft werden, während neue Anlagen gemäss der neusten SIA-Normengeneration erstellt werden. Weitere Überprüfungen der Erdbebensicherheit sind nur vorzunehmen, falls sich in zukünftigen Normen die Lastannahmen oder Bemessungsmethoden wesentlich verändern.

Zur Überprüfung bestehender Abwasseranlagen ist deshalb ein mehrstufiges Konzept entwickelt worden. Der eigentlichen Überprüfung ist eine Relevanzbeurteilung der Anlage durch den Betreiber vorgeschaltet (siehe Anhang B). Die Kriterien der Relevanzbeurteilung erlauben es, Anlagen zu identifizieren bei denen im Erdbebenfall mit potentiell grösseren Folgeschäden für die Natur, Umwelt und Trinkwasserversorgung zu rechnen ist. Somit wird eine vertiefte Überprüfung in 5 Stufen sinnvoll. Solch eine vertiefte Überprüfung kann auch durch Selbstinitiative (z.B. betriebliche Interessen) oder aufgrund einer Anforderung der Behörden (z.B. Priorisierung aufgrund eines kantonalen Inventars) durchgeführt werden. Die Überprüfung gliedert sich in 5 Stufen:

1. Funktionsanalyse: Festlegen des Betriebsziels der Kanalisation bzw. der Kläranlage. Welche Funktionstüchtigkeit muss bei einem bestimmten Erdbebenereignis erhalten bleiben, bzw. welche Schutzziele müssen erreicht werden?
2. Bedeutungsanalyse: Untersuchung der Bedeutung einzelner Komponenten hinsichtlich des Erreichens des Betriebsziels.
3. Grobbeurteilung: Ortsbegehung nach Checklisten und Einstufen der bedeutenden Anlagenkomponenten nach ihrer Verletzbarkeit.
4. Detailbeurteilung: Detaillierte Analyse bedeutender und potentiell gefährdeter Komponenten.
5. Massnahmenkonzept: Ausarbeitung eines Ertüchtigungskonzeptes für bedeutende und gefährdete Anlagenkomponenten.

Die Aufgabe dieses gesamten Überprüfungskonzeptes besteht darin, strukturiert und effizient die Problematik der Erdbebensicherheit von bestehenden Abwasseranlagen anzugehen und aufzuarbeiten. Aufgrund der Vielzahl verschiedener Komponenten ist es wichtig, sich eine Übersicht zu verschaffen, und eine Priorisierung der Teilaufgaben vorzunehmen. Diese Teilaufgaben können dann nacheinander ihrer Wichtigkeit nach abgearbeitet werden. Es zeigt sich auch, wel-

che Verbesserungsarbeiten dringend, weniger dringend und welche Arbeiten nicht erforderlich sind. So können begrenzte Ressourcen optimal eingesetzt werden.

In den folgenden Abschnitten 7.2 bis 7.7 werden die Relevanzbeurteilung und die einzelnen Stufen des Überprüfungskonzeptes im Detail beschrieben. Der Anhang A des Berichtes beinhaltet Empfehlungen zu "Neubauten", "Einrichtungen und Prozessanlagen" und "Unterhalt", die konsistent konstruktive Inhalte des Überprüfungskonzeptes wiedergeben.

## 7.2 Relevanzbeurteilung zur Überprüfung der Erdbebensicherheit

*Ziel der Relevanzbeurteilung* Die Relevanzbeurteilung ist der Überprüfung der Erdbebensicherheit vorgeschaltet und zeigt an, ob eine weitergehende technische Überprüfung der Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen erforderlich ist. Ziel der Relevanzbeurteilung ist es, Abwasseranlagen zu identifizieren, bei denen im Erdbebenfall mit potentiell grösseren Folgeschäden für die Natur und Umwelt zu rechnen ist. Für identifizierte Anlagen ist die weiterführende Untersuchung der Erdbebensicherheit empfohlen.

Anlagen, von denen eine geringe potentielle Gefährdung für die Umwelt ausgeht, brauchen keiner weiteren Untersuchung unterzogen werden. Das bedeutet, dass diese Anlagen bezüglich Erdbebensicherheit nicht von prioritärer Bedeutung sind.

Die Relevanzbeurteilung ist separat für das Kanalisationsnetz und die Kläranlage anzuwenden, und kann vom Betreiber eigenständig durchgeführt werden. Anhang B dieses Berichtes beinhaltet den Fragebogen zur Relevanzbeurteilung mit den entsprechenden Entscheidungskriterien.

*Abgrenzung* Die Relevanzbeurteilung trifft keine Aussage über die Erdbebensicherheit einer Abwasseranlage. Die Kriterien des Verfahrens beurteilen nur die potentielle Umweltgefährdung der Anlage im Schadensfall in ihrer Gesamtheit. Ferner wird keine Aussage über das Personenrisiko, z.B. durch einstürzende Gebäude, innerhalb einer Abwasseranlage getroffen.

*Priorisierung* Grundsätzlich liegt die Verantwortung über die Kenntnis des Sicherheitsniveaus einer Abwasseranlage beim Betreiber, der somit auch allfällige Massnahmen ergreifen muss. Aufgrund der Schweizerweiten Erdbebengefährdung ist es jedoch sinnvoll, die Anlagen für eine Überprüfung zu priorisieren. Anhand der Relevanzbeurteilung kann die Erdbebensicherheit eines Bestandes an Abwasseranlagen methodisch untersucht werden, und Massnahmen zur Verbesserung können effizient geplant und umgesetzt werden. Solch ein Inventar ist erst bei einer grösseren Anzahl Anlagen wirksam und sollte somit entweder auf kantonaler Ebene oder besser auf nationaler Ebene erfolgen, z.B. mit Unterstützung des Dachverbandes VSA.

*Kriterien der Relevanzbeurteilung* Die Schlüsselkriterien der Relevanzbeurteilung beinhalten:

- Grösse der Kläranlage bzw. des Kanalisationsnetzes
- Erdbebengefährdung am Standort nach SIA 261
- Grundwasserschutzzonen zur Trinkwasserentnahme
- Betriebliche Interessen

Es gibt noch weitere Kriterien, wie z.B. Art der Anlage mit Anteil

industrieller und gewerblicher Abwässer, Belastbarkeit des Vorfluters, lokale Bodenverhältnisse, Gewässerschutzzonen, Auslastung und Alter der Anlage, die einen Einfluss auf die Umweltgefährdung im Erdbebenfall haben. Diese Kriterien können bei der Relevanzbeurteilung nicht direkt berücksichtigt werden. Bei der Lagerung gefährlicher Chemikalien muss eine Risikobeurteilung vorliegen, die auch die Erdbebengefährdung berücksichtigt. Dies gilt besonders für Anlagen die der Störfallverordnung unterliegen.

#### *Beurteilung der Kriterien*

In der Tabelle zur "Beurteilung der Kriterien" im Relevanzbeurteilungsblatt des Anhangs B dieses Berichts sind die Grenzwerte der Kriterien angegeben. Ist ein Kriterium und dessen Nebenbedingung für das betrachtete Abwassersystem (Kanalisationsnetz bzw. Kläranlage) zutreffend, wird eine weitergehende Untersuchung der Abwasseranlage bezüglich der Erdbebensicherheit empfohlen.

#### *Weiteres Vorgehen*

Bei grösseren Umbau- bzw. Sanierungsarbeiten sollte der Betreiber mit Hilfe eines Erdbebensachverständigen die Anlage bezüglich Erdbebensicherheit genauer untersuchen. Dazu dient das im Folgenden beschriebene Beurteilungskonzept. Bei der Durchführung der Beurteilung werden die Anlagenteile identifiziert, die einer detaillierten Überprüfung der Erdbebensicherheit unterzogen werden sollten. Daraus resultieren für die betreffenden Anlagenteile allfällige Ertüchtigungsmassnahmen, die im Verhältnis von Kosten und Nutzen stehen müssen, und im Rahmen der Umbau- bzw. Sanierungsarbeiten umgesetzt werden können.

Bei Abwasseranlagen, die keines der Kriterien der Relevanzbeurteilung im Anhang B erfüllen und keine weitergehende Untersuchung der Erdbebensicherheit angezeigt ist, wird auf konstruktive Massnahmen der Erdbebenertüchtigung hingewiesen. Informationen dazu finden sich im Anhang A sowie Kapitel 5 dieses Berichtes.

In jedem Fall sollte der Betreiber die vorhandenen Risiken aufgrund Erdbeben durch Umsetzung der gegebenen Empfehlungen minimieren. Konstruktive Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit können auch ohne detaillierte Überprüfung im Rahmen allgemeiner Wartungs- und Sanierungsarbeiten umgesetzt werden.

### **7.3 Stufe 1: Funktionsanalyse**

#### *Funktionsanalyse*

Die Funktionsanalyse beinhaltet die Untersuchung des gewünschten Betriebsziels nach Erdbebeneinwirkung eines bestehenden Abwassersystems. Es ist zu untersuchen, welcher Schaden nach einem bestimmten Erdbebenereignis zulässig ist, damit die vorgegebene Funktionstüchtigkeit für die jeweilige Anlage nach dem Erdbebenereignis nicht unzulässig beeinträchtigt wird. Das Betriebsziel nach Erdbeben setzt sich somit aus zwei Komponenten zusammen, der geforderten Funktionstüchtigkeit und dem massgebenden Erdbebenereignis. Das Abwassersystem ist dabei in seiner Gesamtheit zu betrachten. In Kapitel 4 wird das Thema Betriebsziel von Abwasseranlagen nach Erdbebeneinwirkung umfassend besprochen.

Das Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung ist prinzipiell vom Anlagenbetreiber festzulegen und anschliessend mit den Schutzzielen der behördlichen Seite abzugleichen. Bislang gibt es keine konkreten Festlegungen bezüglich Schutz- und Betriebszielen nach Erdbebeneinwirkung.

Die Funktionstüchtigkeit nach einer Erdbebeneinwirkung für bestehende Anlagen ist für jedes Element der Anlage festzulegen. Dies geschieht in Abhängigkeit der aufrechthaltenden Funktion der einzelnen Elemente. Beispiele dafür sind: Der hydraulische Abfluss des Abwassers sollte weitestgehend zu jeder Zeit gewährleistet bleiben. Die mechanische Klärung sollte aufrechterhalten bleiben. Es dürfen keine strukturellen Schäden auftreten, die die Anlage längere Zeit vollständig ausser Betrieb setzten. Reparaturarbeiten müssen in wenigen Tagen durchgeführt werden können.

Aufgrund der Definition des Betriebsziels kann ein sogenanntes Bemessungsbeben für die Erdbebeneinwirkung festgelegt werden. Dies geschieht nach der Norm SIA 261 durch die Einteilung in eine Bauwerksklasse. Abwasseranlagen sind im Allgemeinen in die Bauwerksklasse II eingeteilt (siehe Kapitel 4).

Bei der Funktionsanalyse ist es günstig, die Hauptstränge der Kanalisation zu betrachten und risikoreiche Gebiete zu lokalisieren, z.B. Gebiete entlang Flüssen oder Niederungen, die auf Pumpwerke angewiesen sind. Unterquerungen von Flüssen gehören ebenfalls dazu, denn bei Versagen eines Dükers ergibt sich fast zwangsläufig eine Flussverschmutzung. Solche Unterquerungen sind auch aufwendig zu reparieren. Ferner ist zu registrieren ob Grundwasserschutzzonen durchquert oder berührt werden. Von solchen kritischen Punkten geht eine erhöhte Gefährdung für die Umwelt aus.

## 7.4 Stufe 2: Bedeutungsanalyse

### Bedeutungsanalyse

Bei der Bedeutungsanalyse ist wie bei der Funktionsanalyse das gesamte System einer regionalen Kanalisation bzw. einer Kläranlage zu betrachten. Die Bedeutung jeder einzelnen Komponente richtet sich ausschliesslich nach deren Beitrag zum Erreichen des festgelegten Betriebszieles nach einer Erdbebeneinwirkung. Dabei werden Komponenten mit hoher oder geringer Bedeutung unterschieden. Ein höherer Grad der Differenzierung ist im Allgemeinen nicht zweckmässig. Unter Komponenten ist hierbei ein Rohrleitungsabschnitt bzw. Einzugsbereich der Kanalisation, ein Hebwerk oder ein Klärbecken zu verstehen.

Komponenten mit hoher Bedeutung bewirken im Schadensfall den Betriebsunterbruch des Systems bzw. führen zum Ausfall der zum Betriebsziel zugehörigen Funktion. Komponenten geringer Bedeutung bewirken im Schadensfall einen lokalen Ausfall des Systems und leisten keinen Beitrag zum festgelegten Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung.

Die Bedeutung einer Abwasserkomponente ist unabhängig von der Erdbebeneinwirkung und dessen Verletzbarkeit gegenüber Erdbeben. Hilfreich erweist sich bei der Bedeutungsanalyse das Anlegen einer Datenbank mit Informationen zu den Anlagekomponenten hoher Bedeutung über Bauart, Funktionsweise, Alter, Art der Anschlüsse, anstehenden Boden, Grundwasserschutzzone Erdbebenzone etc. Vorhandene Daten und bereits bestehenden Informationssysteme sollten dabei genutzt werden, bzw. um die Punkte zur Überprüfung der Erdbebensicherheit erweitert werden. Die Checklisten des Anhangs C dieses Berichts bieten eine Hilfestellung bei der Erhebung erdbebensicherheitsrelevanter Daten und Informationen.

## 7.5 Stufe 3: Grobbeurteilung mittels Checklisten

### *Einführung zu den Checklisten*

Ein wesentlicher Punkt des Überprüfungskonzeptes ist die Grobbeurteilung der Verletzbarkeit von Anlagekomponenten anhand von Checklisten. Die Checklisten befinden sich im Anhang C dieses Berichts. Deren Handhabung wird im Folgenden eingehender beschrieben.

Der Grobbeurteilung gehen die Definition des Betriebsziels und eine Bedeutungsanalyse voraus. Bei diesen Vorbetrachtungen wird festgelegt, welche Funktionstüchtigkeit der Kanalisation bzw. Kläranlage im vorgegebenen Erdbebenfall aufrecht zu erhalten ist, und welche Bedeutung die einzelnen Komponenten zum Erreichen des Betriebsziels besitzen. Bei der Grobbeurteilung werden dann nur Komponenten hoher Bedeutung näher untersucht.

Als Ergebnis der Grobbeurteilung erfolgt eine Einstufung bedeutender Anlagenkomponenten nach geringer, mittlerer und hoher Verletzbarkeit. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Grobbeurteilung keine abschliessende Aussage über die Erdbebensicherheit einer Anlagenkomponente liefern kann. Es kann nur allgemein festgestellt werden, ob grundlegenden Kriterien des erdbebengerechten Entwurfs verletzt wurden, welche Schwachstellen vorhanden sind und wie sich die Bauwerke einer Abwasseranlage relativ zueinander bezüglich Erdbebensicherheit verhalten. Eine definitive Aussage zur Erdbebensicherheit kann nur eine Berechnung der Detailbeurteilung liefern.

Die Checklisten bieten somit ein Hilfsmittel zur Priorisierung der Aufgaben und helfen bei der Entscheidungsfindung zur Ertüchtigung kritischer Kanalisations- und Kläranlagenteile. Der weitere Handlungsbedarf zur Detailbeurteilung und Ertüchtigung von Komponenten hoher Bedeutung kann anhand der Ergebnisse der Grobbeurteilung nach Priorität festgelegt werden.

Bei der Grobbeurteilung mittels Checklisten ermöglicht das Erstellen einer Datenbank aller Anlagenkomponenten eine bessere Übersicht und einen schnelleren Zugriff auf relevante Daten. Durch die Vorauswahl in der Bedeutungsanalyse reduzieren sich die Zahl der zu untersuchenden Anlagenkomponenten und der damit verbundene Aufwand.

Bei der Untersuchung der Verletzbarkeit sind die Standortverhältnisse genauso wie die konstruktiven Ausführungen der Anlagen zu begutachten. Es ist wichtig festzustellen, ob das Gebiet rutschgefährdet ist und ob Verflüssigungsgefahr besteht. Dafür stehen in der Schweiz Gefahrenkarten zur Verfügung, so dass im Allgemeinen keine gesonderten Untersuchungen erforderlich sind. Solche Gefährdungskarten werden zum Beispiel beim Bundesamt für Umwelt publiziert: <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren> oder sind vor Ort bei den Gemeinden zu erfragen. Die Gefahr der Bodenverflüssigung tritt primär nur im Wallis auf, wo dieses Phänomen beobachtet wurde.

Bei der Grobbeurteilung spielen auch der Reparaturbedarf nach Erdbeben und die Redundanz der Anlagenkomponenten im System eine Rolle. Eine höhere Verletzbarkeit einer Komponente ist angezeigt, wenn ein höherer Reparaturbedarf bzw. längere Ausfallzeiten nach einem Erdbebenereignis zu erwarten sind. Durch Redundanz, z.B. Verfügbarkeit zweier Vorklärbecken, von denen ein Becken temporär für Revisionsarbeiten stillgelegt werden kann, verringert sich die Systemverletzbarkeit. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Vorklärbe-

cken nach einem Erdbebeneignis beschädigt werden, ist im Allgemeinen geringer, als bei nur einem Vorklärbecken. Die Verletzbarkeit eines einzelnen Beckens bleibt jedoch gleich. Die Überprüfung der Erdbebensicherheit kann vorerst auf ein Becken beschränkt werden, um die Systemsicherheit zu verbessern.

Ferner ist auch die Stabilität der Stromversorgung und Steuerung zu überprüfen. Eine Anlagenkomponente selbst kann ein Erdbeben schadensfrei überstehen, aber bei Ausfall der Stromversorgung und Steuerung ist die Funktionstüchtigkeit eingeschränkt oder unterbrochen. Diese Ausfallszenarien der Stromversorgung und Steuerung sind mit zu berücksichtigen. Es ist zu prüfen, inwieweit Redundanzen in der Stromversorgung vorhanden sind, z.B. durch Einspeisung aus verschiedenen Unterwerken.

Die Grobanalyse und Ortsbegehung erfolgt im Allgemeinen durch das technische Betriebspersonal in Zusammenarbeit mit einem Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen. Ein Grossteil der Vorarbeit erfordert nicht zwingend eine Ortsbegehung und der Aufwand der Beurteilung kann reduziert werden.

Auf einzelne Schwerpunkte der Grobbeurteilung von Komponenten der Abwassersysteme wird in den folgenden Abschnitten kurz eingegangen.

#### *Objektdatenbank*

Im Rahmen der Beurteilung und Bedeutungsanalyse von Abwassersystemen ist eine Datenbank anzulegen, die alle wesentlichen Informationen des zu untersuchenden Abwassersystems beinhaltet. Die Zusammenfassung aller Informationen dient in erster Linie der Dokumentation sowie der Verbesserung der Übersicht und Entscheidungsfähigkeit des sachbearbeitenden Ingenieurs. Die Objektdatenbank besteht aus einem Übersichtsblatt der gesamten angeschlossenen Kanalisation oder der gesamten Kläranlage mit Netzplan oder Grundriss. Für jede Anlagenkomponente, z.B. wichtige Leitungsschnitte oder Klärbecken, wird ein eigenes Datenblatt erstellt. Die wichtigsten Daten der Anlagenkomponenten werden nochmals in einer Gesamtliste zusammengefasst. Dies ermöglicht die bessere Übersicht bei der Beurteilung der Gesamtsituation.

Alle relevanten Angaben der Einzelkomponenten sind auf den Datenblättern zu vermerken, als da wären: Objekt, Baujahr, Funktion, Bauweise, Zustand, Redundanz und Baugrund. Diese Angaben sollten in einer gewissen Ausführlichkeit beschrieben werden. Bei der Bauweise ist auch zu vermerken, inwieweit konstruktive Massnahmen zur Erdbebensicherung bereits ausgeführt sind. Bei der Beschreibung des Zustandes der Anlagenkomponente sind vorhandene Schädigungen sowie der anzunehmende Reparaturaufwand im Erdbebenfall anzugeben.

In die Gesamtliste werden dann nur die wichtigsten Schlüsselparameter Baujahr, Zustand, Verletzbarkeit und Bedeutung, übernommen. Eine Kategorisierung der Schlüsselpараметer kann folgendermassen erfolgen:

- Allgemeiner Zustand:                    gut / mittel / schlecht
- Verletzbarkeit:                            hoch / mittel / niedrig
- Bedeutung fürs Betriebsziel:            hoch / gering

Die Struktur der vorgeschlagenen Objektdatenbank sollte mit bereits bestehenden Informationssystemen abgestimmt und in diese integriert werden, z.B. im Zusammenhang mit Generellen Entwässerungsplänen (GEP) oder bestehenden Datenbanken. Auf lokaler Ebene

sind oft verschiedene Zustandsberichte der Anlagenkomponenten vorhanden, die eine wertvolle Grundlage für die Erdbebenbeurteilung bilden. Bei der Beurteilung ist es ausreichend, sich auf die für das Betriebsziel bedeutenden Komponenten zu beschränken.

#### *Beurteilung der Kanalisation*

Bei der Grobbeurteilung der Kanalisationskomponenten sind als erster Punkt die lokalen geotechnischen Gefahren zu erkennen und einzuschätzen. Primär werden hierbei Erdrutsche, Kriechhänge und Bodenverflüssigung betrachtet.

Bei unterirdisch verlegten Rohren besteht die Hauptgefährdung durch starke permanente Bodenverschiebung aufgrund Kreuzung mit Gleitflächen von Erdrutschen oder Bodenverflüssigung. Erdrutsche bei Erdbeben treten vor allem an Stellen vorhandener Rutschgebiete auf, die durch das Erdbeben aktiviert werden. Solche Zonen sind in der Schweiz zum grössten Teil in Gefahrenkarten verzeichnet (<http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren>). Schädigungen durch Kriechhänge sind im Allgemeinen bekannt, da in mehrjährigen Abständen immer wieder Reparaturen an Strassen oder der Kanalisation selber notwendig sind.

Schädigungen der Kanalisation durch Bodenvibrationen und Wellenausbreitung sind weniger zu erwarten. Beton- und Steinzeugrohre verhalten sich im Allgemeinen robust, da die Muffen ein gewisses Verformungsvermögen aufweisen.

Rohrleitungen an der Oberfläche sind stärker gefährdet als Rohrleitungen, die unterirdisch verlegt sind. Die Trägheitskräfte erzeugen dabei eine grössere Belastung. Die Gründungen sollten in einem ausreichend geringe Abstand angeordnet sein und horizontale Kräften müssen in den Untergrund abgeleitet werden. Die Fundamente oberirdisch verlegter Rohrleitungen sollten gegen Abheben und Kippen gesichert sein. Oberirdisch verlegte Rohrleitungen sind auch verstärkt gegen Erdrutsche gefährdet und könne durch Lawinen oder Steinschlag geschädigt werden.

Bei zu erwartenden bleibenden Bodenverschiebungen sind duktile Rohleitungsmaterialien und flexible duktile Verbindungen vorteilhaft. Anschlüsse an Bauwerke und Schächte sollten ebenfalls beweglich ausgeführt sein.

Die Checkliste der Kanalisation bezieht sich auf ein Einzugsgebiet, in dem systematisch der Kanalisationsverlauf auf Schwachstellen abgesucht wird. Diese kritischen Punkte werden dann auf dem Checkblatt vermerkt. Bei grossen städtischen Kanalisationsnetzen kann nicht jeder einzelne Schacht oder Leitungsabschnitt untersucht werden, sondern die Einzugsbereiche werden zusammengefasst.

#### *Beurteilung von Pumpwerken*

Pumpen sind unter normalen Betriebsbedingungen starken Kräften ausgesetzt. Daher ist es wichtig vor allem auf Schäden an den bestehenden Anlagen zu achten, in Hinblick auf Korrosion, lockere Schraubenverbindungen und Schädigung der Fundamente.

Grosse horizontale Kräfte sollten vom Fundament aufgenommen werden können. Grosse aufrecht stehende Pumpen mit schwerem Motor am Kopfende sollten verankert sein. Anschlüsse von Rohrleitungen sind flexibel auszuführen. Tauchpumpen verhalten sich im Allgemeinen günstig. Schneckenpumpen sind verletzlich gegenüber differentiellen Setzungen. Bei durchgehen bewehrten Fundamentplatten ist diese Gefährdung reduziert.

Die geotechnische Gefahren, z.B. durch Erdrutsch, sind ebenfalls zu prüfen.

Besondere Aufmerksamkeit gilt der Stromversorgung und Anlagensteuerung, da mit einem Ausfall bei einem Erdbebenereignis zu rechnen ist.

#### *Beurteilung von Kläranlagen*

Klärbecken verhalten sich im Allgemein günstig bei Erbebeneinwirkung. Die grösste Gefährdung geht von permanenten Bodenverschiebungen durch Erdrutsch und Bodenverflüssigung aus. Einbauteile unter sowie oberhalb des normalen Wasserstandes in Klärbecken sind anfällig gegen Wellschlag. Trennwände oder Abdeckbleche in Klärbecken sind dahingehend zu prüfen, ob sie nicht andere Beckeneinbauteile wie Schlammräumer beschädigen können oder blockieren, falls diese sich lösen.

Ventile und Schieber sind teilweise aus gusseisernem Stahl gefertigt. Sie neigen bei Vibrationseinwirkung schnell zu sprödem Reissen. Es ist darauf zu achten, dass die Ventile gehalten und nur geringen Belastungen ausgesetzt sind. Rohranschlüsse sollten flexibel ausgeführt sein.

Die Stromversorgung und Anlagensteuerung ist gesondert zu betrachten, da ein Ausfall Auswirkungen auf Pumpen und mechanische, biologische sowie chemische Abläufe im Klärprozess hat.

#### *Beurteilung der chemischen Klärung*

Bei der chemischen Klärung sind für verschiedene Prozesse, wie Neutralisation oder Flockung, Chemikalienzusätze erforderlich. Diese werden auf dem Kläranlagengelände gelagert. Die Chemikalien sollten so in Säcken, Behältern oder Tanks aufbewahrt werden, dass es beim Erdbeben zu keiner Verschmutzung oder chemischen Reaktion kommt. Lagerregale und Behälter sollten gegen Umkippen oder Verschieben gehalten bzw. verankert sein. Gleches gilt für die Zuleitungs-, Transport- und Steuereinrichtungen der Chemikalien in den Klärprozess. Die Stromversorgung sollte auch nach einem Erdbebenereignis aufrecht erhalten bleiben.

#### *Beurteilung der Tankbauwerke*

Tanks werden zur Abwasserreinigung relativ wenig verwendet. Sie kommen jedoch in einigen Kläranlagen als Zwischenspeicherbehälter zum Einsatz. Primär werden sie bei der Schlammbehandlung eingesetzt.

Tanks sind allgemein ausreichend auf Zugkräfte bemessen. Bei Druckbeanspruchungen kann es jedoch bei dünnwandigen Tanks, z.B. aus Stahl, zu Beulerscheinungen kommen, z.B. dem sogenannten Elefantenfuss. Ferner können leichte Tanks bei Wellenbewegung abheben, und es kommt zu Schäden durch Beulen oder Abreissen der Rohranschlüsse. Betontanks zeigen allgemein im Erdbebenfall ein gutes Verhalten. Sie sind weniger anfällig geben Beulen als dünnwandige Stahltanks.

Ein flexibler Anschluss von Rohrleitungen ist ebenfalls zu gewährleisten, um unkontrolliertes Auslaufen zu verhindern.

Korrosion an der Tankkonstruktion führt zu einer erhöhten Verletzbarkeit des Bauwerkes.

#### *Beurteilung der Schlammbehandlung*

Für die Komponenten der Schlammbehandlung gilt Gleches wie für Klärbecken und Tankbauwerke. Die grösste Gefährdung geht von ungünstigen Bodenverhältnissen aus. Dachelemente und Behältereinbauten werden durch Wellenschlag flüssiger Schlammassen belastet.

Prozessanlagen, wie Zentrifugen und Filterpressen, sind nach den Aspekten des Hochbaus zu begutachten. Hier geht es vor allem die

Tragfähigkeit in Bezug auf Lagesicherheit gegen Kippen und Gleiten zu prüfen. Die Stromversorgung spielt bei diesen Anlagen ebenfalls eine bedeutende Rolle und erfordert gesonderte Betrachtung.

## 7.6 Stufe 4: Detailbeurteilung

### *Detailbeurteilung*

Bei der Detailbeurteilung werden alle Anlagenkomponenten hoher Bedeutung nacheinander näher untersucht. Diese Detailanalyse beinhaltet weitergehende Untersuchungen bei mangelnder Datengrundlage, vereinfachte oder vertiefte dynamische Berechnungen zur Einschätzung des Tragverhaltens unter Erdbeben sowie eine genaue Analyse der Schwachpunkte der Konstruktion. Die Reihenfolge der Detailuntersuchung der Anlagenkomponenten richtet sich nach der Priorisierung der Grobbeurteilung entsprechend ihrer Verletzbarkeit. Zur detaillierten Überprüfung bestehender Bauwerke bezüglich Erdbebensicherheit gibt der SIA das Merkblatt 2018 heraus. Das Merkblatt gliedert sich im Wesentlichen in 2 Teilbereiche. Zuerst wird das bestehende Tragwerk mit einem nach SIA 261 (2003) bemessenen Tragwerk durch die Berechnung des Erfüllungsfaktors  $\alpha_{\text{eff}}$  verglichen (siehe Kapitel 4). In einem zweiten Schritt wird ausschliesslich das Kriterium der Personensicherheit zur Beurteilung der Ertüchtigung herangezogen. Das Konzept des SIA Merkblatts 2018 zur Analyse des Tragwerks bezüglich Erdbebensicherheit kann für Abwassersysteme gut angewendet werden, während das Kriterium der Personensicherheit zur Beurteilung von Ertüchtigungsmassnahmen nicht geeignet ist. Personenschäden sind bei Abwasseranlagen kaum zu erwarten, und die Funktionstüchtigkeit steht im Vordergrund der Betrachtungen.

Die Berechnung des Erfüllungsfaktors  $\alpha_{\text{eff}}$  bildet eine wichtige Entscheidungsgrundlage bei der weiteren Planung von Ertüchtigungsmassnahmen. Basierend auf einer detaillierten Überprüfung lässt sich ein erforderliches gesamtheitliches Ertüchtigungskonzept für die betreffende Abwasseranlage entwickeln.

Bei Redundanz und Baugleichheit von Anlagenkomponenten, z.B. Klärbecken oder Tankbauwerken, ist vorerst die Detailuntersuchung eines Bauwerks angestrebt, was im Allgemeinen auch den Zustand aller gleichen Komponenten wiedergibt.

## 7.7 Stufe 5: Massnahmenkonzept und Ertüchtigung

### *Allgemein*

Anhand der Grob- und Detailbeurteilung lässt sich eine Prioritätenliste erarbeiten, in der die Anlagenkomponenten hinsichtlich ihrer Verletzbarkeit in hoch, mittel und niedrig eingestuft werden. Daraufhin können basierend auf der Detailanalyse, Ertüchtigungsmassnahmen für die einzelnen, kritischen, prioritären Anlagenkomponenten entwickelt werden. Der Erfüllungsfaktor einer ertüchtigten Anlagenkomponente mit hoher Bedeutung sollte  $\alpha_{\text{eff}} = 1.0$  erreichen (siehe Kapitel 7.6).

Die Auswahl und Reihenfolge der Komponenten sollte dabei so erfolgen, dass mit verhältnismässigen finanziellen Mitteln ein maximaler Zuwachs der Funktionstüchtigkeit des Abwassersystems erreicht wird. Hierbei ist es auch wichtig die Aspekte der Redundanz im Anlagensystem und des Reparaturbedarfs im Schadensfall zu berücksichtigen. Zum Beispiel ist es bei baugleichen Klärbecken

wichtig, erst ein Becken zu ertüchtigen, um die finanzielle Belastung zu minimieren und dabei die Funktionstüchtigkeit bedeutend zu verbessern. Ferner kann eine Komponente mit grossem Reparaturbedarf bevorzugt ertüchtigt werden, im Vergleich zu einer Komponente mit moderatem Reparaturbedarf bei gleicher Verletzbarkeit.

#### *Verhältnismässigkeit*

Die Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen ist anhand einer Kosten-Nutzen Analyse zu beurteilen. Dabei sind die reinen Kosten für die Massnahmen der erzielten Risikoreduktion gegenüberzustellen. Liegt dem Betreiber eine Risikoanalyse der Abwasseranlage vor, kann diese zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit herangezogen werden. Die Hauptaufgaben der Abwasseranlagen sind für die Beurteilung der Verhältnismässigkeit massgebend. Aus Sicht des Betreibers sind auch wirtschaftliche Aspekte einzubeziehen, die wiederum Auswirkungen auf das Festlegen des Betriebsziels haben (siehe Kapitel 4.1).

Die Planung der Umsetzung des Ertüchtigungskonzeptes sollte in den Gesamtplan der Wartung und Revision für die Abwasseranlage eingebettet werden. Dadurch lassen sich Kosten sparen und Synergien nutzen.

Für die Verhältnismässigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen an bestehenden Abwasseranlagen liegen keine Erfahrungswerte vor. Dennoch ist anzunehmen, dass die reinen Kosten von Erdbebensicherheitsmassnahmen im Vergleich zum Gesamtwert einer Abwasseranlage bzw. zu normalen Unterhalts- und Sanierungskosten gering sind, so dass eine detaillierte Berechnung der Verhältnismässigkeit eventuell nicht nötig ist. Die Entscheidung, Massnahmen durchzuführen, obliegt letztendlich dem Anlagenbetreiber.

Für Hochbauten mit normaler Personenbelegung, z.B. Büro- und Verwaltungsgebäude einer Abwasseranlage, wird das Vorgehen zur Ertüchtigung und zur Ermittlung der Verhältnismässigkeit nach SIA Merkblatt 2018 angewendet. Erfahrungswerte beim Neubau von normalen Hochbauten zeigen, dass sich die Mehrkosten der Erdbebensicherheit bei einem erdbebengerechtem Entwurf auf maximal ca. 1% der gesamten Baukosten belaufen. Bei der Ertüchtigung bestehender Gebäude des Hochbaus liegt der Anteil der Mehrkosten für die Erdbebensicherheit meist etwas höher.

#### *Konstruktive Massnahmen*

Konstruktive Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit von Anlagenkomponenten können zu jeder Zeit in Wartungs- und Unterhaltsarbeiten integriert werden. Kapitel 5 zeigt hierfür einfache Lösungen. Im Allgemeinen ist es ausreichend, die Lagesicherheit und damit die Funktionstüchtigkeit der Anlagekomponenten zu erhöhen, indem Kippen und Gleiten von Schaltschränken, Prozess-equipment und Rohrleitungen durch Halterungen mit Winkeleisen und Schellen verhindert werden.

## 7.8 Organisatorische Belange

### Arbeitsaufteilung

Die Voruntersuchungen der Relevanzbeurteilung sollte vom Betreiber der Abwasseranlage eigenständig durchgeführt werden. Anhand der eindeutigen Kenngrößen ist ersichtlich, ob eine weitergehende Erdbebensicherheitsuntersuchung der Anlage angezeigt ist. In solchem Fall ist es empfohlen, einen Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen zur Beratung während des weiteren Vorgehens hinzuzuziehen. Die nach der Relevanzbeurteilung folgenden Stufen der Funktions- und Bedeutungsanalyse sowie der Grobbeurteilung mittels Checklisten können dann vom Betriebspersonal der Abwasseranlage in Zusammenarbeit mit dem Sachverständigen durchgeführt werden. Zur Bearbeitung dieser Stufen, vor allem für die Grobbeurteilung, sind Kenntnisse im Bereich Erdbebeningenieurwesen erforderlich. Bei komplexeren Abwassersystemen bzw. Anlagen mit erhöhter Umweltgefährdung ist es ratsam von Beginn an einen Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen hinzuzuziehen.

Die Detailbeurteilung bedeutender Anlagenkomponenten und die Massnahmenerarbeitung und -planung zur Ertüchtigung werden vom Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen in Abstimmung mit dem Anlagenbetreiber durchgeführt und erarbeitet.

### Arbeitsaufwand

Der Aufwand der einzelnen Stufen im Überprüfungskonzept kann stark variieren und wird im Folgenden näherungsweise angegeben, um dem Betreiber eine Übersicht zur Abschätzung des Aufwandes zu geben.

Die Relevanzbeurteilung zur Bestimmung der weitergehenden Überprüfung der Erdbebensicherheit kann vom Betreiber in wenigen Stunden durchgeführt werden. Mit Studium der Unterlagen und Recherche der wichtigsten Kenndaten kann mit einem Aufwand von einem halben Arbeitstag gerechnet werden.

Der Aufwand für die Funktions- und Bedeutungsanalyse ist abhängig von der Größe der zu betrachtenden Abwasseranlage. Bei Hinzuziehen eines Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen ergibt sich für eine mittelgroße Kläranlage von 100'000 EGW ein Aufwand von maximal einem Arbeitsag inklusive Dokumentation und Datenerhebung. Für die Betrachtung des zugehörigen Kanalisationsnetzes ist nochmal mit einem ähnlichen Aufwand zu rechnen. Die Grobbeurteilung mittels Checklisten kann mit einem Aufwand von ca. 2 Stunden für eine Anlagenkomponente hoher Bedeutung inklusive kurzer Dokumentation beziffert werden. Für eine Kläranlage mittlerer Größe ergibt sich insgesamt ein geschätzter Aufwand von 2 bis 3 Arbeitstagen inklusive Priorisierung entsprechend der Verletzbarkeit und Dokumentation der Ergebnisse. Für die Betrachtung des zugehörigen Kanalisationsnetzes ist nochmal mit einem ähnlichen Aufwand zu rechnen.

Der Aufwand der Detailbeurteilung einer Anlagenkomponente inklusive Berechnung und Massnahmenempfehlung kann je nach Komplexität der Konstruktion und Prozessanlagen stark variieren. Als Mittelwert kann schätzungsweise ein Aufwand von ein bis zwei Arbeitswochen pro einzelne Anlagenkomponente angegeben werden.

Die Ausarbeitung eines umfassenden gesamtheitlichen Massnahmenkonzeptes inklusive Überprüfung der Machbarkeit kann je nach Umfang mehrere Arbeitswochen Aufwand in Anspruch nehmen.

*Schema*

Abb. 7.1 zeigt das Schema des vorgestellten Überprüfungskonzeptes. Bei komplexen Systemen kann die Beurteilung iterativ erfolgen und beinhaltet ein strukturelle und organisatorische Überprüfung sowie die Berücksichtigung von Redundanzen und Reparaturaufwand im Schadensfall.

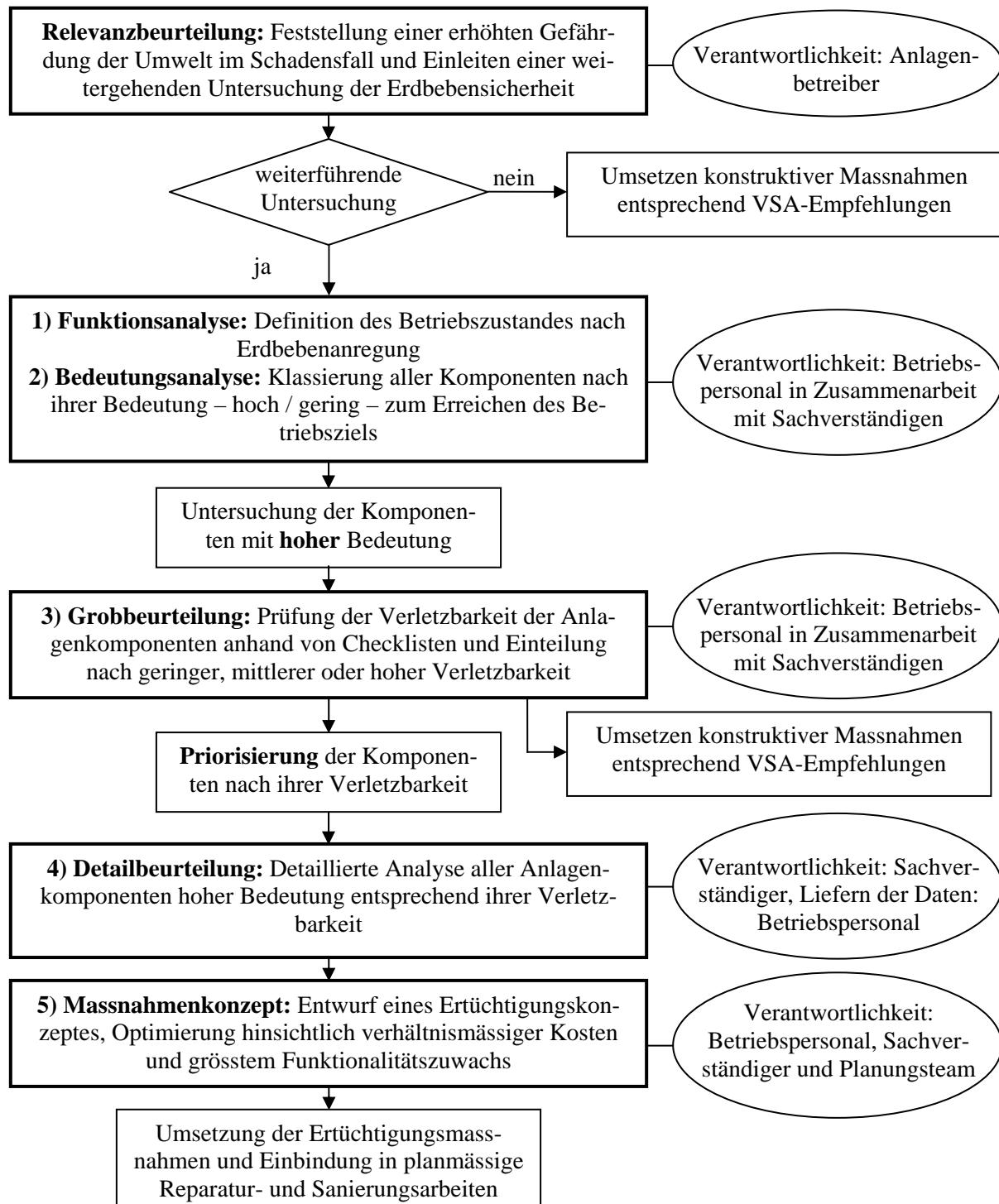


Abb. 7.1: Schema des Überprüfungskonzeptes bei einer weiterführenden Überprüfung der Erdbebensicherheit mit Massnahmenkonzept

## 7.9 Erfahrungen der Pilotstudie

### *Einführung*

Um das entwickelte Überprüfungskonzept zur Analyse der Erdbebensicherheit von bestehenden Abwasseranlagen auf seine Funktionsstüchtigkeit zu prüfen, wurde eine Pilotstudie an 3 möglichst repräsentativen Abwasseranlagen durchgeführt (ARA Rhein in Pratteln als Industriekläranlage, Abwasserverband Morgental bei Arbon als mittlere kommunale Kläranlage mit Kanalisationsnetz, Entsorgung + Recycling Zürich mit der Kläranlage Werdhölzli und Kanalisationsnetz in Zürich als grosser kommunaler Abwasseranlagenbetreiber).

Im Folgenden werden die Abwasseranlagen kurz vorgestellt und die Erfahrungen aus der Pilotstudie dargelegt. Die Erkenntnisse sind auch im das vorliegende Überprüfungskonzept eingeflossen.

### *ARA Rhein, Pratteln*

Die Abwasserreinigungsanlage ARA Rhein ist überwiegend eine Industriekläranlage chemischer und pharmazeutische Industriebetriebe mit einem kleinen kommunalen Abwasseranteil im Mischsystem. Die Kläranlage ist auf ca. 452'000 Einwohnergleichwerte ausgelegt. Der Anteil der Schmutzfracht aus industriellen Abwässern beträgt ca. 90 %, während das Abwasservolumen der Industrie einen Anteil von ca. 50 % ausmacht. Als Besonderheiten der Kläranlage lassen sich drei zwischengeschalteten Puffertanks nennen, wobei ein Tank für Havariefälle vorgehalten wird. Ferner gibt es eine zweistufige biologische Klärung, wobei die kommunalen Abwässer anfänglich separat behandelt werden und erst in der zweiten biologischen Stufe mit den industriellen Abwässern vermischt werden.

Der Schwerpunkt der Kläranlage ARA Rhein liegt auf der Reinigung von hoch belasteten Industrieabwässern der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Damit ergeben sich erhöhte Anforderungen an Teile des Klärprozesses. Die Reinigung der Industrieabwässer untersteht auch der Störfallverordnung. Für die Leitung der Industrieabwässer sind begehbarer Rohleitungskanäle oder zumindest doppelwandige Rohrleitungen erforderlich, um Leckagen zu prüfen und reparieren zu können.

Bei der Funktionsanalyse zeigt sich, dass für ungereinigte Industrieabwässer höhere Anforderungen gelten sollen als für kommunale Abwässer. Als Betriebsziel nach einem Erdbeben wurde die Aufrechterhaltung der Reinigung industrieller Abwässer festgestellt, und die zugehörigen Anlagenkomponenten der industriellen Abwasserbehandlung, Pumpstation, Vorbehandlung, Puffertanks und Biologie 1 sollten ihre Funktionsstüchtigkeit nach einem Erdbeben behalten. Eine Einstufung der betreffenden Bauwerke bzw. Anlagenkomponenten der industriellen Abwasserreinigung in die Bauwerksklasse II nach SIA 261 ist bei erhöhtem Gefahrenpotential angebracht. Damit werden bestehende industrielle Abwasseranlagen gleich wie Neubauten behandelt. Ein spezieller Gesichtspunkt bei der ARA Rhein ist die Betrachtung des wirtschaftlichen Schadens bei einem Ausfall der Anlage. Dieser wirtschaftliche Schaden muss mit den angeschlossenen Industriepartnern (z.B. Pharmaunternehmen) besprochen werden. Es ist in diesem Fall durchaus möglich, dass aus dieser wirtschaftlichen Überlegung die Industriebetriebe ihre Produktionsanlagen erdbebensicher ausrüsten und in der Konsequenz, die Abwasserreinigungsanlage ebenfalls entsprechend ausgerüstet werden muss. Die kommunale Abwasserbehandlung kann bei der ARA Rhein in Pratteln als sekundär eingestuft werden. Durch das

Mischwassersystem sind die Abwässer im Allgemeinen auch stark verdünnt und der Rhein stellt eine starke wasserreiche schnell abfliessende Vorflut dar. Für die bestehenden Anlagenkomponenten der kommunalen Abwasserreinigung ist es ausreichend die Hydraulik als Betriebsziel aufrechtzuerhalten. Die Komponenten der bestehenden kommunalen Abwasserreinigung sind in die Bauwerksklasse I nach SIA 261 eingeteilt.

In der Bedeutungsanalyse spiegeln sich die Überlegungen der Funktionsanalyse wider. Aufgrund des seriellen Aufbaus der Kläranlage sind alle Komponenten der industriellen Abwasserreinigung bis zur ersten biologischen Reinigungsstufe einer hohen Bedeutung zuzuordnen. Wichtig ist ferner, dass der Abfluss des Abwassers in die Vorflut gewährleistet ist. Dazu erforderliche Anlagenteile werden ebenfalls der Bedeutung hoch zugeordnet. Alle restlichen Komponenten werden in die Kategorie geringe Bedeutung eingestuft.

Bei der Grobbeurteilung wurden mehrere Gebäude angeschaut. Es zeigte sich, dass die Komponenten der Abwassersysteme im Allgemeinen als sehr robust und wenig verletzlich eingeschätzt werden können. Behälter sind meist mit Dübeln im Boden verankert und gegen Gleiten und Kippen gesichert. Die Zentrifugen zur Schlamm-trocknung und Lüftungsgebläse sind auf Gummipuffern bzw. Gerbfedern gelagert (Abb. 5.19, Abb. 5.20), die im Erdbebenfall eine Schwingungsisolation bzw. Nachgiebigkeit bewirken. Rohleitungen sind im Allgemeinen mit Bewegungsmanschetten bzw. u-förmigen Dehnungsbereichen ausgestattet (Abb. 5.4 und Abb. 5.5) und fest an Wänden oder Böden montiert. Als besonders sensibel wurden die Energieversorgung und die Steuerungssysteme eingestuft. Die ARA Rhein ist an 2 Unterwerke angeschlossen, was die Abhängigkeit von nur einem Stromversorgungswerk reduziert. Ferner können als verletzlich die Räumereinrichtungen der Klärbecken und die Kranbahnen angesehen werden. Für Räumer wird empfohlen, nach einem Erdbebeneignis das Räumgerät anzuhalten und zu prüfen, in wie weit der Räumer verschoben oder beschädigt ist. Die ARA Rhein verfügt über eine vollautomatische Steuerung, so das über einen Erdbebensensor diese automatischen Geräte abgeschaltet werden können. Nach einer visuellen Prüfung können diese Geräte wieder in Betrieb genommen werden. Die Absturzsicherheit der Kranbahnen (Abb. 5.18) kann bei der turnusmässigen Herstellerwartung geprüft werden und gegebenenfalls konstruktiv hergestellt werden. Ferner wird empfohlen, Transformatoren, Steuerungs- und Schaltschränke konstruktiv zu befestigen.

#### *Abwasserverband Morgenland, Arbon*

Die Kläranlage des Abwasserverbandes Morgenland ist von mittlerer Grösse und besitzt eine Kapazität von ca. 50'000 Einwohnergleichwerten im Mischsystem. Der Abwasseranfall beträgt ca. 35'000 Einwohnergleichwerten, wobei davon der Industrie- und Gewerbeanteil etwa 20 % beträgt. Somit ist die Kläranlage nur zu ca. 70 % ausgelastet.

Zum Abwasserverband gehört auch ein Kanalnetz von ca. 40 km Länge (ohne Kanalnetz der Verbundsgemeinden) mit 8 Hebewerken, 17 Regenbecken und 34 Kleinpumpwerken.

Die Funktionsanalyse ergab aufgrund der Erfahrungen des Hochwassers von 1999 im Bodenseeraum, dass primär das Ableiten des Abwassers aus den Siedlungsräumen von Bedeutung ist. Diese Funktion muss im Erdbebenfall sichergestellt sein, und die Hydraulik des Kanalisationsnetzes muss funktionieren, damit es nicht zu

Überschwemmungen und Hygieneproblemen kommt. Alle anderen Funktionen könnten für einen kurzen Zeitraum unterbrochen sein. Allgemein können für die bestehenden Anlagen die Anforderungen entsprechend der Bauwerksklasse I gelten.

Entsprechend der Funktionsanalyse werden vor allem die Hebe- bzw. Pumpwerke an den Hauptkanalisationsträngen in die hohe Bedeutungskategorie eingestuft. Alle übrigen Komponenten des Abwassersystems des AV Morgental, z.B. die Kläranlage selbst, fallen in die Bedeutungskategorie gering.

In der Grobanalyse zeigte sich, dass die Anlagen des Abwasserverbandes Morgental allgemein trotz des Alters von ca. 40 Jahren in einem guten Zustand sind, da Wartungs- und Reparaturmassnahmen turnusmäßig durchgeführt werden. Mittels der Checklisten konnten schnell konstruktive Schwachpunkte der Abwasseranlagen festgestellt werden. Die vorhandenen Schneckenpumpen sind robust gegen Verstopfungen, aber es besteht eine erhöhte Verletzbarkeit gegenüber differentiellen Setzungen. Aufgrund der ungünstigen Untergrundverhältnisse können differenzielle Setzungen nicht ausgeschlossen werden, die zu einer Störung des Betriebes führen könnten. Die Schneckenpumpen sind auf einem in Ortbeton ausgeführten Fundament gegründet, was die Gefährdung durch differentielle Setzungen reduziert. Ferner ist bei einem Pumpenschaden mit einem mehrmonatigen Ausfall des Hebewerkes zu rechnen, da die Reparatur einer Schneckenpumpe recht aufwendig ist. Hier ist zu überlegen, ob nicht mobile Schmutzwasserpumpen für einen Havariefall vorgehalten werden können bzw. dann zu Verfügung stehen, um zumindest den Trockenwetterabfluss abzuleiten. Eine gemeinsame Nutzung mit anderen Kanalnetzbetreibern kann die Effizienz der eingesetzten Mittel verbessern.

Die Spezialbauwerke des Kanalnetzes (Pump- und Hebewerke, Regenbecken, Abflussdrosselungen, Regenwassersiebe) werden durch die jeweiligen Elektrizitätswerke mit Strom versorgt. Bei Stromausfall stehen also nur diejenigen still, die durch das entsprechende, übergeordnete Elektrizitätswerk betroffen sind. Die Kläranlage ist in einem Ring eingebunden, wird also von zwei Trafostationen versorgt. Erst wenn das übergeordnete Elektrizitätsunterwerk der SAK ausfällt, erhält die Kläranlage keinen Strom mehr. Generell ist es wichtig, sich zu überlegen, welche Massnahmen im Falle eines langfristigen Stromausfalles ergriffen werden. Bei einem Erdbebenereignis ist mit Stromausfall zu rechnen.

Bei einigen Behältern und Aggregaten im Gebäude ist unklar, ob sie gegen Verrutschen bzw. Kippen gesichert sind. Andere Geräte sind verankert, während weitere Geräte bzw. Behälter durch verrutschen gefährdet sind. Freiliegenden Rohrleitungen sind im Allgemeinen fest montiert und weisen verformbare Zwischenstücke auf. Grundsätzlich sind konstruktive Sicherungs- bzw. Befestigungsmassnahmen empfohlen. Auch wenn keine Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit ergriffen werden, ist es empfehlenswert, Überlegungen zu einem Massnahmenkonzept nach einem Erdbebenereignis anzustellen. Dazu zählen das Vorhalten eventueller Havarie- und Reparaturmittel, die auch mit anderen Anlagenbetreibern in der ferner Umgebung (ab ca. 50 km) geteilt werden könnten.

den. Das Abwassersystem von Zürich ist auf 670'000 Einwohner-gleichwerte ausgelegt und hat einen Industrie- und Gewerbeanteil von etwa 40%.

Die Kanalisation der Stadt Zürich umfasst insgesamt ca. 930 km Leitungsnetz mit 280 Sonderbauwerken, davon 46 Pumpwerke, 25 Regenklärbecken, einige Dükerbauwerke und Hochwasserentlastungen sowie zahlreiche Schachtbauwerke. Die einzige Kläranlage in Zürich ist das Klärwerk Werdhölzli.

Bei der Diskussion der Funktionsanalyse der Kanalisation ergab sich, dass als Betriebsziel das Ableiten des Abwassers aus den Siedlungsgebieten gewährleistet sein muss. Aufgrund der Topographie der Stadt Zürich sind einige Pumpwerke im Kanalisationsnetz erforderlich. Den meisten Sonderbauwerken sind Hochwasserentlastungen vorgeschaltet, so dass beim Versagen der Funktion im Erdbebenereignisfall eine Ableitung des Abwassers direkt in die Vorflut erfolgt. Im Allgemeinen können für das bestehende Kanalisationsnetz die Anforderungen der Bauwerksklasse I gelten.

Bei der Bedeutungsanalyse der Kanalisation werden entsprechend der Funktionsanalyse die wichtigsten Pumpwerke, Düker und Hauptkanalisationsstränge in die hohe Bedeutungskategorie eingestuft. Die hydraulischen Anlagenteile des Kanalisationsnetzes müssen funktionstüchtig bleiben und der Abfluss des Abwassers muss gewährleistet sein. Alle übrigen Komponenten des Kanalisationsnetzes fallen in die niedrige Bedeutungskategorie. Für die Bedeutungsanalyse der Kanalisation in Zürich steht eine Datenbank zur Verfügung, in der die wichtigsten Informationen der Leitungen und Sonderbauwerke hinterlegt sind. Erdbebenspezifische Informationen sind nicht explizit abgelegt. Diese können aber problemlos aufgenommen werden.

Bei der Grobbeurteilung zeigte sich, dass die Sonderbauwerke der Kanalisation, wie Düker und Stollen, im Allgemeinen eine geringe Verletzbarkeit aufweisen, da es sich um unterirdische Bauwerke handelt. Der anstehende Limmatschotter in Zürich bildet einen guten Baugrund, und die Gefährdung durch Hangrutsche ist in weiten Bereichen der Stadt nicht gegeben. Die wichtigsten Rohrleitungen und Düker sind meist mit zwei Rohrleitungssträngen ausgeführt, so dass für Revisionsarbeiten eine Rohrleitung abgekoppelt werden kann. Vielen Sonderbauwerken, wie Dükerbauwerke unter der Limmat, sind Überlaufbauwerke vorgeschaltet. Im Hochwasser- bzw. Havariefall wird das Abwasser dann direkt in die Limmat ab- bzw. umgeleitet. Im Allgemeinen ist die Kanalisation in Zürich in einem guten Zustand. Entsorgung + Recycling Zürich verfügt über ein mobiles Notstromfahrzeug und mehrere stationäre Notstromanlagen.

Beim Gespräch zur Funktionsanalyse des Klärwerks Werdhölzli ergab sich als minimales Betriebsziel die Aufrechterhaltung der mechanischen Klärung. Zum mindesten der Durchfluss des Abwassers durch die mechanische Klärung muss sichergestellt sein, der durch ein hydrostatisches Gefälle erfolgt. Der Rechen muss seine Funktion aufrecht erhalten, da sonst der Zufluss zur Anlage verstopft. Ferner sollte die Faulung funktionstüchtig bleiben, da durch das produzierte Biogas elektrische Energie zur Eigenversorgung erzeugt wird. Beim Ausfall der Hebwerke innerhalb der Kläranlage fällt die biologische Klärung aus, und das mechanisch gereinigte Wasser wird in die Vorflut entlastet. Im Allgemeinen können für die bestehende Anlage die Anforderungen entsprechend der Bauwerksklasse I gelten.

Bei der Bedeutungsanalyse der Kläranlage wurde entsprechend der

Funktionsanalyse primär die mechanische Klärung und Faulung der hohen Bedeutung zugeordnet.

Bei der Grobbeurteilung des Klärwerks wurden die mechanische Klärung sowie die Tanks der Voreindickung überprüft. Es zeigte sich, dass eine verhältnismässig geringe Verletzbarkeit gegenüber Erdbeben vorliegt. Die Rechenanlage zeigt Schwächen bei der Energieversorgung. Die Trafoeinheit steht auf einem Rollen-Schiene-System und ist in eine Richtung beweglich gelagert, was zu einer erhöhten Verletzbarkeit bezüglich Abreissen der Leitungen führt (siehe Beispiel Abb. 3.20). Die Verankerung der Schaltschränke ist nicht offensichtlich erkennbar. Die Vorklärbecken und Tankbauwerke sind robust ausgeführt. Von den 4 Vorklärbecken sind meistens nur 3 in Betrieb und von den 5 Tanks der Eindickung sind immer nur 3 Tanks befüllt.

Die Kläranlage Werdhölzli besitzt eine doppelte Einspeisung der Energieversorgung von 2 Unterwerken. Es ist eine eigene Notstromversorgung (WKK's) vorhanden die einen reduzierten Klärbetrieb aufrecht erhalten kann (60 Min. gilt für USV). Ferner wird ca. 95% des Energiebedarfs für die ganze Stromversorgung des Klärwerks eigenständig in der Energiezentrale produziert. Dabei wird das Biogas aus der Faulung im Blockheizkraftwerk verbrannt. Im Falle eines externen Stromausfalles kann langfristig die mechanische Klärung und die Schlammbehandlung durch Notstromproduktion aufrecht erhalten werden.

#### *Erfahrungen mit den Checklisten*

Die Erfahrungen mit den Checklisten zur Grobbeurteilung zeigen, dass sie allgemein gut anwendbar sind, und prinzipiell ihr Ziel erreichen. Eine Verbesserung der Listen war jedoch erforderlich. Die überarbeitete Version der Checklisten liegt im Anhang C des Berichtes vor.

Für einen Nichterdbebenspezialisten sind die Fragestellungen der Checklisten zum Teil schwierig zu verstehen, und die nötigen Antworten können zum Teil nicht fachgerecht gegeben werden. Im Allgemeinen wird empfohlen, zu Beginn der Überprüfung der Erdbebensicherheit der Abwasseranlage einen Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen zur Beratung hinzuzuziehen.

#### *Zusammenfassung der Erfahrungen der Pilotstudie*

Die Pilotstudie zur Erprobung des Untersuchungskonzeptes zur Überprüfung der Erdbebensicherheit von Abwassersystemen konnte erfolgreich an drei Abwasseranlagen getestet werden. Die Überprüfung beinhaltete die Punkte Funktionsanalyse, Bedeutungsanalyse und Grobbeurteilung des Überprüfungskonzeptes zur Abschätzung des Handlungsbedarfes und zur Planung des weiteren Vorgehens zur Erhöhung der Erdbebensicherheit der Abwasseranlage. Dank der guten und konstruktiven Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kläranlagen bzw. Kanalisationsnetze der ARA Rhein AG, AV Murgental und ERZ konnten schnell einzelne Schwächen des im Entwurf vorliegenden Konzeptes aufgezeigt und verbessert werden. Ferner wurde die Studie vom VSA unterstützt und begleitet, der seine Erfahrungen bezüglich Praktikabilität und Anwendbarkeit der Konzepte hat einfließen lassen.

In der Funktionsanalyse wurden Betriebsziele und Anforderungen an Abwasseranlagen bei einer bestimmten Erdbebenanregung besprochen. Dabei werden verschiedene Aspekte berücksichtigt: die Art des Abwassers - kommunal oder industriell, ob es gereinigtes oder ungereinigtes Abwasser ist, die Art der Vorflut und die Grundwas-

sersituation. Weitere Aspekte können ebenfalls bei der Bedeutungsanalyse eine Rolle spielen, wie betriebliche, personelle und finanzielle Risiken. Allgemein können zum Nachweis die Standards nach SIA 260 und SIA 261 für Tragwerke gelten, sowie die Einhaltung konstruktiver Kriterien des erdbebensicheren Baues. Abwassersysteme bilden da keine Ausnahme. Als primäres Betriebsziel gilt das Aufrechterhalten des Abflusses des Abwassers. Die Hydraulik des Systems muss gewährleistet bleiben. Je nach Gefährdung, Art der Verunreinigung des Abwassers sowie die Art der Vorflut sind unterschiedliche Phasen der Abwasserreinigung aufrechtzuerhalten.

Prinzipiell ist festzuhalten, dass von Abwasseranlagen mit überwiegend industriellen und gewerblichen Abwässern ein erhöhtes Gefahrenpotential als von kommunalen Anlagen ausgeht. Dementsprechend sollten die Anforderungen für bestehende Anlagen höher sein. Dies spiegelt sich primär in einem strengeren Betriebsziel nach Erdbebeneinwirkung wieder.

Neue und bestehende Abwasseranlagen werden im Allgemeinen nach SIA 261 in die Bauwerksklasse II eingeteilt. Damit ist die Stärke der Erdbebenanregung definiert. In besonderen Fällen und bei einer erhöhten Gefährdung der Umwelt im Vergleich zur Normalsituation ist eine Einstufung in eine höhere Bauwerksklasse möglich. Bei Industriekläranlagen sollte die Einstufung der Bauwerksklasse der des Produktionsprozesses entsprechen.

Bei der Analyse der Bedeutung einzelner Abwasseranlagenkomponenten kann entsprechend der Funktionsanalyse rasch eine Einordnung in die Kategorien hohe oder geringe Bedeutung vorgenommen werden. Die Kriterien der Bedeutung orientieren sich am Erreichen des geforderten Betriebsziels. Günstig erwies sich hierbei die Nutzung von Datenbanken bzw. das Anlegen von Übersichten, um schnell eine Klassierung der Komponenten vorzunehmen zu können. Die Beurteilung einzelner Anlagenkomponenten mittels Checklisten zeigte schnell, dass die Grobbeurteilung der Komponenten ein tragfähiges Konzept ist. Die Fragebögen wurden weitgehend überarbeitet, entsprechend der aufgetretenen Mängel.

Bei sich abzeichnendem Handlungsbedarf von Ertüchtigungsmaßnahmen bezüglich Erdbeben ist es wichtig, die Verhältnismässigkeit der Massnahmen zu berücksichtigen. Kriterien bei der Einschätzung sind das Gefahrenpotential, konstruktive Ausführung, Alter, Nutzungsdauer und Zustand der Anlage. Allfällig können Ergänzungsmassnahmen vorgesehen werden. Eine frühzeitige Abstimmung der Aufsichtsbehörde mit dem Betreiber ist unerlässlich. Prinzipiell sollte man sich auf die wesentlichen Punkte konzentrieren, um ein effizientes Vorgehen bei der Erhöhung der Erdbebensicherheit von Abwassersystemen zu ermöglichen.

Ein wesentlicher Problempunkt ist die elektrische Energieversorgung nach einem Erdbebenereignis. Bei Stromausfall kommt es häufig auch zum Ausfall des kompletten Abwasserreinigungsprozesses und oft auch zum Unterbruch der Abwasserleitung aus Siedlungsgebieten durch Ausfall von Pump- und Hebwerken. Die Anforderungen an die Energieversorgung sind im Allgemeinen höher als an Abwassersysteme, aber nach einem Erdbebenereignis ist mit Stromausfall zu rechnen. Dieses Szenario ist bei einer Erdbebensicherheitsuntersuchung mit zu berücksichtigen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Schweizerische Abwasseranlagen im Allgemeinen recht robust gebaut sind und eine geringe Verletzbarkeit gegenüber Erdbeben zeigen. Mit einfachen

konstruktiven Massnahmen lässt sich die punktuell die Sicherheit gegen Erdbeben erhöhen. Zu solchen Massnahmen zählen das Verankern von Schaltschranken, Geräten und Behältern mit Befestigungsmitteln in Wänden und im Boden sowie die Absturzsicherung von Kranbahnen. Solche Sicherungsmassnahmen können mit geringem Mehraufwand bei turnusmässigen Inspektionen bzw. Wartungsarbeiten durchgeführt werden und bedürfen keiner vertieften Überprüfung der Erdbebensicherheit. Bei automatisch gesteuerten Abwasseranlagen kann ein Erdbebensor installiert werden, der im Erdbebenfall die mechanischen Elemente der Anlage, wie Räumer in Klärbecken, abschaltet, damit eine Schädigung durch unkontrolliertes Weiterlaufen verhindert wird. Nach einer Inspektion der abgeschalteten Komponenten erfolgen eine zügige Freigabe und die Wiederaufnahme des normalen Betriebs.

Abschliessend ist anzumerken, dass für kommunale Abwasseranlagen in der Erdbebenzone 1 nach SIA 261 bei guter Wartung und regelmässigem Unterhalt ein geringer Handlungsbedarf zu Erbenebertüchtigung besteht. Oben angemerkt konstruktive Aspekte der Erdbebensicherung sollten jedoch berücksichtigt werden.

## 8 Handlungsbedarf

Die vorliegende Studie hat den Handlungsbedarf bezüglich der Verbesserung der Erdbebensicherheit Schweizerischer Abwassersysteme aufgezeigt. Der Bericht stellt Instrumentarien zur Verfügung, mit denen die Erdbebensicherheit neuer und bestehender Abwasseranlage verbessert werden kann:

- Empfehlungen bezüglich Neubauten, Einrichtungen und Prozessanlagen, Unterhalt sowie Vorsorge und Ereignisbewältigung (Anhang A)
- Relevanzbeurteilung zum Erkennen einer erhöhten Umweltgefährdung (Anhang B)
- Überprüfungskonzept zur Beurteilung der Erdbebensicherheit und Massnahmenplanung (Kapitel 7 mit Anhang C)

Die erarbeiteten Empfehlungen sollten von Anlagenbetreibern berücksichtigt und umgesetzt werden. Die konstruktiven Grundsätze und die Aspekte zur Prävention gelten für Neubauten und bestehende Anlagen. Betreiber von Anlagen erkennen eine erhöhte Umweltgefährdung anhand der Relevanzbeurteilung ihrer Anlage. Diese Beurteilung geschieht im Interesse des Betreibers oder kann von einer Behörde verlangt werden. Sie zeigt an, ob eine vertiefte Überprüfung der Erdbebensicherheit sinnvoll ist. Auch wenn nach einer Relevanzbeurteilung zur Erdbebensicherheit keine vertiefte Überprüfung einer bestehenden Anlage notwendig ist, sollten die Empfehlungen Anwendung finden. Ferner beinhaltet die vorliegende Studie mit dem Überprüfungskonzept ein weiteres Werkzeug zur effizienten Überprüfung bestehender Abwasseranlagen und zur Planung konstruktiver und betrieblicher Sicherungsmassnahmen.

Mit dieser Studie soll auch das Bewusstsein gegenüber der Erdbebenproblematik und die Selbstverantwortung bei allen Beteiligten im Bereich Abwasser und Gewässerschutz gefördert werden. Folgende Punkte sind dabei von Bedeutung:

- Der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) greift die Ergebnisse der vorliegenden Studie auf und sensibilisiert die Betreiber von Abwasseranlage mit einer eigenen Informationsstrategie. In diesem Zusammenhang sind auch die Herausgabe einer VSA-Empfehlung sowie die Entwicklung eines Weiterbildungsprogramms geplant.
- Bei kantonalen Behördenstellen sollen die Informationsgrundlagen bezüglich Erdbebensicherheit verbessert werden, da sie die direkten Ansprechpartner der Anlagenbetreiber sind. Überlegungen zur Erdbebensicherheit sollten in behördliche Verfahren Eingang finden. Aspekte zu Mindestanforderungen, Anwendung und Umsetzung der Instrumentarien sowie Qualitätssicherung sollten aktiv auf kantonaler Ebene thematisiert werden.

Prinzipielle sollten alle Anlagenbetreiber einfache konstruktive Aspekte der Erdbebensicherung berücksichtigen und umsetzen. Es ist anzumerken, dass aufgrund der Robustheit der Systeme für kommunale Abwasseranlagen in der Erdbebenzone 1 nach SIA 261 bei guter Wartung und regelmässigem Unterhalt ein geringer Handlungsbedarf zu Erbebenertüchtigung besteht.

## 9 Literatur

### Technische Regelwerke und Richtlinien

- ALA 2002. Seismic Design and Retrofit of Piping Systems, American Lifeline Alliance, Federal Emergency Management Agency (FEMA), American Society of Civil Engineers (ASCE), ed. Antaki, G., Aiken, SC..
- ALA 2004. Guide for Seismic Evaluation of Active Mechanical Equipment. American Lifeline Alliance, National Institute of Building Sciences, Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- ALA 2005. Seismic guidelines for water pipelines. American Lifeline Alliance, National Institute of Building Sciences. Eidinger, J. ed., G&E Engineering Systems Inc. Oakland CA.
- ASCE 1983. Advisory Notes on Lifeline Earthquake Engineering. American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. Nueva York: ASCE.
- ASCE 1984. Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems. American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Gas and Liquid Fuels Committee. Douglas Nyman, ed. Nueva York: ASCE.
- ASCE 1991. Seismic Loss Estimates for a Hypothetical Water System – A Demonstration Project, American Society of Civil Engineers, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Water and Sewage and Seismic Risk Committees. Monograph No. 2. Craig Taylor, ed. Nueva York: ASCE.
- ASCE 1992a. Lifeline Earthquake Engineering in the Central and Eastern U.S., Monograph No. 5. Donald Balamtyne, ed. Nueva York: ASCE.
- ASCE 1992b. Pressure Pipeline Design for Water and Wastewater. American Society of Civil Engineers, Pipeline Division, Committee on Pipeline Planning. Nueva York: ASCE.
- ATC 1991. Seismic Design and Performance of Equipment and Nonstructural Elements in Buildings and Industrial Structures. Applied Technology Council, Report No. ATC-29. Financiado por el National Center for Earthquake Engineering Research and the National Science Foundation. Redwood City, California.
- AWWA 1984. Standard for Welded Steel Tanks for Water Storage. ANSI/AWWA D100-84, American Water Works Association. Denver, Colo.: AWWA.
- AWWA 1986. Standard for Wire-Wound Circular Prestressed-Concrete Water Tanks. ANSI/AWWA D110-86, Denver, Colo.: AWWA.
- AWWA 1987. Standard for Factory-Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage. ANSI/AWWA D103-87, American Water Works Association. Denver, Colo.: AWWA.
- AWWA 1988. American National Standard for Ductile-Iron Compact Fittings, 3 In. Through 16 In., for Water and Other Liquids. ANSI/AWWA C153/A21.53-88, American Water Works Association. Denver, Colo.: AWWA. 103
- AWWA 1990. "Behavior/Design of Plants Subjected to Earthquakes", Water Treatment Plant Design, American Society of Civil Engineers, American Water Works Association. 2da. Edición. Nueva York: McGraw-Hill.
- AWWA 1994. Emergency Planning for Water Utility Management. AWWA Manual M19, American Water Works Association. Denver, Colo.: AWWA.
- DWA, ATV-DVWK Regelwerk: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; DWA Bundesgeschäftsstelle, Theodor-Heuss-Allee 17, D-53773 Hennef
- DVGW Regelwerk: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Technisch-wissenschaftliche Vereinigung, Postfach 14 03 62, D-53058 Bonn, Vertrieb: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Postfach 140151, 53056 Bonn
- EN 1998-1 (2006) Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. Europäische Norm, Europäisches Komitee für Normung.
- EN 1998-4 (2007) Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen. Europäische Norm, Europäisches Komitee für Normung.
- EN 1998-5 (2006) Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte. Europäische Norm, Europäisches Komitee für Normung.
- FEMA 1985. Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide. Earthquake Hazards Reduction Series 1. Federal Emergency Management Agency. Washington D.C.
- FEMA 1988. Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Earthquake Hazards Reduction Series 41. Federal Emergency Management Agency. Washington D.C.:
- FEMA 1991. Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Coterminous United States, Earthquake Hazard Reduction Series 58. Washington D.C.:
- FEMA 1993. A Model Methodology for Assessment of Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Water Supply Systems. Earthquake Hazard Reduction Series. Federal Emergency Management Agency. Washington D.C.:
- FEMA 1998. Handbook for the seismic evaluation of buildings - a prestandard, American Society of Civil Engineers FEMA 310, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

- FEMA 2001a. Building Seismic Safety Council, NEHRP, Recommended provision for seismic regulations for new buildings and other structures, Part 1 - provisions, 2000 Edition, FEMA 368, Federal Emergency Management Agency, March 2001.
- FEMA 2001b. Building Seismic Safety Council, NEHRP, Recommended provision for seismic regulations for new buildings and other structures, Part 2 - Commentray, 2000 Edition, FEMA 368, Federal Emergency Management Agency, March 2001.
- ICMA 1991. Emergency Management: Principles and Practice for Local Government. Washington, D.C.: International City Management Association.
- JSCE 1988. Earthquake Resistant Design for Civil Engineering Structures in Japan. Tokio, Japan Society of Civil Engineers, Earthquake Engineering Committee. Japan.
- JSCE 2000. Earthquake Resistant Design Codes in Japan. Japan Society of Civil Engineers, Earthquake Engineering Committee, Tokio, Japan.
- ÖVGW Regeln Wasser: Verband Gas & Wasser, Schubertring 14, A 1010 Wien
- SIA (1980) Kanalisationen, Schweiz. Ingenieur und Architektenverein, Dokumentation 38
- SIA (1982) Sonderbauwerke der Kanalisationstechnik I, 2. Aufl., Schweiz. Ingenieur und Architektenverein, Dokumentation 40
- SIA (1982) Sonderbauwerke der Kanalisationstechnik II, Schweiz. Ingenieur und Architektenverein, Dokumentation 53
- SIA (1993) Kanalisationen 4, Schweiz. Ingenieur und Architektenverein, Dokumentation D 0100
- SIA 190 Kanalisationen
- SIA 190.203 Verlegen und Prüfen von Abwasserleitungen und -kanälen
- SIA 260 (2003) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 261 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 262 (2003) Betonbau, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 263 (2003) Stahlbau, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 264 (2003) Stahl-Beton-Verbundbau, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 266 (2003) Mauerwerk, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 267 (2003) Geotechnik, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA 405 (1998) GEO405 Geoinformationen zu unterirdischen Leitungen. SN 500 405, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA Merkblatt 2015 (2005) GEO405 Daten- und Darstellungskataloge für unterirdische Leitungen. Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA Merkblatt 2016 (2005) GEO405 Datenmodelle und Datenaustausch für unterirdische Leitungen. Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SIA Merkblatt 2018 (2004) Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein
- SN 592 000 (2002) Planung und Erstellung von Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung.
- SN 640 350 (1969), 640 351 (1970), 640 352 (1970), Oberflächenentwässerung von Strassen - Regenintensität - Anlaufzeit - Abflussmengen.
- SVGW Regelwerk: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Grütlistr. 44, Postfach 658, CH-8027 Zürich
- VSA (2003a) Erhaltung von Kanalisationen - Dokumentationsordner I; Dokumentationsordner 1/2; Normen, Richtlinien und Dokumentationen, Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
- VSA (2007a) Betrieblicher Unterhalt von Entwässerungsanlagen; Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
- VSA (2007b) Erhaltung von Kanalisationen - Dokumentationsordner II; Dokumentationsordner 2/2, Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
- VSA (2007c) Zustandsbeurteilung von Entwässerungsanlagen, Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

## Veröffentlichungen

- ASCE (1999) "Lifelines performance Kocaeli Turkey Earthquake, August 17, 1999", American Society of Civil Engineering, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, A Preliminary Reconnaissance Survey, 1999.
- Ballantyne, D.B. 1991. Lifelines, Costa Rica Earthquake of April 22, 1991 Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement B to Volume 7. Oakland, Calif.: Earthquake Engineering Research Institute.
- Barlett, S.F. and T.L. Youd. 1992. Empirical Prediction of Lateral Spread Displacements. Proceedings from the Fourth Japan-U.S. Workshop from Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Volume 1. pp 351-365. M. Hamada and T.D. O'Rourke, eds. National Center for Earthquake Engineering Research Technical Report No. 92-0019.
- Buckle, I. and J. Jirsa. 1993. Mitigation of Damage to the Built Environment, Monograph No. 2. Preparado para la 1993 National Earthquake Conference, Central United States Earthquake Consortium, Memphis, Tenn.
- Building Officials and Code Administrators International. BOCA/Basic Building Code. Homewood, Ill. (Tri-Service Manual) Army Technical Manual No. 5-809-10, NAVFAC P-355, Air Force Manual No. 88-3, Capítulos 10-13.
- Candinas T, Chassot G, Besson J-M, Lischer P (1991) Nutz- und Schadstoffe im Klärschlamm, Schweiz. Landw. Fo., 30 (1/2), 45 – 59
- DHA (1993) "Egyptian Earthquake of 12 October 1992, Joint Mission for the Assessment of Structural Damage; Conclusions & Recommendations; Case Study and Analysis"; Geneva, Department of Humanitarian Affairs, United Nations, Geneva, 1993; p. 21
- Edwards, C. (2006) "Thailand Lifelines after the December 2004 Great Sumatra Earthquake and Indian Ocean Tsunami" Earthquake Spectra, Vol. 22, No. S3, S641–S659, June 2006.
- EERI (1985) "The Morgan Hill, California Earthquake of April 24, 1984", Earthquake Engineering Research Institute, Earthquake Spectra, May 1985, Vol. 1, Nr. 3, p. 621.
- EERI (1986) "The Chile earthquake of March 3, 1985", Earthquake Engineering Research Institute, Earthquake Spectra February 1986, Vol. 2, Nr. 2, p. 446.
- EERI (1987) "The San Salvador Earthquake of October 10, 1986", Earthquake Engineering Research Institute, Earthquake Spectra, Vol. 3, No. 3, August 1987.
- EERI (1989) "Special Supplement Armenia Earthquake Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, August 1989, p. 131-132.
- EERI (1990) "Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report", Earthquake Engineering Research Institute, Earthquake Spectra, Supplement to Volume 6, May 1990, pp. 259-265.
- EERI (1993) "Erzincan, Turkey Earthquake of March 13, 1992 Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, Supplement to Volume 9, July 1993, p. 118.
- EERI (1995a) "Northridge Earthquake of January 17, 1994 Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Report, Volume 1." Earthquake Spectra, Supplement C to Vol. 11, April 1995, p. 171-176.
- EERI (1995b) "Guam Earthquake of August 8, 1993 Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, Supplement B to Volume 11, April 1995, p. 147-148.
- EERI (1995c) "Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake and Tsunami of July 12, 1993 Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 11, April 1995, p. 123-124.
- EERI (2001), "Chi-Chi, Taiwan, Earthquake of September 21, 1999, Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 17, April 2001, p. 157-158.
- EERI (2002), "Bhuj, India Earthquake of January 26, 2001 Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 18, July 2002, p. 356-357.
- EERI (2003) "Preliminary Observations on the Tokachi-Oki, Japan, Earthquake of September 26, 2003", Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, December 2003
- EERI (2007a) "Learning from Earthquakes: The Pisco, Peru, Earthquake of August 15, 2007", Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, Oktober 2007
- EERI (2007b) "Learning from Earthquakes: preliminary observations on the Niigata-Chuetsu Oki, Japan, Earthquake of July 16, 2007", Earthquake Engineering Research Institute, Special Earthquake Report, September 2007
- Eidinger, J.M. & Avila, E.A., Guidelines for the seismic evaluation and upgrade of water transmission facilities, Technical Council of Lifeline Earthquake Engineering Monograph No. 15, American Society of Civil Engineers, 1999.
- Elliott W M, McDonough P 1999. Optimisation post-earthquake lifeline system rehabilitation, Proceedings of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Seattle Washington. ASCE. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 16.
- Hamada M, O'Rourke T 1992. Thoughts on a Pipeline Design Standard Incorporating Countermeasures for Permanent Ground Deformation. Extraído de Proceedings from the Fourth Japan-U.S. Workshop on Earth-

- quake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction. NCEER Technical Report 9200019.
- Heubach W F 2002. Seismic screening checklists for water and wastewater facilities. ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. Monograph No. 22.
- Hörler A, Rhein H R (1962) Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz, Schweiz. Z. Hydrologie, XXIV, S. 291-352.
- Hörler A. (1966) Kanalisation, Ingenieurhandbuch, 78. Ausg., Band II, Schweiz. Verlagshaus AG
- Hörler A (1967) Gefällewechsel in der Kanalisationstechnik bei Kreisprofilen, Schweiz. Z. Hydrol., 29:2, 387 - 426.
- Hosang/Bischof W (1998) Abwassertechnik, 11.Aufl, Teuber Verlag.
- Hu, D.P. & Eguchi, R.T. (1999) Seismic risk evaluation and improvement program for MWWD, City of San Diego. Optimizing post-earthquake lifeline system reliability, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 16, eds Elliott & McDonough pp. 237-246.
- Hutchinson, T., Hoehler, M., Gastelum, A., Watkins D. & Wood, R. (2010) "Observations from the Sierra El Mayor earthquake (orthern Baqia California Earthquake) Earthquake Engineering Research Institute Reconnaissance Report, April 2010.
- Illi, M (1987) Von der Schüssgrub zur modernen Stadtentwässerung, Verlag NZZ
- Imhoff K und K R (1999) Taschenbuch der Stadtentwässerung, 29.Aufl, Oldenbourg
- Kawashima K, Sugita H, Nakajima T 1992. Monitoring, Instrumentation and Innovative Devices for Lifeline Systems. Presentado el 26-2-27 octubre de 1992 en el Fifth U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Tsukuba, Japón.
- Kayen, Robert, Collins, Brian, Abrahamson, Norm, Ashford, Scott, Brandenberg, Scott J., Cluff, Lloyd, Dickenson, Stephen, Johnson, Laurie, Tanaka, Yasuo, Tokimatsu, Kohji, Kabeyasawa, Toshimi, Kawamata, Yohsuke, Koumoto, Hidetaka, Marubashi, Nanako, Pujol, Santiago, Steele, Clint, Sun, Joseph I., Tsai, Ben, Yanev, Peter, Yashinsky, Mark, and Yousook, Kim, (2007). Investigation of the M6.6 Niigata-Chuetsu Oki, Japan, earthquake of July 16, 2007: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1365, 230 p. [<http://pubs.usgs.gov/of/2007/1365/>]
- Kennedy/Jenks/Chilton. 1990a. 1989 Loma Prieta Earthquake Damage Evaluation of Water and Wastewater Treatment Facility Nonstructural Tank Elements, Report No. 896086.00. Preparado para la National Science Foundation.
- Kennedy/Jenks/Chilton.1990b. Earthquake Loss Estimation Modeling of the Seattle Water System. Report No. 886005.00. Federal Way, Wash.:
- Kennedy/Jenks/Chilton 1991. Liquefaction Study, Marina District, San Francisco, California. Harding Lawson Associates, Dames & Moore, Preparado para el City and County of San Francisco Department of Public Works.
- Kobayashi, H, Tamura, K. & Kaneko, M. (1999) Experimental study on floating characteristics if a sewer due to soil liquefaction and its countermeasures. Optimizing post-earthquake lifeline system reliability, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 16, eds Elliott & McDonough pp. 227-236.
- Kropf A (1955) Die Spezialbauwerke der Kanalisation, Schweiz. Bauzeitung, 73:27, 413 - 418.
- Kummert R, Stumm W (1992) Gewässer als Ökosysteme, 3 Aufl., vdf / Teubner
- Lehmann M (1994) Volkswirtschaftliche Bedeutung der Siedlungswasserwirtschaft, GWA, 6/74, 442
- Lund, L., G. Laverty, and D.B. Ballantyne et al. 1990. Water and Sewage Systems. Lifeline Chapter in the Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report, Earthquake Spectra of the Earthquake Engineering Research Institute, Suplemento del Volumen 6.
- Marxer, G., Kunz, J., Schoch, M. and Schuler, D. (2003) Earthquake Resistant Installations - Guideline for earthquake resistant design of installations and nonstructural elements, Hilti Corp., Schaan, December 2003
- NISEE (2010) Bildersammlung Steinbrugge Collection des National Information Service for Earthquake Engineering, UC Berkely, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Earthquake Engineering Library.
- NIST (1996), "The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, Performance of Structures, Lifelines, and Fire Protection Systems"; United States Department of Commerce; Technology Administration; National Institute of Standards and Technology, Special Publication 901 (ICSSC TR18), July 1996.
- O'Rourke, M.J., and C. Nordberg. 1992. Longitudinal Permanent Ground Deformation Effects on Buried Continuous Pipelines. NCEER-92-0014. Buffalo, N.Y.
- Obrist A (1989) Technik der Klärschlammverbrennung, Mitteilungen der Eawag 28, 26-31
- PWRI (1979), "Functional damage and rehabilitation of lifelines in the Miyagiken-Oki Earthquake of 1978", Revised Edition, August 1979, Earthquake Engineering Division, Earthquake Disaster Prevention Department, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan. Technical Memorandum No. 1438.
- Reinhold, F. (1940) Regenspenden in Deutschland (Grundwerte für die Entwässerungstechnik) Archiv für Wasserwirtschaft Nr. 56 und Gesundheitsingenieur (Jg. 63)

- Sasaki, T., Koseki, J., Matsuo, O., Saito, K. & Yamashita, M. (1999) Analysis of damage to sewer pipes in Shibusetsu Town during the 1994 Hokkaido-Toho-Oki earthquake. Optimizing post-earthquake lifeline system reliability, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 16, eds Elliott & McDonough pp. 247-256.
- Scawthorn, C.I, Miyajima, M., Ono, Y., Kiyono, J & Hamada, M. (2006) "Lifeline Aspects of the 2004 Niigata Ken Chuetsu, Japan, Earthquake." Earthquake Spectra, Vol. 22, No.S1, S. 89–S110, March 2006;
- Schiff A J, Saxena S K, Sharpe B, Acacio A, Wennerberg L, Moore T A, Farrar C R, Farah A, Ballantyne Kennedy D, Tang A, McLaughlin J 1991. Water, Sewer, and Hydro System Damage, Philippine Earthquake Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 7. Oakland, Calif.: Earthquake Engineering Research Institute.
- Schilling W (1990) Operationelle Siedlungsentwässerung, Oldenbourg
- Seed, H.B., & R.V. Whitman. 1970. Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads. Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures. Pp 103-147. Nueva York, N.Y.: American Society of Civil Engineers.
- Sheet Metal and Air Condition Contractors National Association Inc. Seismic Restraint Task Force. 1991. Seismic Restraint Manual Guidelines for Mechanical Systems. Chantilly, Va.
- Sieker F (2002) Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten, 2. Aufl., Expert Verlag Renningen.
- Slemmons, D. 1977. Faults and Earthquake Magnitude. Report 6 in State of the Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States. Misc. paper S 73-1. US Army Engineering Water Ways Experiment Station.
- Sorensen, J., Earthquake assessment to mitigate sewer system damage.
- Tanaka S, Ogawa F 1997. Damages to waste water systems. Report on the disaster caused by the 1995 Hyogo-Nanbu earthquake. Journal of Research. Public Works Research Institute. Vol. 33. Ministry of Construction.
- Taylor C, Mittler E, Lund L V 1998. Overcoming barriers: lifeline seismic improvement programs. ASCE. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. Monograph No. 13.
- Vischer D, Huber A (1993) Wasserbau, 5.Aufl, Springer Lehrbuch
- Volkart P (1993) Hydraulische Bemessung, SIA Dokumentation D 0100
- Whipple and Horwood zitiert in Fair, Geyer and Okun, Water and Wastewater Engineering, Vol 1, John Wiley & Sons, 1966
- Youd, T.L. and D.M. Perkins. 1987. Mapping of Liquefaction Severity Index. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE). 113(11): 1374-1392.

## **Anhang A**

### **Empfehlungen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Gefährdung, Zielsetzung und Geltungsbereich der Empfehlung.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Neubauten .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Anforderungen an Neubauten.....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Tragwerksplanung .....	4
2.1.2 Funktionstüchtigkeit.....	4
2.1.3 Kosten der Erdbebensicherheit.....	4
<b>2.2 Vorgehen bei der Planung.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Checkliste für den Planer von Abwasseranlagen .....	5
2.2.2 Checkliste für den Anlagenbetreiber .....	5
<b>2.3 Konstruktive Grundlagen des erdbebensicheren Entwurfes.....</b>	<b>6</b>
2.3.1 Grundregeln für Hochbauten .....	6
2.3.2 Baugrundkundung .....	6
2.3.3 Abstimmung von Tragwerk und nichttragenden Bauteilen.....	7
2.3.4 Einrichtungen und Prozessanlagen.....	7
<b>3 Einrichtungen und Prozessanlagen .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Internationale Erfahrungswerte.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Tragwerksplanung.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Funktionstüchtigkeit.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Erdbebensicherer Entwurf von Einrichtungen und Prozessanlagen.....</b>	<b>8</b>
3.4.1 Rohrleitungen .....	8
3.4.2 Apparaturen .....	12
3.4.3 Kranbahnen .....	14
3.4.4 Steuereinheiten .....	14
3.4.5 Abgehängte Systeme .....	15
3.4.6 Aufgestellte Fussböden .....	15
<b>3.5 Stromversorgung .....</b>	<b>16</b>
<b>3.6 Lagergut.....</b>	<b>17</b>
<b>3.7 Automatische Systeme .....</b>	<b>18</b>
<b>4 Unterhalt .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Vorgehen zur Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Abwasseranlagen....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Umsetzen von Massnahmen im Rahmen des Unterhalts .....</b>	<b>19</b>
<b>5 Vorsorge und Ereignisbewältigung .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1 Vorsorge und Einsatzplanung .....</b>	<b>20</b>
5.1.1 Sicherheitsmassnahmen.....	20
5.1.2 Ermittlung des Reparaturbedarfs und dessen Priorisierung .....	20
5.1.3 Vorratshaltung für den Ereignisfall .....	21
5.1.4 Energieversorgung nach einem Erdbebenereignis .....	21
5.1.5 Notfallplanung und Ausbildung in Katastrophenbewältigung .....	21
5.1.6 Kommunikation im Ereignisfall .....	22
<b>5.2 Instandstellung und Wiederaufbau.....</b>	<b>22</b>
5.2.1 Priorität.....	22
5.2.2 Vorgehen .....	22
5.2.3 Erfahrungen .....	22
<b>6 Referenzen.....</b>	<b>24</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Gefährdung, Zielsetzung und Geltungsbereich der Empfehlung

In der ganzen Schweiz kann es Erdbeben geben, wobei die seismische Gefährdung regional unterschiedlich ist. In der Schweiz muss alle 10 Jahre mit einem lokalen Schadenserdbeben der Magnitude 5, alle 100 Jahre mit einem regionalen Schadenserdbeben der Magnitude 6 sowie alle 1000 Jahre mit einem zerstörerischen überregionalen Erdbeben der Magnitude 7 gerechnet werden. So sind starke Erdbebenereignisse, wie das Erdbeben in Basel 1356, sehr selten. Aufgrund der dichten Besiedlung und der hohen Dichte an Sachwerten stellen Erdbeben das grösste Schadenspotential unter den Naturgefahren in der Schweiz dar. Die Problematik der Erdbebensicherheit ist somit auch bei Anlagen der Abwassersysteme zu berücksichtigen.

Die vorliegende Empfehlung hat zum Ziel, die Erdbebensicherheit Schweizerischer Abwassersysteme entsprechend nach dem modernen Stand der Technik zu gewährleisten. Die Empfehlung gilt allgemein für alle neu zu errichtenden Anlagen oder Anlagenkomponenten sowie bei Überprüfung, Wartung, Umbau, Sanierung und Ertüchtigung bestehender Anlagen. Sie enthält prinzipielle Punkte der Vorsorge und der Ereignisbewältigung.

Die Empfehlung gilt allgemein für alle Betreiber von Abwasseranlagen und dient als Instrument zur Verbesserung der Erdbebensicherheit der Abwassersysteme in baulich-konstruktiver und betrieblicher Hinsicht.

## 2 Neubauten

Grosse Teile der folgenden Darlegungen in diesem Kapitel entstammen den Publikationen Bachmann (2002, 2006) für Hochbauten mit einigen Ergänzungen für Abwasseranlagen.

### 2.1 Anforderungen an Neubauten

#### 2.1.1 Tragwerksplanung

In der Schweiz gibt es eine Reihe von Tragwerksnormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA, die moderne Gesichtspunkte des erdbebensicheren Bauens berücksichtigt. Bei der Anwendung der SIA-Normen wird ein Sicherheitsniveau erreicht, das internationalen Standards entspricht. Neubauten sollten unbedingt gemäss den SIA-Normen erdbebensicher geplant und gebaut werden. Dabei sind folgende Tragwerksnormen für Abwasseranlagen relevant:

- SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 262 Betonbau
- SIA 263 Stahlbau
- SIA 264 Stahl-Beton-Verbundbau
- SIA 266 Mauerwerk
- SIA 267 Geotechnik

#### 2.1.2 Funktionstüchtigkeit

Die SIA-Tragwerksnormen fordern im Allgemeinen keinen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Abwasseranlagen, weil diese im Normalfall in die Bauwerksklasse II nach SIA 261 eingeteilt sind. Da Abwassersysteme aber eine bedeutende Infrastrukturfunktion erfüllen, müssen nach SIA 261 Abschnitt 16.4 und 16.7 Bauteile und Komponenten sowie deren Verbindung, Befestigung und Verankerung auf Erdbeben bemessen werden, wenn diese Komponenten bei Versagen den Betrieb der Anlage beeinträchtigen. Die Funktionstüchtigkeit der Anlage ist somit im Erdbebenfall sicherzustellen. Dies erfolgt über den Nachweis der Lagesicherheit gegen Gleiten, Kippen und Abreissen von Prozessinstallationen und Anlagenteile.

#### 2.1.3 Kosten der Erdbebensicherheit

Die Mehrkosten für erdbebensicheres Bauen hängen entscheidend davon ab, wie der Planer und Bauingenieur beim konzeptionellen Entwurf der Bauwerke, Prozessanlagen und Installationen vorgeht und welche Verfahren zur Berechnung, Bemessung und konstruktiven Gestaltung angewendet werden. Einen Einfluss auf die Mehrkosten der Erdbebensicherheit haben ferner die Erdbebenzone des Standorts und der lokale Baugrund.

Von entscheidender Bedeutung ist, dass der Planer und der Bauingenieur von Beginn an eng zusammenarbeiten und die modernen Grundsätze des erdbebengerechten konzeptionellen Entwurfs umsetzen. Danach bemisst der Bauingenieur nach den Normen die Tragstruktur und die Sicherung der Bauteile und Installationen und legt die konstruktiven Details fest. Unter diesen Voraussetzungen betragen die Mehrkosten für erdbebensicheres Bauen im Hochbau erfahrungsgemäss zwischen 0 % und 1 % der Baukosten.

## 2.2 Vorgehen bei der Planung

### 2.2.1 Checkliste für den Planer von Abwasseranlagen

- Machen Sie den Anlagenbetreiber darauf aufmerksam, dass die Mehrkosten für erdbebensicheres Bauen minimal sind und die einfachste und wirksamste Lösung resultiert, wenn der Bauingenieur bereits zu Beginn des Planungsprozesses beigezogen wird.
- Sorgen Sie dafür, dass in der Nutzungsvereinbarung gemäss SIA 260 die Thematik Erdbeben ausdrücklich behandelt wird und die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten klar geregelt sind.
- Erarbeiten Sie zusammen mit dem Bauingenieur – unter Realisierung der Grundsätze für den erdbebengerechten konzeptionellen Entwurf – die technisch und betrieblich optimale Lösung für die Erdbebensicherung des Tragwerks und der Prozessinstallationen.
- Erklären Sie – zusammen mit dem Bauingenieur – dem Anlagenbetreiber die für die Erdbebensicherung vorgesehenen baulichen Massnahmen.
- Während der Ausführungsplanung nehmen Sie davon Kenntnis und diskutieren Sie mit dem Bauingenieur die Konkretisierung der vorgesehenen baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung.
- Bei Planänderungen und insbesondere bei der Festlegung von Aussparungen im Tragwerk (Heizung, Lüftung, Klima) sorgen Sie dafür, dass diese immer mit dem Bauingenieur abgesprochen werden.
- Zu Beginn der Bauausführung stellen Sie sicher, dass die Bauleitung über die baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung orientiert ist, und – zusammen mit dem Bauingenieur – dass die erforderlichen Kontrollen durchgeführt werden.
- Sorgen Sie dafür, dass die baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung bei den zu archivierenden Bauakten angemessen dokumentiert sind.

### 2.2.2 Checkliste für den Anlagenbetreiber

- Legen Sie fest, dass der erdbebengerechte Entwurf und die Einhaltung der relevanten SIA-Normen zur Leistung von Planer und Bauingenieur gehören.
- Überzeugen Sie sich, dass in der Nutzungsvereinbarung gemäss SIA 260 die Thematik Erdbeben ausdrücklich behandelt wird und die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten klar geregelt sind.
- Sorgen Sie dafür, dass der Bauingenieur bereits zu Beginn des Projektes beigezogen wird.
- Bevor die Pläne für das Baugesuch endgültig erstellt werden, lassen Sie sich die für die Erdbebensicherung vorgesehenen baulichen Massnahmen an einer gemeinsamen Sitzung durch den Bauingenieur und den Architekten erklären.
- Während der Ausführungsplanung lassen Sie sich orientieren über die erdbebensichere Gestaltung des Tragwerks und der Prozessinstallationen und verfolgen Sie deren Realisierung auf der Baustelle.

## 2.3 Konstruktive Grundlagen des erdbebensicheren Entwurfes

Beim konzeptionellen Entwurf und der konstruktiven Gestaltung des Tragwerks und der Prozessanalgen werden entscheidende Weichen für die Erdbebensicherheit und die Erdbebenverletzbarkeit eines Bauwerks gestellt. "Erdbebenmässige" Fehler und Mängel des konzeptionellen Entwurfs können durch eine auch noch so ausgeklügelte Berechnung und Bemessung durch den Bauingenieur nicht kompensiert werden. Mit einem erdbebenengerechten Entwurf kann ein guter Erdbebenschutz ohne oder mit nur geringen Mehrkosten erreicht werden. Prinzipiell ist anzumerken, dass unterirdisch verlegte Rohrleitungen und in die Erde eingelassenen Beckenbauwerke im Allgemeinen gering durch Erdbebenerschütterungen gefährdet sind.

### 2.3.1 Grundregeln für Hochbauten

Um die Tragsicherheit von Bauwerken unter Einwirkung eines Erdbebens zu gewährleisten, muss ein Aussteifungssystem vorhanden sein, das horizontale Kräfte abträgt. Die durch die Beschleunigung der Massen verursachten Trägheitskräfte müssen von den Decken über die Aussteifungselemente durch die Fundamente in den Baugrund abgetragen werden. Tragstrukturen müssen nach den geltenden Tragwerksnormen (SIA) bemessen werden. Somit ist auch die Einwirkung „Erdbeben“ zu berücksichtigen. Ein vorhersehbares und sicheres Verhalten von Tragwerken im Erdbebenfall bedingt zudem das Einhalten von wichtigen Grundsätzen beim konzeptionellen Entwurf von Hochbauten (siehe Bachmann 2002).

Der wichtigste Grundsatz ist die Robustheit und Regelmässigkeit der Tragstruktur in Grund- und Aufriss. Aussteifungselemente sind durchgängig über alle Stockwerke auszuführen, im Grundriss regelmässig anzuordnen und in den Fundamenten zu verankern. Dem Kräftefluss ist Rechnung zu tragen. Somit ermöglichen schubsteife Deckenscheiben und durchgehende Fundamentplatten, die mit den Aussteifungselementen verbunden sind, eine gleichmässige Lastverteilung und einen guten Zusammenhalt des Gebäudes.

Bei der Planung und Ausführung aber hauptsächlich während der Nutzung eines Gebäudes ist darauf zu achten, dass stark belastete Bereiche des Tragwerks nicht durch Aussparungen und Öffnungen geschwächt werden. Homogene Tragstrukturen mit einheitlichen oder auf einander abgestimmten Baumaterialien erlauben ein genügsames konsistentes Verhalten des Gebäudes. Die Verbindungen vorfabrizierter Bauelemente müssen auf Erdbeben bemessen und gegen Absturz gesichert sein.

### 2.3.2 Baugrunderkundung

Eine angemessene Baugrunderkundung ist wichtig. Feinsandige und siltige Böden sind für ruhende Lasten im Allgemeinen tragfähig, aber unter bestimmten Randbedingungen können sich solche Böden bei Erdbebeneinwirkung wie eine Flüssigkeit verhalten. Es können differentielle Setzungen auftreten oder unterirdisch verlegte Rohrleitungen und leere Klärbecken können aufschwimmen. Deshalb müssen feinsandige und siltige Böden primär in der Erdbebengefährdungszone 3 nach SIA 261 auf ihr Potential zur Bodenverflüssigung hin untersucht werden.

Im Rohrleitungsbau sind besonders Hangsituationen zu betrachten, bei denen es zu erdbeben-induzierte Hangrutschungen kommen kann. Bei einem Erdbebenereignis werden vor allem bereits bestehende Hangrutschgebiete oder Kriechhänge aktiviert.

Bei einer schwierigen Baugrundsituation ist es prinzipiell ratsam, einen geotechnischen Spezialisten für das Bauvorhaben hinzuzuziehen.

### ***2.3.3 Abstimmung von Tragwerk und nichttragenden Bauteilen***

Um Schäden bereits bei schwachen Erdbeben zu vermeiden, müssen die horizontale Steifigkeit des Tragwerks und die Verformungsempfindlichkeit nichttragender Zwischenwände und Prozessanalgen aufeinander abgestimmt werden. Bei Zwischenwänden sind entsprechende Dehnungsfugen vorzusehen. Rohrleitungen, Luftkanäle, Schächte etc. sind mit flexiblem Muffen und Zwischenstücken zu versehen, damit differentielle Bewegungen ausgeglichen werden können.

### ***2.3.4 Einrichtungen und Prozessanlagen***

Bei Bauten müssen Einrichtungen, Installationen und Prozessanlagen, wie Rohrleitungen, Behälter, Pumpen, Gebläse, Schalt- und Steuerschränke, Lagergestelle usw., durch Befestigungen und Aussteifungen wirksam gegen Erdbebenerschütterungen gesichert werden. Bauteile dürfen nicht einfach nur auf Konsolen oder andere Unterlagen gestellt und leicht fixiert werden, sondern müssen rund herum auf solide Weise verankert werden. Die Befestigungen müssen deshalb nicht nur das Eigengewicht der Installation bzw. des Gerätes, sondern auch zusätzliche horizontale Kräfte aufnehmen können.

Ausführlichere Hinweise zu Anlageneinrichtungen finden sich im folgenden Kapitel 3 dieser Empfehlung.

## 3 Einrichtungen und Prozessanlagen

### 3.1 Internationale Erfahrungswerte

Anhand beobachteter weltweit Erdbebenbeschäden ist die häufigste Ursache des Funktionsausfalls einer Abwasseranlage auf Umkippen von Ausrüstungsgegenständen, Schaltschränken sowie Equipment und damit verbunden das Abreissen von Kabeln, Rohren und Anschlüssen zurückzuführen. Durch Verhindern dieses Schadensbildes wird ein wesentlicher Funktionsgewinn erreicht.

### 3.2 Tragwerksplanung

In der Schweiz gibt es moderne Tragwerksnormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA, die Gesichtspunkte des erdbebensicheren Bauens berücksichtigen. Bei der konsequenten Anwendung der SIA-Normen wird ein Sicherheitsniveau erreicht, das internationalen Standards entspricht. Die Anwendung der SIA-Normen gilt auch für Einrichtungen und Prozessanlagen.

### 3.3 Funktionstüchtigkeit

Die Normen SIA 260 und SIA 261 stellen primär Anforderungen an das Tragwerk. Zur Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks werden nur in Sonderfällen Nachweise verlangt. Da Abwassersysteme aber eine bedeutende Infrastrukturfunktion erfüllen, müssen nach SIA 261 Bauteile und Komponenten sowie deren Verbindung, Befestigung und Verankerung auf Erdbeben bemessen werden, wenn diese Komponenten bei Versagen den Betrieb der Anlage beeinträchtigen. Die Funktionstüchtigkeit der Anlage ist somit im Erdbebenfall sicherzustellen.

Der Abschnitt 16.7 der Norm SIA 261 (2003) beschreibt die Lastannahmen und ein Berechnungsmodell für Einrichtungen und Prozessanlagen, sogenannte "nicht-tragende Bauteile". Die Berechnung erfolgt demnach mit horizontalen Ersatzkräften, die die Verstärkung der Erdbebenanregung über die Gebäudehöhe sowie die Eigenschwingformen des Gebäudes und des Anlageteils berücksichtigen. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit erfolgt primär durch den Nachweis der Lagesicherheit des Ausrüstungsgegenstands gegen Gleiten und Kippen sowie Abreissen von Anschlüssen.

Inwieweit ein Prozessanlagenteil nach einem Erdbeben interne Schäden erleidet, lässt sich sehr schwer abschätzen und würde bei weitem den normalen Aufwand der Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen übersteigen.

### 3.4 Erdbebensicherer Entwurf von Einrichtungen und Prozessanlagen

#### 3.4.1 Rohrleitungen

##### *Material unterirdisch verlegter Rohrleitungen*

Unterirdisch verlegte Rohrleitungen sind im Allgemeinen durch Erdbebenerschütterungen gering gefährdet, aber reagieren sensibel auf Bodenverschiebungen (Rutschungen und Bodenverflüssigung). Abwasserrohrleitungen sollten aus bewehrtem Beton, Steinzeug, duktilem Eisen, PVC oder Faserzementrohren mit flexiblen duktilen Rohranschlüssen mit Gummidich-

tung ausgeführt werden. Ältere spröde oder korrodierte Rohre aus Gusseisen oder Beton mit steifer Stemmverbindung sollten bei Revision gegen Rohre aus duktilen Materialien ausgetauscht werden.

#### *Halterung von Rohleitungen*

In Kläranlagen sind oberirdisch verlegte Rohrleitungen gefährdet, wenn sie nicht gehalten werden und stark frei schwingen können. Abb. 1 zeigt eine konstruktive Lösung zur erdbebengerechten Halterung von Rohrleitungsschächten. Neben einer stabilen Rohrschelle müssen in regelmässigen Abständen Schräghalterungen angebracht werden, die die horizontalen Erdbebenkräfte in Längs- und Querrichtung aufnehmen können. Eine andere Möglichkeit der Fixierung ist eine solide U-Bolzenhalterung der Rohrleitung in Abb. 2.

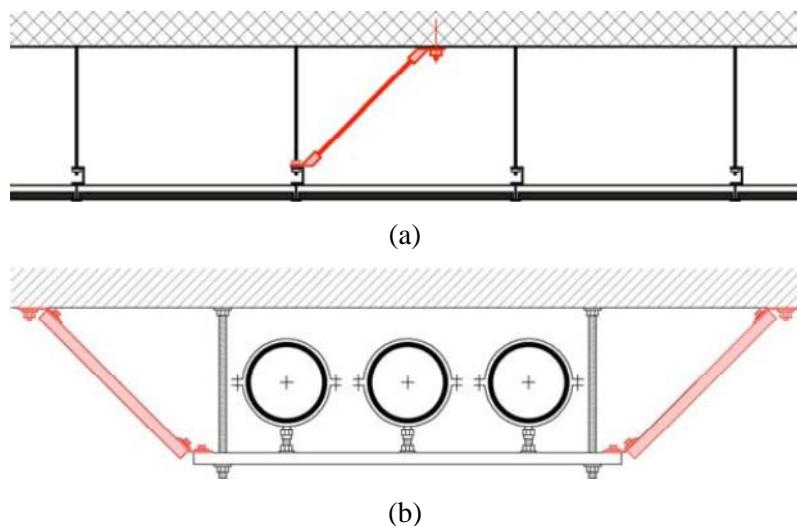


Abb. 1: Schematische Darstellung erdbebensicherer Rohrleitungshalterungen in (a) Längsrichtung und (b) in Querrichtung (Marxer et al. 2003)



Abb. 2: Solide Rohrhalterung mittels U-Bolzen (ALA 2002)

#### *Flexible Anschlüsse von Rohrleitungen*

Um Schäden bereits bei schwachen Erdbeben zu vermeiden, müssen die Steifigkeit des Tragwerks und die Verformungsempfindlichkeit der Rohrleitungen aufeinander abgestimmt wer-

den. Es wird empfohlen bei Rohrleitungen, Luftkanäle, Schächte etc. flexible Muffen und Zwischenstücke vorzusehen, damit differentielle Bewegungen ausgeglichen werden können. Rohranschlüsse an starre Bauwerke, wie Tanks, Pumpwerke oder Schächte, müssen ebenfalls flexible und duktil ausgelegt werden, um mögliche differentielle Deformationen auszugleichen bzw. aufnehmen zu können. Bei bestehenden Abwasseranlagen sollten alte starre Verbindungen durch neue flexible Verbindungen ersetzt bzw. mit flexiblem Muffen versehen werden.

Bei der Rohrleitungsführung innerhalb von Gebäuden muss besonders auf Wanddurchgänge geachtet werden. Größere Aussparungen oder Öffnungen in Stahlbetontragwänden im Erdgeschoss sind zu vermeiden. Eine Abstimmung der Leitungsführung mit dem Bauingenieur und Tragwerksplaner ist unerlässlich.

In den folgenden Abbildungen Abb. 3 bis Abb. 9 sind Rohrverbindungen abgebildet, die Deformationen in unterschiedlicher Größe zulassen. Solche Rohranschlüsse können aus Kunststoff, Gummi oder Metall ausgeführt sein.

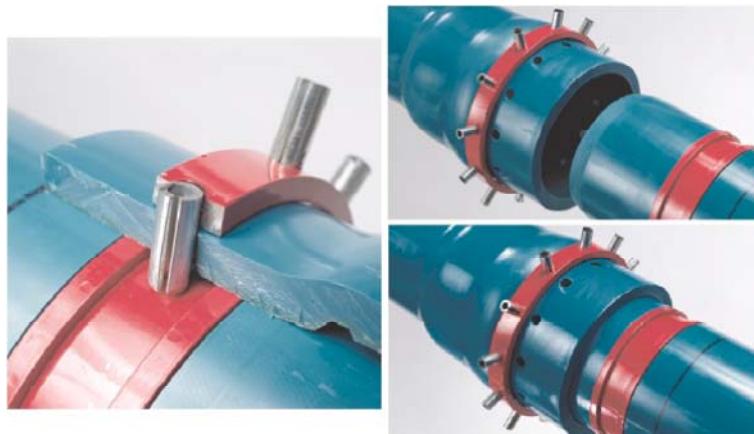


Abb. 3: Terra Brute Verbindung zur Aufnahme begrenzter axiauer Deformationen (IPEX Inc.)

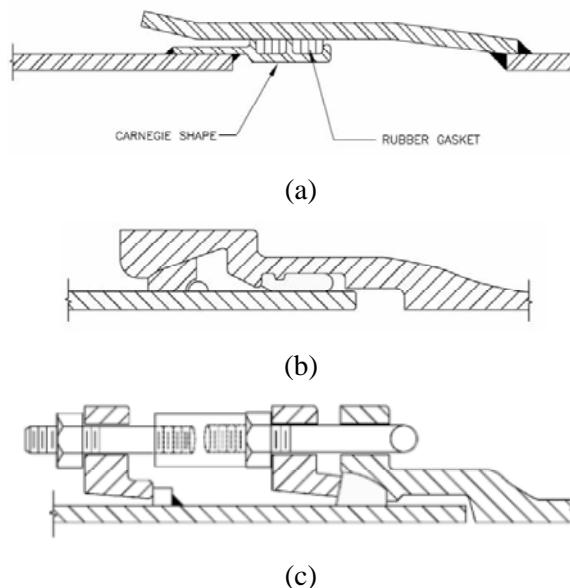


Abb. 4: Rohrverbindungen zur Aufnahme von Deformationen in Längsrichtung, (a) ohne Begrenzung, (b) mit Schloss als Anschlag, (c) fixiert (ALA 2005)

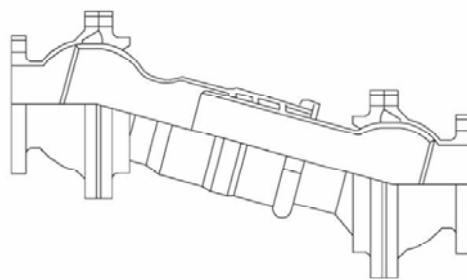


Abb. 5: Flexible Rohranschluss - Flex-Tend Gelenk (EBAA Iron)



Abb. 6: Flexible Rohranschluss an ein Tankbauwerk (<http://www.sccitanks.com>)

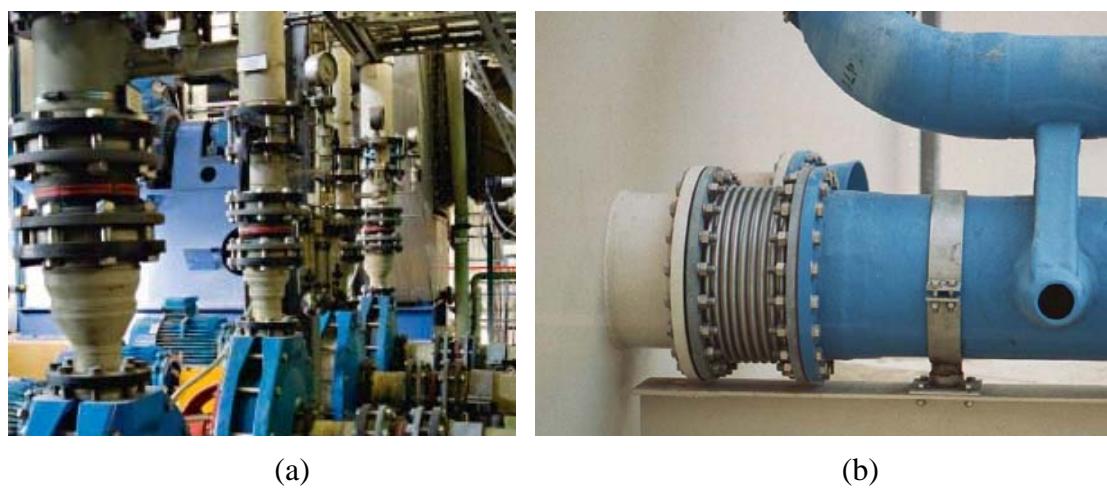


Abb. 7: Flexible Rohrleitungsanschlüsse mit Bewegungsmanschetten, a) aus Gummi (<http://www.ditec-kt.de>) und b) aus Metall (<http://www.jetaerators.com/>)



Abb. 8: Flexible Rohrmuffe aus Gummi (<http://www.ditec-kt.de>)



Abb. 9: Flexible Rohrleitungen mit U-förmigen Dehnungsbereichen (<http://www.z-montagen.ch>)

### 3.4.2 Apparaturen

#### Befestigungen und Verankerungen

Prozesseinrichtungen und Installationen, wie Behälter, Pumpen, Schieber, Gebläse, müssen durch Befestigungen und Aussteifungen wirksam gegen Erdbebenvibrationen gesichert werden. Bauteile dürfen nicht einfach nur auf Konsolen oder andere Unterlagen gestellt und leicht fixiert werden, sondern müssen rund herum auf solide Weise gegen unkontrolliertes Verschieben und Umkippen verankert werden. Die Befestigungen müssen deshalb nicht nur das Eigengewicht der Installation bzw. des Gerätes, sondern auch zusätzlich vertikale und horizontale Kräfte und entsprechende Vibrationen aufnehmen können. Grosse Ventile bzw. Schieber an freien Rohrleitungen sowie andere freistehenden Elemente sind abzustützen und zu verankern. Beispiele für Fussbodenverankerungen sind in Abb. 10 und Abb. 11 gegeben. Einbauteile in Wasser- und Schlammbecken sollten auf Wellenschlag ausgelegt sein, und Halterungen sind entsprechend auszulegen bzw. nachzurüsten. Lose Anlagenteile sind dahingehend zu fixieren, dass ein Herunterfallen verhindert wird, und damit andere Anlagenteile nicht geschädigt werden.



Abb. 10: Verankerung von Behältern und Gerätefüßen (HB-Technik, Profitexx)



Abb. 11: Verankerung von Anlagenkomponenten gegen Kippen im Fundament, effektive Verankerung eines Kühlaggregates beim dem Sierra El Mayor Erdbeben 2010 in Mexicali (Hutchinson et al. 2010)

#### *Elastische Lagerung von Anlagenkomponenten*

Apparaturen, wie z.B. Gebläse, Zentrifugen oder Pressen, können auch elastisch gelagert werden, um starke Erdbebenanregungen aufzunehmen. Beispiele solcher elastischen Lagerungen mit Gummi- oder Federelementen sind in Abb. 12 und Abb. 13 dargestellt. Vibrierende Apparate werden z.T. mit solchen Schwingungsdämpfern ausgestattet, um abstrahlende Vibrationen zu verhindern. Im Erdbebenfall kann ein Schutz in umgekehrter Richtungen erfolgen, und die Erdbebenbelastung wird reduziert. Wichtig ist, dass die Anlage mit der speziellen Lagerung auch gegen Gleiten und Kippen gesichert ist. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

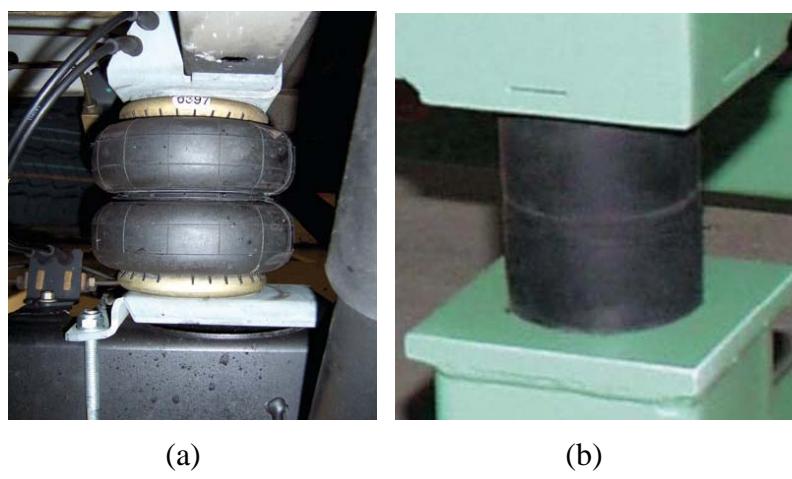


Abb. 12: Schwingungsisolation mit a) Luftfederbälge (<http://www.oelmuellers.com/>) und b) mit Gummipuffer (<http://www.nettervibration.com>)



Abb. 13: Schwingungsisolation einer Lüftungsanlage mit Federelementen  
<http://www.gerb.com>

### 3.4.3 Kranbahnen

Hilfseinrichtungen, wie Kranbahnen, sollten ebenfalls erdbebensicher ausgeführt sein. Die Erdbebensicherung bezieht sich vor allem darauf, dass das Herausspringen bzw. Herunterfallen der Laufkatze bzw. Kranbahn verhindert wird. Dazu sind spezielle Absturzsicherungen vorzusehen. Bei Kranen, die auch schräg ziehen können, ist die Absturzsicherheit im Allgemeinen gegeben. Dies ist jedoch selten der Fall. Abb. 14 zeigt eine Laufkatze, die bei Erdbebenanregung nicht von der Kranbahn fallen kann.



Abb. 14: Laufkatze einer Kranbahn, die gegen Absturz bzw. Abrutschen vom Kranträger gesichert ist <http://www.directindustry.de>

### 3.4.4 Steuereinheiten

Schaltanlagen und Steuerschränke müssen ebenfalls kipp- und gleitsicher ausgebildet sein. Vorzugsweise geschieht die mit der Befestigung des Schrankes direkt an der Wand, wie mit einem Winkeleisen in Abb. 15a dargestellt. Bei freistehenden Steuerschränken kann die Kippsicherung durch eine Deckenverankerung entsprechend der Abb. 15b erfolgen. Zudem sind Schränke auch am Fussboden zu befestigen, damit sie nicht weggleiten können.



Abb. 15: Verankerung von Schaltschränken, a) direkt an einer tragenden Wand (Foto Weber) und b) mit Deckenverankerung bei freistehenden Anlagen (Foto Studer)

Bei sensiblen elektrischen Steueranlagen kann eine seismische Basisisolierung sinnvoll sein (siehe Abb. 12 und Abb. 20), die eine Kraftreduktion in inneren der Schaltanlage bewirkt. Es ist aber darauf zu achten, dass die Isolatoren sowohl an der Anlage wie auch im Untergrund befestigt sind, und somit die Kipp- und Gleitsicherung gewährleistet ist.

### 3.4.5 Abgehängte Systeme

Bei abgehängten Systemen, wie Decken oder anderen Installationen, ist der Befestigung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Prinzipiell ist zu überprüfen, ob die Befestigungselemente horizontale Kräfte aufnehmen können bzw. gegen horizontale Verschiebungen gesichert sind, damit die Teile nicht abrutschen können.

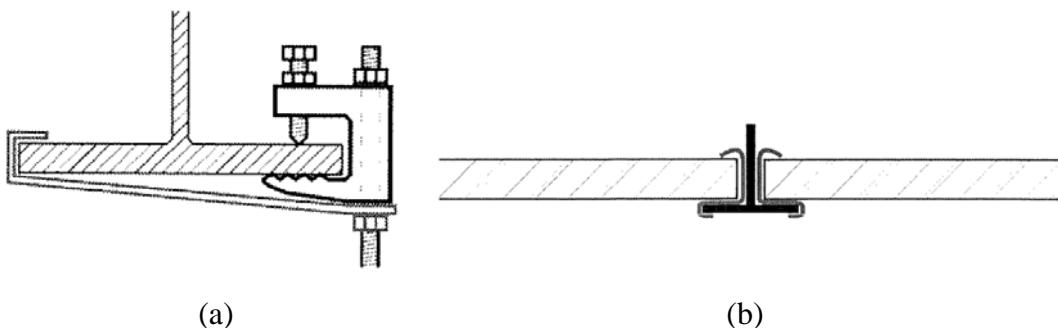


Abb. 16: Befestigungselemente mit konstruktiver Verstärkung zur Erdbebensicherung, a) Trägerhalterung, b) Erdbebensicherung von Deckenplatten (Marxer et al. 2003)

### 3.4.6 Aufgestellte Fussböden

Steuereinheiten stehen oft auf aufgeständerten Fussböden, da unter dem Boden die Kabel verlegt sind. Neben der Kippsicherung der Schränke ist auch der Fußboden Kipp- und Gleitsicher auszubilden. Dies kann durch horizontale Abstrebungen und zugfest verankerte Füsse erfolgen, wie in Abb. 17 dargestellt.



Abb. 17: Erdbebensichere Fixierung eines aufgeständerten Fussbodens

### 3.5 Stromversorgung

Eine oft gestellte Forderung ist der Anschluss einer redundanten Stromversorgung aus verschiedenen Netzen bzw. Unterwerken oder das Vorhalten einer eigenen lokalen Notstromversorgung für kritische Betriebsanlagen vor Ort. Es hat sich gezeigt, dass der Transport von Aggregaten im Erdbebenfall schwierig ist, da entweder Zufahrtswege blockiert sind, oder im Notfall keine Aggregate zu Verfügung stehen, da diese schon anderweitig in Verwendung sind.

Für Apparate der Stromversorgung gelten die gleichen Befestigungsregeln wie für andere Geräte. Transformatoren sind aufgrund ihres Gewichtes oft auf Schienen gelagert. Hierbei ist eine Sicherung des Transformators gegen Wegrollen, Gleiten und Kippen erforderlich (siehe Abb. 18), da sonst die Anschlüsse im Erdbebenfall abreisen.



Abb. 18: Transformator auf Schienen gelagert mit Kipp- und Rollsicherung

Beim Betrieb einer unabhängigen Stromversorgung (USV) mit Bleiakkumulatoren ist darauf zu achten, dass die Batterien in festen Gestellen stehen und nicht herausfallen können. Die Gestelle ihrerseits müssen gegen Umkippen gesichert sein (siehe Abb. 19).



Abb. 19: Erdbebengerechte unabhängige Stromversorgung mit Sicherung der Batterien gegen Umkippen und Herausfallen (JMAEG, Phasor Corporation)

In besonderen Fällen können fest installierte Notstromaggregate mit einer Schwingungsisolation bzw. seismischen Basisisolierung ausgerüstet werden. Dies erhöht die Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben, da das Gerät nicht nur gegen Gleiten und Kippen gesichert ist, sondern zusätzlich auch die Kraftbelastung der inneren Teile reduziert wird.



Abb. 20: Seismische Isolation eines Notstromgenerators. (<http://www.etccd.com>)

### 3.6 Lagergut

Für Lagergut gilt der gleiche Ansatz der Kippsicherung wie für Anlagenteile und Prozessausstattungen. Vor allem bei Chemikalien und Substanzen, die eine gewisse Gefährdung für die Umwelt darstellen ist auf eine sachgerechte Lagerung zu achten. Regallager müssen erdbebengerecht ausgebildet und gegen Kippen bemessen sein. Das Lagergut in Regalen muss ebenfalls gesichert sein, wie z.B. das Gebinde von Behältern in Abb. 21a. Eine andere Möglichkeit ist das Befestigen von Gasflaschen durch Schellen an der Wand in Abb. 21b.



(a)



(b)

Abb. 21: Erdbebengerechte Lagerung von Waren, a) durch Zusammenbinden der Paletten und Gebinde, b) gegen Umfallen gesicherte Gasflaschen (Foto Studer)

### 3.7 Automatische Systeme

Automatische Systeme, wie z.B. Schlammräumer in Klärbecken oder Transportbänder, sollen sich automatisch bei einem Erbebenereignis abschalten bzw. anhalten. Nach einem Erdbeben kann geprüft werden, ob nicht durch heruntergefallene Trenn- oder Abdeckbleche bzw. andere lose Teile eine Blockade oder Schädigung auftreten kann. Nach erfolgreicher Prüfung wird die Anlage wieder normal in Betrieb gesetzt. Die automatische Abschaltung kann durch einen zentralen Erdbebensensor erfolgen, der in das Steuerungssystem integriert wird.

## 4 Unterhalt

### 4.1 Vorgehen zur Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Abwasseranlagen

Das Konzept Erdbebensicherheit von Abwassersystemen geht davon aus, dass bestehende Anlagen einmal auf ihre Erdbebensicherheit hin überprüft werden. Neue Abwasseranlagen sollten gemäss dem neusten Stand der SIA-Tragwerksnormengeneration erstellt werden. Weitere Überprüfungen der Erdbebensicherheit bestehender Anlagen sind nur dann vorzunehmen, wenn in zukünftigen Normen die Lastannahmen oder die Bemessungsmethoden wesentlich verändert werden. Das Konzept und das Vorgehen zur Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Abwasseranlagen sind in der Publikation "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme" genau beschrieben.

### 4.2 Umsetzen von Massnahmen im Rahmen des Unterhalts

Bei Unterhaltsarbeiten sind konstruktiv einfache Sicherungsmassnahmen von jedem Anlagebetreiber zu ermitteln und zu implementieren. Dabei sind die Aspekte der vorliegenden Empfehlung in Bezug auf Einrichtungen und Prozessanalgen im Kapitel 3 für konstruktive Massnahmen sowie für vorbeugende organisatorische Massnahmen im Kapitel 5 zu berücksichtigen. Das Überprüfungskonzept der Studie "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme" mit den Checklisten bietet zusätzliche Hinweise, strukturelle Schwachstellen der Konstruktionen zu erkennen.

Einfache konstruktive Massnahmen zur Erhöhung der Erdbebensicherheit von Abwasseranlagen können im Zuge von normalen Unterhaltsarbeiten durchgeführt werden. Mit einem sehr geringen Kostenaufwand lässt sich somit die Erdbebensicherheit der Abwasseranlagen bezüglich der Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben Ereignis massgeblich verbessern.

Allfällig grössere bauliche Ertüchtigungsmassnahmen werden im Zusammenhang mit umfangreichen Sanierungsarbeiten durchgeführt, um Synergien zu nutzen und Kosten zu senken.

## 5 Vorsorge und Ereignisbewältigung

Die im Folgenden vorgestellten Aspekte der Vorsorge und Ereignisbewältigung sind vom Katastrophenschutz innerhalb grosser Organisationen abgeleitet. Für Betreiber kleiner Abwasseranlagen können die dargelegten Ideen aber sinngemäss auf die jeweilige Situation übertragen werden.

### 5.1 Vorsorge und Einsatzplanung

#### 5.1.1 Sicherheitsmassnahmen

Die Funktionsfähigkeit verschiedener Sicherungs- oder Reparaturmassnahmen soll nach einem Erdbebenereignis gewährleistet sein. Das beinhaltet z.B. die Bereitstellung von Notstromversorgung, Generatoren, Pumpen und portable Lichtanlagen für Nacharbeiten. Ferner empfiehlt sich das Vorhalten transportabler leichter mobiler Anlagen, z.B. Pumpen, Generatoren und Desinfektionsanlagen, deren Einsatz im Erdbebenfall zur Überbrückung, Entwässerung und Seuchenprävention dient. Diese Sicherungsmassnahmen sollen entwickelt und regelmässig überprüft und aktualisiert werden.

Im Allgemeinen ist die Funktionstüchtigkeit der wichtigsten Einrichtungen und Infrastrukturfunktionen, z.B. Spitäler, Feuerwehr, Polizei und Energieversorgung, nach einem Erdbebenereignis sicherzustellen. Dies gilt auch im begrenzteren Umfang für die Abwasserentsorgung.

#### 5.1.2 Ermittlung des Reparaturbedarfs und dessen Priorisierung

Ein wesentlicher Punkt der Vorsorge ist die Ermittlung des Reparaturbedarfs basierend auf der Verletzbarkeitsanalyse für ein vorgegebenes Erdbebenereignis. Der Reparaturbedarf umfasst vor allem den Bedarf an Ersatzmaterial, personellen Kapazitäten und die Vorbereitung einer Führungsorganisation für auswärtige Unterstützungskräfte. Diese Massnahmen können sich weitgehend auf Einsatzkonzepte, Absprachen betreffend Reservematerial und Ausbildung der entsprechenden Organe beschränken.

Bezüglich Reserve- und Reparaturmaterial ist es wichtig zu erkunden, wo notwendiges Material vorhanden ist und wie rasch es bezogen werden kann. Ferner ist zu bedenken, dass im Erdbebenfall der Bedarf an Reparaturmaterial massiv ansteigt, und es zu einer Verknappung der lokalen Ressourcen kommt. Eine Absprache der Anlagenbetreiber auf überregionaler Ebene ist wünschenswert, da im Erdbebenfall lokal der Bedarf vorliegt und mit zunehmender Distanz geringer wird. Ab einer Entfernung von ca. 50 km vom Erdbebenherd sind kaum noch mit Schäden an Abwasseranlagen zu rechnen.

Die Analyse der Verletzbarkeit der Anlagenkomponenten ist Teil des Überprüfungskonzeptes der Studie "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme". Aus den Ergebnissen der Grobbeurteilung lässt sich weitgehend der Reparaturbedarf der Abwasseranlage abschätzen. Eine Verbesserung der Abschätzung des Reparaturbedarfs ergibt sich nach einer Detailbeurteilung.

Aus der Verletzbarkeitsanalyse der Grob- und allfälligen Detailbeurteilung kann der Betreiber ein Prioritätenplan der Reparaturarbeiten im Erdbebenfall entwickeln. Dafür ist das Betriebsziel nach einem Erdbebenereignis vorgängig festzulegen. Aus der Analyse des Betriebsziels

und der Verletzbarkeit der Komponenten ergibt sich ein mögliches Schadensausmass mit entsprechendem Reparaturbedarf.

Der Reparaturbedarf kann gesenkt werden, indem Verstärkungsmassnahmen der Bauwerke und Prozessanlagen umgesetzt werden. Grundsätzlich wird empfohlen, einfache konstruktive Massnahmen zu Verbesserung der Erdbebensicherheit umzusetzen (siehe Empfehlungen "Einrichtungen und Prozessanalgen" sowie "Unterhalt").

#### ***5.1.3 Vorratshaltung für den Ereignisfall***

Aufgrund der Reparaturbedarfsermittlung sollten Reparaturteile in erdbebensichere Gebäude oder auf offenen Arbeitshöfen aufbewahrt werden. Damit ist der Zugang zu diesen Teilen gesichert, und die Reparaturzeit kann minimiert werden. Ein ausreichendes Inventar an Reparaturteilen und Kraftstoff soll dabei bereitgestellt werden, da mit Knappeit im Erdbebenfall zu rechnen ist.

Grössere Schäden an Gebäuden bei einem Erdbebenereignis behindern eine rasche Reparatur der Infrastruktursysteme. Dies ist bei einer vorgängigen Massnahmenplanung entsprechend zu berücksichtigen. Die Zugänglichkeit von Reparaturtruppen zu den betroffenen Gebieten ist zu gewährleisten. Von Vorteil ist die Schaffung von Betriebskorridoren für die Reparatureinheiten, um die übrigen Transportlinien nicht zu behindern.

Auch die Unterkunft und Verpflegung von Reparatureinheiten ist sicherzustellen, evtl. sind Restaurants oder Hotels nicht in Betrieb.

#### ***5.1.4 Energieversorgung nach einem Erdbebenereignis***

Ein wesentlicher Punkt bei der Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit von Abwasseranlagen ist die Sicherstellung der Energieversorgung nach einem Erdbeben. Mögliche vorbeugende Massnahmen sind hier der Anschluss einer Abwasseranlage an verschiedene Unterwerke oder das Vorhalten einer Notstromversorgung für die Anlagekomponenten hoher Bedeutung entsprechend der Bedeutungsanalyse. Es empfiehlt sich Synergien zu nutzen und gemeinsam mit anderen Anlagebetreibern ein Konzept zur mobilen Notstromversorgung zu entwickeln und zu betreiben.

#### ***5.1.5 Notfallplanung und Ausbildung in Katastrophenbewältigung***

Die Vorbereitung des Personals auf Notsituationen ist Voraussetzung für die rasche und sichere Bewältigung der verschiedenen Aufgaben. Dazu gehört eine Notfallplanung und Grundausbildung der Einsatzkräfte mit regelmässigen Trainings der Notsituationen sowie einer regelmässige Überprüfung des Ausbildungsstandes.

Trainings sollen verschiedene Versorgungssysteme berücksichtigen und fachübergreifende Schulungen beinhalten. Die Koordination zwischen den einzelnen Lifelinesystemen sollte dabei in einem gesamtheitlichen disziplinübergreifenden regionalen Notfallplan und Hilfsprogramm angestrebt werden. Parallel zur Notfallplanung soll eine Prioritätenliste der Massnahmen erstellt werden, da nicht alle von gleicher Priorität sind. Die Notfallplanung ist regelmässig zu aktualisieren. Die Entwicklung eines Notfallplan sollte unter anderem folgende Punkte beinhalten: Notfallberichterstattung, alternative Pflichtzuweisung, Schulung, Versorgung der Reparatureinheiten mit Lebensmittel und einen Inspektionsplan kritischer Anlagen.

Prinzipiell wichtig ist, dass sich der Betreiber einer Abwasseranlage Gedanken zum Vorgehen nach einem Erdbebeneignis macht. Ein kopfloses und panisches Handeln nach einem Erdbebeneignis kann wertvolle Ressourcen und Zeit verschwenden. Eine vorgängig strukturierte Planung und das Aufstellen eines Notfallplans ist hierbei die Grundlage eines effizienten Einsatzes.

### **5.1.6 Kommunikation im Ereignisfall**

Ein eigenes Kommunikationssystem der Versorgungsbetriebe ist vorteilhaft, jedoch für Abwasseranlagen unrealistisch. Bei grösseren Erdbebeneignissen kann das öffentliche Kommunikationsnetz überlastet oder nicht funktionsfähig sein. In solchen Fällen werden der Feuerwehr, der Polizei und dem Gesundheitswesen Vorrang gewährt.

## **5.2 Instandstellung und Wiederaufbau**

### **5.2.1 Priorität**

Nach einem Erdbebeneignis bleibt die oberste Priorität der Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer zur Gewinnung von Trinkwasser und Verhinderung der Seuchen- und Krankheitsausbreitung. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen: 1) Nach einem Erdbeben sind primär die Bereiche der Kanalisation zu kontrollieren, die in Grundwasserschutzzonen liegen, und gegebenenfalls zu reparieren. 2) Kläranlagensysteme sind rasch auf ihren ursprünglichen Betriebszustand wiederherzustellen. Anlagekomponenten mit hoher Bedeutung entsprechender der Bedeutungsanalyse sollten stets funktionstüchtig bleiben bzw. sind als erste wieder instandzusetzen. Nach einem Erdbebeneignis ist mit Einschränkungen der Funktionstüchtigkeit von Abwasseranlagen zu rechnen.

### **5.2.2 Vorgehen**

Nach einem Erdbebeneignis kommt die entwickelte Notfallplanung zum Einsatz. Die wichtigste Massnahme nach einem Erdbebeneignis ist eine schnelle visuelle Prüfung der Kanalisation und Kläranlagen, vor allem der Anlagenteile, die in Grundwasserschutzzonen und Quellgebieten liegen. Anhand der Prioritätenliste des Reparaturbedarfs ist nachfolgend die detaillierte Planung der Reparaturmassnahmen aufgrund des aufgetretenen Schadens vorzunehmen.

Um einen grösseren Abwasserausfluss zu verhindern, können temporäre Absetz- und Klärbecken errichtet werden. Nachfolgend ist die Reparatur und Sanierung der wesentlicher Anlagenteile anzugehen. Ziel ist die baldige Wiederaufnahme des vollen Betriebs.

Bei vergangenen Erdbeben hat sich gezeigt, dass durch die Schädigung der Wasserversorgung auch ein Rückgang der anfallenden Abwassermenge zu beobachten war. Solche Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Infrastruktursystemen untermauern die Wichtigkeit einer bereichsübergreifenden Koordination. Dies gilt natürlich prioritär für die Abhängigkeit vom Stromversorgungsnetz.

### **5.2.3 Erfahrungen**

Für Sanierungsarbeiten nach einem Erdbeben gelten die gleichen Anforderungen wie für sonstige Instandsetzungsarbeiten oder den Neubau von Abwassersystemen. Primär gilt es das Ableiten des Abwassers aus den Siedlungsgebieten aufrecht zu erhalten und unkontrolliertes

Auslaufen von Abwasser nach dem Erdbeben und während der Bau- und Reparaturphase zu verhindern. Die alten Anlagenteile sind so lange in Betrieb zu behalten, bis die neuen Anlagenteile fertig gestellt sind. Störungen der Anlieger und angrenzender Bauten sind auf ein Minimum zu reduzieren. Dies bezieht sich vor allem auf den Verkehrsfluss und den Zugang zu angrenzenden Grundstücken.

Es empfiehlt sich die Koordination weiterer Bauarbeiten im betroffenen Gebiet, da andere Medien, wie Gas, Wasser, Elektrizität und Kommunikation, häufig entlang der gleichen Trassen verlaufen und durch das Erdbeben wahrscheinlich ebenfalls Schäden erlitten haben. Bei der Instandsetzung der Rohrleitungen können Sanierungsmethoden eingesetzt werden, z.B. Relining, bis ein Ersatz der schadhaften Rohrleitungen möglich bzw. erforderlich wird.

## 6 Referenzen

- Bachmann, H. (2002) Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Richtlinien des BWG.  
[http://www.ecab.ch/ecab/sismo/doc/Erdbebengerechter\\_Entwurf.pdf](http://www.ecab.ch/ecab/sismo/doc/Erdbebengerechter_Entwurf.pdf)
- Bachmann, H. (2006) "Erdbebensicheres Bauen in der Schweiz" Bundesamt für Umwelt, Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen. 2. Auflage  
[http://www.baudyn.ch/docs/baudyn\\_faltblatt\\_1\\_d.pdf](http://www.baudyn.ch/docs/baudyn_faltblatt_1_d.pdf)
- Marxer, G., Kunz, J., Schoch, M. and Schuler, D. (2003) Earthquake Resistant Installations - Guideline for earthquake resistant design of installations and nonstructural elements, Hilti Corp., Schaan, December 2003
- Publikation "Erdbeben und Infrastrukturen – Abwassersysteme". Studer Engineering im Auftrag des Bundesamts für Umwelt: <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation>
- SIA 260 (2003) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Vereins.
- SIA 261 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Vereins.
- SIA 262 (2003) Betonbau, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.
- SIA 263 (2003) Stahlbau, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.
- SIA 264 (2003) Stahl-Beton-Verbundbau, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.
- SIA 266 (2003) Mauerwerk, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.
- SIA 267 (2003) Geotechnik, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.

# Relevanzbeurteilung zur Überprüfung der Erdbebensicherheit

Name der Kanalisation / Kläranlage – Gemeinde: _____
Angeschlossene Vorflut: _____

**Kriterien:**

Angeschlossene EW / dimensionierte Kapazität EW: _____ / _____
Erdbebengefährdungszone nach SIA 261 <sup>1)</sup> : <input type="checkbox"/> Z1 <input type="checkbox"/> Z2 <input type="checkbox"/> Z3a <input type="checkbox"/> Z3b
Grundwasserschutzzonen S2 im Kanalisationsnetz <sup>2)</sup> : _____

<sup>1)</sup> siehe unter <http://map.bafu.admin.ch> oder Kapitel 4.2 des Berichtes "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme" oder Anhang F der Norm SIA 261

<sup>2)</sup> siehe unter <http://www.ecogis.admin.ch/ecogis.php> Fachdaten: Umwelt (BAFU) / Wasser / Grundwasserschutz / Grundwasserschutzkarte (GSK) / Grundwasserschutzzonen, Massstab 1:20'000 oder grösser

**Beurteilung der Kriterien:**

Kriterium	Grenzwert	Nebenbedingung	Zutreffend	
			ja	nein
Grösse der Abwasseranlage (dimensionierte Kapazität)	> 100'000 EW	–		
	50'000 bis 100'000 EW	Erdbebengefahrenzone 3 nach SIA 261		
Grund- und Trinkwasserschutz	Kanalisationsstränge oder Kläranlagenteile liegen in der engeren Grundwasserschutzzone S2			
	spezifische Anforderungen des Trinkwasserschutzes aufgrund lokaler Gegebenheiten (z.B. Hinweise kantonaler Fachstellen)			
Betriebliche Interessen				

**Entscheid über weiteres Vorgehen:**

Überprüfung der Erdbebensicherheit empfohlen: \_\_\_\_\_ ja / nein  
(bei einem "ja" entsprechend der Kriterien)

Bemerkungen:

Sachbearbeiter: _____	Ort / Datum: _____ / _____
Funktion: _____	Unterschrift: _____

## Ziel der Relevanzbeurteilung

Ziel der Relevanzbeurteilung ist es, Abwasseranlagen zu identifizieren, bei denen im Erdbebenfall mit potentiell grösseren Folgeschäden für die Natur, Umwelt und Trinkwasserversorgung zu rechnen ist. Es wird empfohlen, diese Anlagen einer weiterführenden Untersuchung der Erdbebensicherheit zu unterziehen. Das Verfahren ist separat für das Kanalsnetz und die Kläranlage anzuwenden.

## Abgrenzung

Die Relevanzbeurteilung trifft keine Aussage über die Erdbebensicherheit einer Abwasseranlage. Die Kriterien des Verfahrens konzentrieren sich auf die gesamte Anlage als Netzsystem und beurteilen die potentielle Umweltgefährdung. Es wird keine Aussage über Personenrisiko getroffen, z.B. durch einstürzende Gebäude.

## Kriterien der Relevanzbeurteilung

- dimensionierte Kapazität einer Kläranlage bzw. des Kanalsnetz, gemessen in Einwohnerwerten (EW)
- Erdbebengefährdung am Standort nach SIA 261
- Gefährdung der Trinkwasserentnahme und Berührung der engeren Grundwasserschutzzone S2
- spezifische Anforderungen des Trinkwasserschutzes aufgrund lokaler Gegebenheiten, z.B. Kenntnisse kantonaler Fachstellen, die auf eine erhöhte Gefährdung des Trinkwassers hinweisen
- Betriebliche Interessen, Entscheidungskriterium vor allem für Industriekläranlagen mit vertraglichen Verpflichtungen und erhöhtem finanziellen Risiko

Es gibt noch weitere Kriterien, wie z.B. Belastbarkeit des Vorfluters, Anteil industrieller und gewerblicher Abwasser sowie deren Belastungsgrad, lokale Bodenverhältnisse, Gewässerschutzzonen sowie Auslastung und Alter der Anlage, die einen Einfluss auf die Umweltgefährdung im Erdbebenfall haben. Diese Kriterien können aufgrund der Komplexität in der vereinfachten Relevanzbeurteilung nicht direkt berücksichtigt werden. Bei der Lagerung gefährlicher Chemikalien wird angenommen, dass diese Anlagen der Störfallverordnung unterliegen, und die Erdbebengefährdung in der Risikoermittlung berücksichtigt wurde.

## Beurteilung der Kriterien

Ist in der Tabelle zur "Beurteilung der Kriterien" mindestens ein Kriterium und dessen Nebenbedingung für das betrachtete Abwassersystem (Kanalsnetz bzw. Kläranlage) zutreffend, wird eine Untersuchung bezüglich der Erdbebensicherheit des Abwassersystems empfohlen.

## Weiteres Vorgehen

Anlagenbetreiber, für deren Anlagen eine vertiefte Untersuchung der Erdbebensicherheit empfohlen ist, können sich für das weitere Vorgehen an die zuständigen kantonalen Stellen wenden. Ferner stellt das BAFU die Publikation "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme" zur Verfügung, die Hilfestellung bei der Untersuchung der Erdbebensicherheit bietet.

Bei grösseren Umbau- bzw. Sanierungsarbeiten sollte der Betreiber mit Hilfe eines Erdbebensachverständigen die Anlage bezüglich Erdbebensicherheit genauer untersuchen. Dazu dient das Beurteilungskonzept der Publikation "Erdbeben und Infrastrukturen - Abwassersysteme" des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bei der Durchführung der Beurteilung werden die Anlagenteile identifiziert, die einer eingehenderen Überprüfung der Erdbebensicherheit unterzogen werden sollten. Daraus resultieren für die betreffenden Anlagenteile bei Mängel allfällige Ertüchtigungsmassnahmen, die im Verhältnis von Kosten und Nutzen stehen müssen, und im Rahmen der Umbau- bzw. Sanierungsarbeiten umgesetzt werden können.

Bei Abwasseranlagen, die keines der Beurteilungskriterien erfüllen und bei denen somit eine weitergehende Untersuchung nicht angezeigt ist, wird ebenfalls auf die Publikation des BAFU "Erdbeben und Infrastrukturen-Abwassersysteme" verwiesen. In jedem Fall sollte der Betreiber die vorhandenen Risiken aufgrund Erdbeben durch Umsetzung der Empfehlungen der Publikation minimieren. Konstruktive Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit und Verbesserung der Funktionalität können auch ohne detaillierte Überprüfung durchgeführt und im Rahmen allgemeiner Wartungs- und Sanierungsarbeiten umgesetzt werden.

## Referenzen

Publikation "Erdbeben und Lifelines - Abwassersysteme". Studer Engineering im Auftrag des Bundesamts für Umwelt: <http://www.bafu.admin.ch/erdbeben> unter Publikationen  
SIA 261 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke, Regelwerk des Schweizer Ingenieur und Architekten Verein.  
Grundwasserschutzzonen: <http://www.ecogis.admin.ch/ecogis.php>, Fachdaten: Umwelt (BAFU) / Wasser / Grundwasserschutz / Gewässerschutzkarte (GSK) / Grundwasserschutzzonen  
Erdbebenvorsorge: <http://map.bafu.admin.ch>, Baugrundklassen und Erdbebengefährdungszonen

## Anhang C: Checklisten zur Grobbeurteilung

Für die Grobbeurteilung von Anlagenkomponenten der Abwassersysteme zur Erdbebensicherheit sind eine Reihe von Checklisten entwickelt worden, mit denen die Verletzbarkeit der Bauwerke relativ zueinander eingeschätzt werden kann. Die Checklisten sind separat nach Kanalisation und Kläranlagen getrennt, wobei die Checklisten für Pumpenanlagen und Rohrleitungen auch für die Kläranlage eingesetzt werden kann. Manche Fragen sind dann eventuell nicht zutreffend.

Nach dem Überprüfungskonzepte brauchen nur Komponenten hoher Bedeutung entsprechend der Bedeutungsanalyse mit den Checklisten untersucht werden. Für die Überprüfung der Erdbebensicherheit mittelgrosser Anlagen ist im Allgemeinen ein Aktenordner ausreichend, der alle relevanten Checklisten und Unterlagen beinhaltet. Die Checklisten können auch für Komponenten geringer Bedeutung eingesetzt werden, um konstruktive Schwachstellen aufzudecken.

Die Checklisten bestehen aus folgenden Arbeitsblättern:

### Checklisten für die Kanalisation Teil C-1

- C-1.I Gesamtübersicht der Kanalisation:  
Kurzbeschreibung des betrachteten Kanalisationsnetzes mit Netzplan
- C-1.II Gesamtliste der Kanalisation:  
Auflistung aller bedeutenden Komponenten entsprechend der Bedeutungsanalyse des zu untersuchenden Kanalisationssystems.  
Einteilung: Zustand: gut / mittel / schlecht; Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering; Bedeutung: hoch / gering
- C-1.III Datenblatt Kanalisation:  
Kurzbeschreibung der jeweils zu untersuchenden bedeutenden Komponente entsprechend der Bedeutungsanalyse, z.B. ein bedeutender Leitungsabschnitt, ein Einzugsgebiet, ein bedeutendes Sonderbauwerk.
- C-1.IV Beurteilungscheckliste Rohrleitung:  
Einschätzung der Rohrleitungen aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben
- C-1.IV Beurteilungscheckliste Pumpenanlage:  
Einschätzung einer Pumpenanlage aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben

### Checklisten für Kläranlagen Teil C-2

- C-2.I Gesamtübersicht der Kläranlage:  
Kurzbeschreibung der betrachteten Kläranlage mit Grundriss, Lageplan und Prozessablauf
- C-2.II Gesamtliste der Kläranlage:  
Auflistung aller Komponenten hoher Bedeutung entsprechend der Bedeutungsanalyse der zu untersuchenden Kläranlage  
Einteilung: Zustand: gut / mittel / schlecht; Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering; Bedeutung: hoch / gering
- C-2.III Datenblatt Kläranlage:  
Kurzbeschrieb der jeweils zu untersuchenden Kläranlagenkomponente mit hoher Bedeutung entsprechend der Bedeutungsanalyse, z.B. ein Vorklärbecken
- C-2.IV Beurteilungscheckliste der Klärbecken:  
Einschätzung eines Klärbeckens aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben
- C-2.IV Beurteilungscheckliste für chemischen Klärung:  
Einschätzung der Komponenten einer chemischen Klärung aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben
- C-2.IV Beurteilungscheckliste für Tankbauwerke:  
Einschätzung eines Tanks aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben
- C-2.IV Beurteilungscheckliste für Hochbauten:  
Einschätzung eines Gebäudes aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben

- C–2.IV Beurteilungscheckliste Pumpenanlage:  
Einschätzung einer Pumpenanlage aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben (identisch zur Checkliste unter Kanalisation)
- C–2.IV Beurteilungscheckliste Rohrleitung:  
Einschätzung der Rohrleitungen aufgrund der Gefährdung durch Erdbeben (identisch zur Checkliste unter Kanalisation)

Zu jeder Checkliste gehört ein Datenblatt, in dem die wichtigsten Angaben zum betrachteten Bauwerk vermerkt sind. Das Datenblatt und die Gesamtliste dienen vor allem zur besseren Übersicht für einen beratenden Bauingenieur. Neben den Listen können auch andere Medien der Informationsbeschaffung und -aufbereitung genutzt werden.

Zur Anwendung der Checklisten benötigt der Nutzer eine gewisse Erfahrung im Bereich Erdbebeningenieurwesen. Es ist empfohlen, bei der Durchführung der Grobbeurteilung einen Sachverständigen im Bereich Erdbebeningenieurwesen zur Beratung hinzuzuziehen, so dass die Beurteilung gemeinsam vom Betreiber und Sachverständigen durchgeführt wird.

Die wichtigsten Daten zu den Komponenten der Abwasseranlage sind dem Betreiber bekannt, bzw. liegen in Plänen und Unterlagen vor. Weitere Informationen müssen an den entsprechenden Stellen eingeholt werden. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) bietet online unter den folgenden zwei Links Informationen zum Grundwasserschutz und zur Erdbebenvorsorge:

- Grundwasserschutzzonen: <http://www.ecogis.admin.ch/ecogis.php>  
Fachdaten: Umwelt (BAFU) / Wasser / Grundwasserschutz / Gewässerschutzkarte (GSK) / Grundwasserschutzzonen
- Erdbebenvorsorge: <http://bafu.admin.ch/erdbeben>  
Baugrundklassen und Erdbebengefährdungszonen

Bei weitergehenden Fragen zu den Baugrundeigenschaften muss sich auf ein vorhandenes Baugrundgutachten oder auf die Beratung eines lokalen geotechnischen Ingenieurbüros gestützt werden.

## Handlungsbedarf

Legende der Checklisten:

ja	trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an
nein / unbek.	nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu treffen sind
n. z.	nicht zutreffend

Anhand der ausgefüllten Checklisten lässt sich der Handlungsbedarf für konstruktive Massnahmen und die Dringlichkeit der Detailuntersuchung ableiten. Sind alle Punkte mit "ja" angekreuzt, bedeutet dies, dass die Komponente eine geringe Verletzbarkeit aufweist und die Priorität zur Detailuntersuchung gering ist. Sind einige Punkte mit "nein" oder "unbekannt" angekreuzt, zeigt dies, je nach Schweregrad, eine erhöhte Verletzbarkeit und damit eine erhöhte Priorität bei der Detailuntersuchung und Massnahmenplanung.

Beim Handlungsbedarf sollte ergänzt werden, wie das weitere Vorgehen bei der Verbesserung der Erdbebensicherheit ist, welche nachfolgenden Schritte besonders dringlich sind und welche konstruktiven Massnahmen umzusetzen sind.

Die Anwendung der Checklisten lässt nur eine relative Aussage zur Verletzbarkeit des untersuchten Bauwerkes zu. Die Bewertung eines Bauwerks mit einer geringen Verletzbarkeit heißt nicht, dass das Bauwerk einer detaillierten Überprüfung standhält und erdbebensicher ist. Für eine genaue Analyse der Tragkonstruktion ist die Berechnung des Erfüllungsfaktors  $\alpha_{\text{eff}}$  nach SIA Merkblatt 2018 (ab 2013 SIA 298/8) unerlässlich. Diese Berechnung ist in der Detailuntersuchung für alle Komponenten hoher Bedeutung entsprechend der Bedeutungsanalyse vorgesehen. Die Einschätzung der Verletzbarkeit eines Bauwerkes zeigt nur im Vergleich des gesamten Gebäudebestandes der Abwasseranlage eine Priorisierung einzelner Bauwerke, die als besonders gefährdet erscheinen.

Blatt: \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## Gesamtübersicht Kanalisation

(Informationsblatt und Kurzbeschrieb des gesamten Kanalisationssystems)

Einzugsgebiet: \_\_\_\_\_

Angeschlossene EGW: \_\_\_\_\_

System der Kanalisation: \_\_\_\_\_

Angeschlossene Kläranlage: \_\_\_\_\_

Tag der Erhebung: \_\_\_\_\_ Sachbearbeiter: \_\_\_\_\_

Beschreibung	
Topographie	
Geologie / Baugrund	
Grundwasserschutzgebiete / Kote Grundwasserspiegel	
Bemerkungen	

Anlage: Netzplan mit zugehörigen Bauwerken

Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Gesamtliste Kanalisation

## (Auflistung aller bedeutenden zur Kanalisation gehörenden Leitungsabschnitte und Sonderbauwerke)

Einzugsgebiet: \_\_\_\_\_ Tag der Erhebung: \_\_\_\_\_ Sachbearbeiter: \_\_\_\_\_

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Datenblatt Komponente Kanalisation

(Kurzbeschrieb der zu untersuchenden bedeutenden Kanalisationskomponente, z.B. ein Leitungsabschnitt, Einzugsgebiet oder Ortsteil)

Bauobjekt:	
Kanalisationsabschnitt:	
Tag der Erhebung:	Sachbearbeiter:

Baujahr	
Funktion	
Bauweise und verwendete Materialien	
Ausführung der Anschlüsse	
Zustand und vorhandenen Schädigung - Reparaturaufwand im Schadensfall	
Redundanz und Ausweichmöglichkeiten	
Baugrund	
Grundwasserspiegel und Gewässer-schutzzone	
Besonderheiten und Bemerkungen	

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Rohrleitung

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens eines Kanalisationsschnittes)

Objekt: _____	
Kanalisationsschnitt: _____	
Tag der Begutachtung: _____	Gutachter: _____

### Geotechnische Gefährdung

Im Bereich der Rohrleitungsführung sind geotechnischen Naturgefahren, wie Erdrutsche, Kriechhänge und Sackungen, bekannt. Effekte starker Rohrleitungsdeformationen wurden in diesen Gebieten berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Alle Rohrleitungsabschnitte, die verflüssigungsempfindliche <sup>1</sup> und setzungsgefährdete <sup>2</sup> Böden kreuzen, sind bekannt. Effekte grosser Setzungen bzw. des Rohrleitungsaufschwimmens wurden in diesen Gebieten berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bemerkungen

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Verletzbarkeit der Rohrleitung

Die Rohrleitung ist in einem guten Zustand und zeigt keine grosse Rissbildung oder Korrosionsschäden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bauwerksanschlüsse der Rohrleitungen (z.B. Schachteingänge) sind flexibel ausgeführt, um differenzielle Bewegungen aufzunehmen.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bemerkungen

### Rohrleitungen – unterirdisch verlegt

Rohrleitungsverbindungen sind flexibel ausgeführt und können Bewegungen ausgleichen (z.B. Steinzeugrohre mit Gummimuffen).	ja	nein	unbek.	n. z.
Alle Rohrleitungen, die Flüsse kreuzen, wurden identifiziert.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bemerkungen

### Rohrleitungen – oberirdisch verlegt

Das Rohrleitungsmaterial ist duktil und die Rohrleitungsverbindungen sind flexibel ausgeführt (z.B. Kunststoff- oder Stahlrohre mit flexiblen Muffenverbindungen).	ja	nein	unbek.	n. z.
--	----	------	--------	-------

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_

Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Die Haltepunkte der Rohrleitung sind massiv ausgeführt und in ausreichenden Abständen angeordnet, so dass keine Schäden an Leitung und Verbindungen durch Vibrationen auftreten können.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Rohrleitungsgrundmauern wurden massiv und ingenieurmässig ausgeführt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

**Sonstiges zur Kanalisation**

Gebiete, in denen schwere Schäden zu erwarten sind, z.B. durch Erdbrüche, können schnell vom restlichen Leitungssystem entkoppelt werden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Material, Personal und Ausrüstung sind zur Rohrleitungsreparatur nach einem Erdbeben verfügbar.	ja	nein	unbek.	n. z.
Kritische Stellen bzw. bedeutende Sonderbauwerke des Kanalisationssystems wurden identifiziert und werden einzeln auf Erdbebensicherheit hin betrachtet.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

**Legende**

- ja                    trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  
 nein / unbek.      nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen für diesen Leitungsabschnitt zu treffen sind  
 n. z.                nicht zutreffend

**Konsequenzen und Handlungsbedarf**

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

Bereiche der Kanalisation, die weitergehende Abklärungen und Untersuchungen erfordern:

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Pumpenanlage

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens einer Pumpenanlage)

Objekt: _____	
Gebietsabschnitt: _____	
Pumpentyp: _____	Baujahr: _____
Energieversorgung: _____	
Tag der Begutachtung: _____	Gutachter: _____

### Geotechnische Gefährdung

Die Pumpenanlage steht nicht in einem Bereich geotechnischer Gefahren, wie Kriechhänge, Erdrutsche, Sackungen etc., die einen Einfluss auf die Anlage haben.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Pumpenanlage steht nicht auf verflüssigungsempfindlichen <sup>1</sup> und setzungsgefährdeten <sup>2</sup> Böden. Falls solche ungünstigen Baugrundeigenschaften vorliegen, wurden sie bei der Konstruktion berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Konstruktive Ausführung

Das Pumpengehäuse ist fest mit dem Fundament verbunden und Verankerungen der Pumpe sind robust ausgeführt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Der Motor und die Pumpe sind auf einem gemeinsamen Fundament verankert, damit keine differenziellen Verformungen auftreten (z.B. bei Schneckenpumpen).	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Rohrhalterung ist am gleichen Fundament befestigt wie die Pumpe, damit keine zusätzlichen Spannungen auftreten.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Pumpenanlage zeigt keine wesentlichen Korrosionsspuren.	ja	nein	unbek.	n. z.
Der Pumpenmotor bei hohen Pumpen ist oberhalb des Schwerpunktes abgestützt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Wichtige zur Pumpenanlage gehörende Anbau- und Prozessteile (z.B. Rohrleitungen und Schieber) sind ausreichend gehalten und flexibel ausgeführt, um differentielle Verformungen mitzumachen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Pumpe erleidet bei Überflutung keinen Schaden bzw. ist gegen Überflutung geschützt.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_

Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Bei Tauchpumpen kann ein Schwappen des Wassers die Pumpe nicht beschädigen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Pumpenhaus wird ebenfalls auf Erdbebensicherheit überprüft (siehe Checkliste für Hochbauten).	ja	nein	unbek.	n. z.
Eine redundante Stromversorgung, z.B. Notstrom, ist verfügbar.	ja	nein	unbek.	n. z.
Strom-, Schalt- und Steuerkästen sind verankert und gegen Umkippen gesichert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

**Legende**

- ja trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  
 nein / unbek. nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu diesem Pumpwerk zu treffen sind  
 n. z. nicht zutreffend

**Konsequenzen und Handlungsbedarf**

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

<div style="border: 1px solid black; height: 750px; width: 100%;"></div>		
<b>Einstufung</b>	Zustand: gut / mittel / schlecht	Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering
<b>Handlungsbedarf</b> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div>		

Blatt: \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## Gesamtübersicht Kläranlage

(Informationsblatt und Kurzbeschrieb der gesamten Kläranlage)

Objekt: _____
Angeschlossenen EGW / Auslegung der Anlage: _____ / _____
Anteil industriell gewerblicher / kommunaler Abwässer: _____ / _____
Abwasseranfall Trockenwetter / Auslegung der Anlage: _____ / _____
Angeschlossene Vorflut: _____
Tag der Erhebung: _____ Sachbearbeiter: _____

Beschreibung (Komponenten, Baujahre, ... )	
Topographie des Einzugsbe- reiches	
Baugrund	
Grundwasser- schutzgebiete / Kote Grund- wasserspiegel	
Bemerkungen	

Anlage: Lageplan der Kläranlage mit Prozessablauf

Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## **Gesamtliste der Kläranlage**

(Auflistung aller bedeutenden zur Kläranlage gehörenden Bauwerke und Anlagenteile)

Kläranlage: \_\_\_\_\_ Tag der Erhebung: \_\_\_\_\_ Sachbearbeiter: \_\_\_\_\_

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Datenblatt Komponente Kläranlage

(Kurzbeschrieb der zu untersuchenden bedeutenden Kläranlagenkomponente, z.B. ein Klärbecken)

Objekt: _____	
Bauwerk: _____	
Tag der Erhebung: _____	Sachbearbeiter: _____

Baujahr	
Funktion	
Bauweise, verwendete Materialien, Abmessungen	
Ausführung der Anschlüsse	
Zustand und vorhandenen Schädigung - Reparaturaufwand im Schadensfall	
Redundanz und Ausweichmöglichkeiten	
Baugrundverhältnisse	
Grundwasserspiegel und Grundwasserschutzzone	
Verwendete Chemikalien	
Besonderheiten und Bemerkungen	

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Klärbecken

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens eines Klärbeckens)

Objekt:				
Anlagenteil:				
Funktion:	Abmessungen:			
Bautyp:	Baujahr:			
Tag der Begutachtung:	Gutachter:			

### Geotechnische Gefährdung

Das Klärbecken steht nicht im Bereich geotechnischer Gefahren, wie Kriechhänge, Erdrutsche und Sackungen, die einen Einfluss auf die Anlage haben.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Klärbecken steht nicht auf verflüssigungsempfindlichen <sup>1</sup> und setzungsgefährdeten <sup>2</sup> Böden. Falls solche ungünstigen Baugrundeigenschaften vorliegen, wurden sie bei der Konstruktion berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
<b>Bemerkungen</b>				

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Reinigungs- und Absetzbecken

Einbaukomponenten in Klärbecken und Anlagenteile, wie Überläufe, Rinnen, Rohrleitungen und Trennwände, sind massive ausgeführt bzw. gut befestigt und damit unempfindlich gegen Wellenschlag und Erschütterungen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Montierte Ausrüstungen und Anbauten, wie Laufstege und Rohrleitungen, sind gut befestigt und aus duktilem Material bzw. mit flexiblen Kupplungen ausgerüstet. Somit können sie mögliche differentielle Bewegungen verschiedener Beckenteile mitmachen?	ja	nein	unbek.	n. z.
Räumwerkzeuge sind solide ausgeführt, zeigen keine starke Korrosion und sind auf ihren Führungsschienen gehalten, damit sie nicht herauspringen oder verkippen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Automatische Schlammräumer schalten sich nach einem Erdbeben ab, bis allfällige Schäden bestimmt werden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Eventuell herunterfallende Teile führen im Becken nicht zu Verstopfungen.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_  
Blatt: \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Bemerkungen****Legende**

- ja trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  
nein / unbek. nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu diesem Klärbecken zu treffen sind  
n. z. nicht zutreffend

**Konsequenzen und Handlungsbedarf**

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

**Einstufung**

Zustand: gut / mittel / schlecht

Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering

Priorität: 1 / 2 / 3

**Handlungsbedarf**

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste chemische Klärung

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens eines Anlagenteils der chemischen Klärung)

Objekt:				
Anlagenteil:				
Funktion:	Verwendete Chemikalien: _____			
Bautyp / Baujahr:	Abmessungen: _____			
Tag der Begutachtung:	Gutachter: _____			

### Geotechnische Gefährdung

Anlagen der chemischen Klärung stehen nicht im Bereich geotechnischer Gefahren, wie Kriechhänge, Erdrutsche und Sackungen, die einen Einfluss auf die Anlage haben.	ja	nein	unbek.	n. z.
Anlagen der chemischen Klärung stehen nicht auf verflüssigungsempfindlichen <sup>1</sup> und setzunggefährdeten <sup>2</sup> Böden. Falls solche ungünstigen Baugrundeigenschaften vorliegen, wurden sie bei der Konstruktion berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Gelagerte Chemikalien

Chemikalien, die in Säcken abgefüllt sind und in Regalen lagern, sind so aufbewahrt, dass die Regale nicht umkippen und die Säcke nicht aus den Regalen herausfallen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Gestapelt Säcke sind nicht höher als 1.2 m gelagert oder können keine anderen Ausrüstungsteile beschädigen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Chemikalien sind so gelagert, das sie nicht auslaufen können.	ja	nein	unbek.	n. z.
Chemische Lagertanks und Behälter sind solide befestigt bzw. verankert und gegen Umkippen gesichert (für grosse Lagertanks siehe Checkliste Tankbauwerke).	ja	nein	unbek.	n. z.

### Ausrüstung der chemischen Klärung

Rohre und Leitungen sind angemessen befestigt und besitzen flexible Verbindungen. Sie können differenzielle Bewegungen aufnehmen.	ja	nein	unbek.	n. z.
---	----	------	--------	-------

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Chemische Transport- und Zugabesysteme, Einspritzanlagen und deren Einhausungen sind robust ausgeführt, befestigt bzw. verankert und gegen Kippen und Gleiten gesichert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Kontroll- Monitor- und Schalteinheiten (z.B. Steuer- und Schaltschränke) sind verankert und gegen Umkippen gesichert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Anlagenelemente, wie Kräne, sind gesichert, dass sie nicht auf chemische Ausrüstungsteile fallen können.	ja	nein	unbek.	n. z.
Eine redundante Stromversorgung, z.B. Notstromversorgung, ist für wichtige chemische Zugabesysteme vorhanden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

### Legende

- ja                   trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  
 nein / unbek.      nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu diesem Anlagenteil der chemischen Klärung zu treffen sind  
 n. z.                nicht zutreffend

### Konsequenzen und Handlungsbedarf

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

<b>Einstufung</b> Zustand: gut / mittel / schlecht      Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering      Priorität: 1 / 2 / 3		
<b>Handlungsbedarf</b>		

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Tankbauwerk

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens eines Tankbauwerkes)

Objekt:				
Anlagenteil:				
Hersteller:	Funktion: _____			
Kapazität:	Abmessungen: _____			
Bautyp:	Baujahr: _____			
Tag der Begutachtung:	Gutachter: _____			

### Geotechnische Gefährdung

Das Tankbauwerk steht nicht im Bereich geotechnischer Gefahren, wie Kriechhänge, Erdrutsche und Sackungen, die einen Einfluss auf die Anlage haben.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Tankbauwerk steht nicht auf verflüssigungsempfindlichen <sup>1</sup> und setzungsgefährdeten <sup>2</sup> Böden. Falls solche ungünstigen Baugrundeigenschaften vorliegen, wurden sie bei der Konstruktion berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Allgemeine Gefährdung

Die Zu- und Ableitungsrohre des Tanks besitzen flexible Anschlüsse und erlauben eine differentielle Bewegung.	ja	nein	unbek.	n. z.
Es ist ein ausreichender Freibord zwischen höchsten Füllstand und dem Dach oder anderer Elemente vorhanden, um Schäden durch Wellenschlag vorzubeugen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Überlaufleitung ist angemessen ausgesteift.	ja	nein	unbek.	n. z.
Im Tank verlaufende Rohleitungen sind ordnungsgemäß befestigt und besitzen flexible Verbindungsstücke beim Übergang zu angrenzenden Gebäudeteilen. Alle Ventile und Schieber sind robust ausgeführt und befestigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Treppen, Podeste und Anbauten, die an den Tank montiert sind, besitzen genügend Flexibilität und erlauben eine Bewegung des Tanks	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

### **Stahltanks**

Der Tank ist ordnungsgemäss fundiert und gegen einseitiges Abheben ausreichend verankert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Der Tank zeigt keine Korrosionsschäden, und das Fundament ist in einem guten Zustand?	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

### **Betontanks**

Der Tank ist kraftschlüssig, z.B. durch Anschlussbewehrung, mit dem Fundament verbunden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Der Tank ist in einem guten Zustand. Es sind keine grossen Risse und korrodierte Bewehrungsstäbe sichtbar.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Tankdach ist ordnungsgemäss mit den Tankwänden verbunden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

### **Legende**

- |               |  |
|---------------|--|
| ja            | trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an   |
| nein / unbek. | nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu diesem Tankbauwerk zu treffen sind |
| n. z.         | nicht zutreffend   |

### **Konsequenzen und Handlungsbedarf**

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

--	--	--

### **Einstufung**

Zustand: gut / mittel / schlecht

Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering

Priorität: 1 / 2 / 3

### **Handlungsbedarf**

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Hochbau

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens eines Gebäudes der Abwasserbehandlung, anzuwenden bei Gebäuden, die nicht speziell auf Erdbeben bemessen wurden - Baujahr vor 1990)

Objekt: _____	
Anlagenteil: _____	
Funktion: _____	
Bauweise: _____	
Abmessungen: _____	Baujahr: _____
Tag der Begutachtung: _____	Gutachter: _____

### Geotechnische Gefährdung

Das Gebäude steht nicht im Bereich geotechnischer Gefahren, wie Kriechhänge, Erdrutsche und Sackungen, die einen Einfluss auf die Anlage haben.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Gebäude steht nicht auf verflüssigungsempfindlichen <sup>1</sup> und setzungsgefährdeten <sup>2</sup> Böden. Falls solche ungünstigen Baugrundeigenschaften vorliegen, wurden sie bei der Konstruktion berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Erdbebenverhalten des Gebäudetragwerks

Das Aussteifungssystem im Grundriss des Gebäudes ist günstig, d.h. Aussteifungselemente sind regelmässig verteilt, Masse- und Schubmittelpunkt liegen etwa übereinander und das System ist torsionssteif.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Aussteifungssystem im Aufriss des Gebäudes ist durchgehend über alle Stockwerke.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Aussteifungssystem besteht aus Stahlbetontragwänden, Kernen oder Rahmen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Gebäude besteht nicht aus Mauerwerk oder unbewehrtem Beton.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Gebäude hat einen kompakten symmetrischen Grundriss.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen:				

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

### Erdbebenverhalten der Einbauteile

Prozessanlagen, wie Reaktoren, Dekanter, Gebläse, Zentrifugen oder Schlammpressen, sind robust gebaut, zeigen keine Korrosionsschäden und sind in einem guten Zustand.	ja	nein	unbek.	n. z.
Prozessanlagen sind ordnungsgemäss fundiert und geben Umkippen und Gleiten verankert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Anlagenkomponenten, wie Kräne, sind gesichert, dass sie nicht auf andere Ausrüstungsteile fallen können.	ja	nein	unbek.	n. z.
Rohrleitungen sind regelmässig befestigt und Verbindungstücke sind flexibel ausgebildet, um differenzielle Bewegungen auszugleichen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Kontroll- und Monitoreinheiten (z.B. Schalt- und Steuerschränke) sind ordnungsgemäss verankert und gegen Kippen gesichert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Lagermaterial ist befestigt und gegen Umkippen gesichert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Es ist eine redundante Stromversorgung, z.B. Notstrom, für die wichtigsten Prozesse vorhanden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

### Legende

- |               |   |
|---------------|---|
| ja            | trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  |
| nein / unbek. | nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu diesem Gebäude der Abwasserbehandlung zu treffen sind |
| n. z.         | nicht zutreffend  |

### Konsequenzen und Handlungsbedarf

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

Bemerkungen:

### Einstufung

Zustand: gut / mittel / schlecht      Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering      Priorität: 1 / 2 / 3

### Handlungsbedarf

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Pumpenanlage

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens einer Pumpenanlage)

Objekt:				
Gebietsabschnitt:				
Pumpentyp:		Baujahr:		
Energieversorgung:				
Tag der Begutachtung:		Gutachter:		

### Geotechnische Gefährdung

Die Pumpenanlage steht nicht in einem Bereich geotechnischer Gefahren, wie Kriechhänge, Erdrutsche, Sackungen etc., die einen Einfluss auf die Anlage haben.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Pumpenanlage steht nicht auf verflüssigungsempfindlichen <sup>1</sup> und setzungsgefährdeten <sup>2</sup> Böden. Falls solche ungünstigen Baugrundeigenschaften vorliegen, wurden sie bei der Konstruktion berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Konstruktive Ausführung

Das Pumpengehäuse ist fest mit dem Fundament verbunden und Verankerungen der Pumpe sind robust ausgeführt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Der Motor und die Pumpe sind auf einem gemeinsamen Fundament verankert, damit keine differenziellen Verformungen auftreten (z.B. bei Schneckenpumpen).	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Rohrhalterung ist am gleichen Fundament befestigt wie die Pumpe, damit keine zusätzlichen Spannungen auftreten.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Pumpenanlage zeigt keine wesentlichen Korrosionsspuren.	ja	nein	unbek.	n. z.
Der Pumpenmotor bei hohen Pumpen ist oberhalb des Schwerpunktes abgestützt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Wichtige zur Pumpenanlage gehörende Anbau- und Prozessteile (z.B. Rohrleitungen und Schieber) sind ausreichend gehalten und flexibel ausgeführt, um differentielle Verformungen mitzumachen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Pumpe erleidet bei Überflutung keinen Schaden bzw. ist gegen Überflutung geschützt.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_

Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Bei Tauchpumpen kann ein Schwappen des Wassers die Pumpe nicht beschädigen.	ja	nein	unbek.	n. z.
Das Pumpenhaus wird ebenfalls auf Erdbebensicherheit überprüft (siehe Checkliste für Hochbauten).	ja	nein	unbek.	n. z.
Eine redundante Stromversorgung, z.B. Notstrom, ist verfügbar.	ja	nein	unbek.	n. z.
Strom-, Schalt- und Steuerkästen sind verankert und gegen Umkippen gesichert.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

**Legende**

- ja                    trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  
 nein / unbek.      nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen zu diesem Pumpwerk zu treffen sind  
 n. z.                nicht zutreffend

**Konsequenzen und Handlungsbedarf**

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

<div style="border: 1px solid black; height: 700px; width: 100%;"></div>		
<b>Einstufung</b>	Zustand: gut / mittel / schlecht	Verletzbarkeit: hoch / mittel / gering
<b>Handlungsbedarf</b> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>		

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Beurteilungscheckliste Rohrleitung

(Checkliste zur Einschätzung des Erdbebenverhaltens eines Kanalisationsschnittes)

Objekt: _____	
Kanalisationsschnitt: _____	
Tag der Begutachtung: _____	Gutachter: _____

### Geotechnische Gefährdung

Im Bereich der Rohrleitungsführung sind geotechnischen Naturgefahren, wie Erdrutsche, Kriechhänge und Sackungen, bekannt. Effekte starker Rohrleitungsdeformationen wurden in diesen Gebieten berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Alle Rohrleitungsabschnitte, die verflüssigungsempfindliche <sup>1</sup> und setzungsgefährdete <sup>2</sup> Böden kreuzen, sind bekannt. Effekte grosser Setzungen bzw. des Rohrleitungsaufschwimmens wurden in diesen Gebieten berücksichtigt.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bemerkungen

<sup>1</sup>Feinsand und Silt in lockerer Lagerung unterhalb des Grundwasserspiegels

<sup>2</sup>strukturempfindliche Böden, wie z.B. Torf oder Seekreide

### Verletzbarkeit der Rohrleitung

Die Rohrleitung ist in einem guten Zustand und zeigt keine grosse Rissbildung oder Korrosionsschäden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bauwerksanschlüsse der Rohrleitungen (z.B. Schachteingänge) sind flexibel ausgeführt, um differenzielle Bewegungen aufzunehmen.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bemerkungen

### Rohrleitungen – unterirdisch verlegt

Rohrleitungsverbindungen sind flexibel ausgeführt und können Bewegungen ausgleichen (z.B. Steinzeugrohre mit Gummimuffen).	ja	nein	unbek.	n. z.
Alle Rohrleitungen, die Flüsse kreuzen, wurden identifiziert.	ja	nein	unbek.	n. z.

Bemerkungen

### Rohrleitungen – oberirdisch verlegt

Das Rohrleitungsmaterial ist duktil und die Rohrleitungsverbindungen sind flexibel ausgeführt (z.B. Kunststoff- oder Stahlrohre mit flexiblen Muffenverbindungen).	ja	nein	unbek.	n. z.
--	----	------	--------	-------

Bauwerkskürzel: \_\_\_\_\_  
 Blatt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Die Haltepunkte der Rohrleitung sind massiv ausgeführt und in ausreichenden Abständen angeordnet, so dass keine Schäden an Leitung und Verbindungen durch Vibrationen auftreten können.	ja	nein	unbek.	n. z.
Die Rohrleitungsfundationen wurden massiv und ingenieurmässig ausgeführt.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

### Sonstiges zu Rohrleitungen

Gebiete, in denen schwere Schäden zu erwarten sind, z.B. durch Erdutsche, können schnell vom restlichen Leitungssystem entkoppelt werden.	ja	nein	unbek.	n. z.
Material, Personal und Ausrüstung sind zur Rohrleitungsreparatur nach einem Erdbeben verfügbar.	ja	nein	unbek.	n. z.
Bemerkungen				

### Legende

- |               |   |
|---------------|---|
| ja            | trifft zu und zeigt einen akzeptablen Zustand an  |
| nein / unbek. | nein / unbekannt zeigen an, dass weitere Abklärungen für diesen Leitungsabschnitt zu treffen sind |
| n. z.         | nicht zutreffend  |

### Konsequenzen und Handlungsbedarf

Zusammenfassung der Punkte, die mit "nein" oder "unbek." angestrichen wurden. Kurzbeschreibung der Problempunkte und Vermerken des nächsten Arbeitsschrittes bzw. möglicher Massnahmen.

Bereiche der Rohrleitung, die weitergehende Abklärungen und Untersuchungen erfordern:

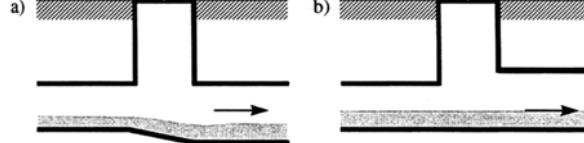
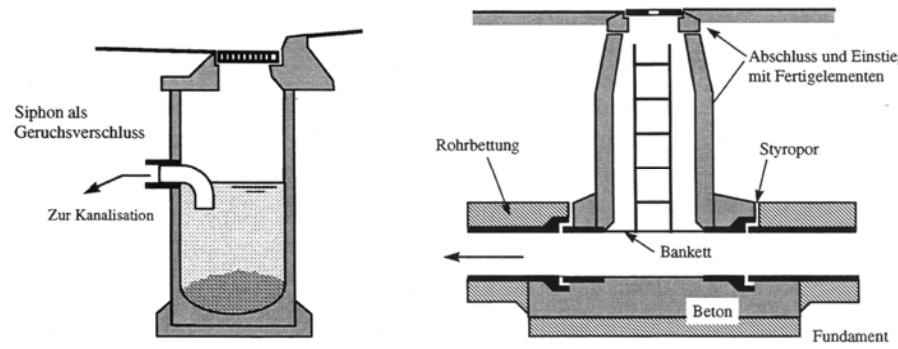
## Anhang D–1: Verletzbarkeit der Kanalisation

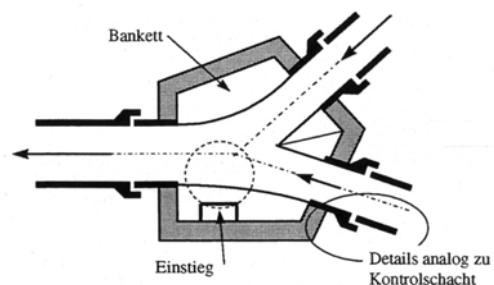
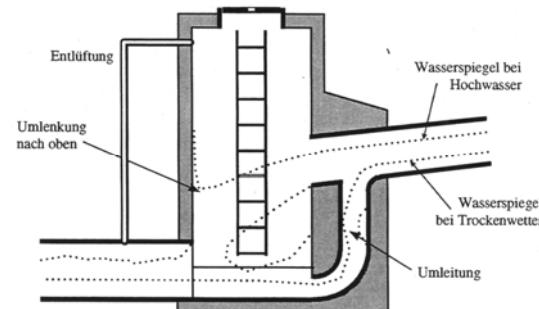
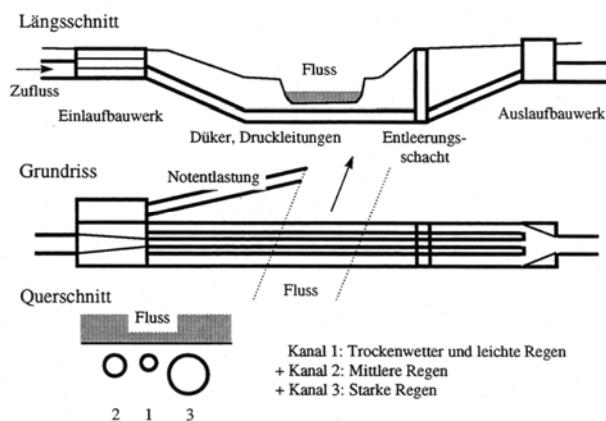
### Grundlegende Eigenschaften der Kanalisation

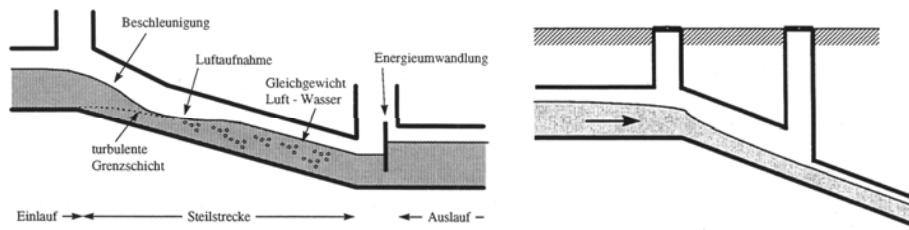
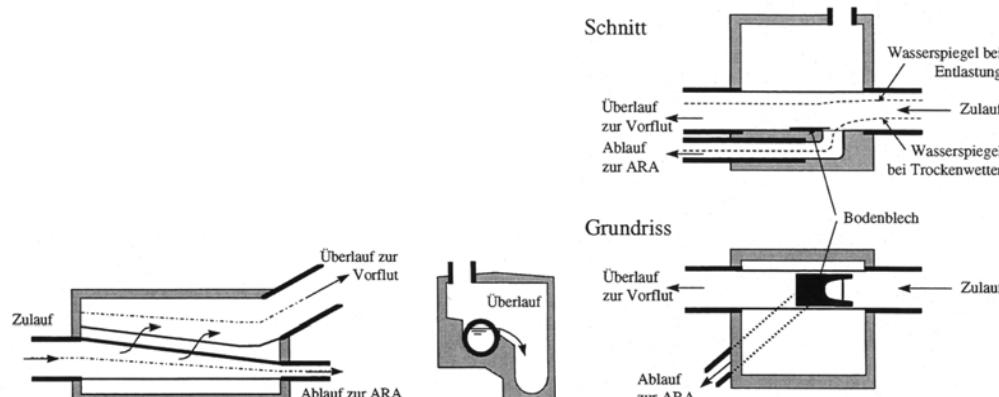
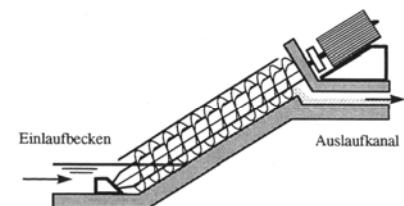
- Gravitationssystem mit freiem Wasserspiegel (Ausnahme: Düker, Druckleitungen)
- Differenzielle Verschiebungen zwischen Systemteilen infolge Erdbebeneinwirkungen können zu betrieblichen Beeinträchtigungen führen
- Ausführung meist mit grossen Durchmessern in Ortbeton oder vorgefertigten Betonelementen
- Undichtigkeiten werden an der Oberfläche nicht registriert, visuelle Begutachtung der Rohleitungen erforderlich

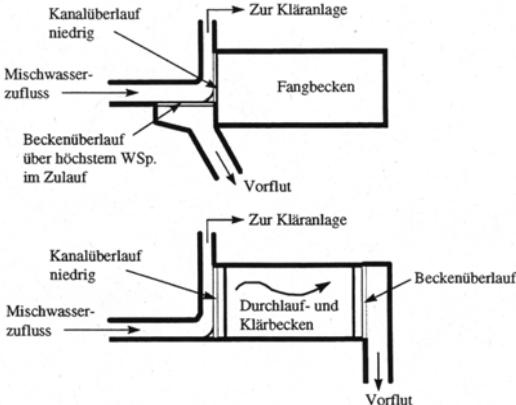
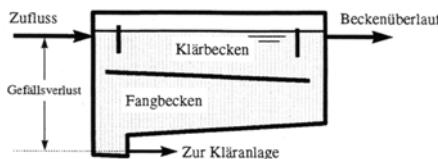
### Übersicht der behandelten Komponenten der Kanalisation

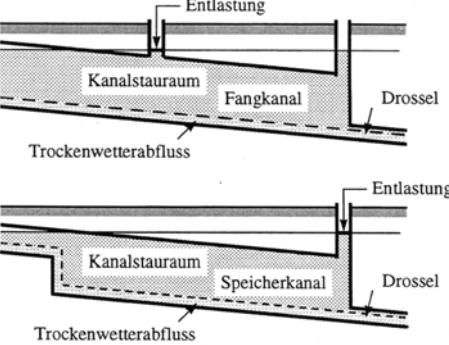
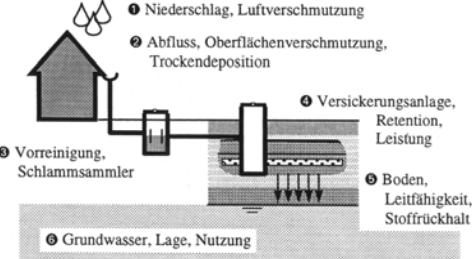
1. Entwässerung
2. Abwasserleitungen
3. Profilwechsel
4. Schachtbauwerke
5. Kanalvereinigungen
6. Absturzbauwerke aus Beton
7. Düker
8. Steilleitungen
9. Kanaalentlastung
10. Siebe und Rechen
11. Abwasserpumpwerke
12. Drosselstrecken
13. Regenbecken
14. Fang- und Speicherkanäle
15. Einleitbauwerke

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
1 Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudeentwässerung</li> <li>• Grundstücksentwässerung</li> <li>• Strassenentwässerung:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Versickerung, Zuleitung zu einem Vorfluter oder Einlaufschächte mit Schlammsammler</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schäden der Anschlüsse von Rohleitungen und Halterungen</li> </ul>	gering
2 Abwasserleitungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meistens Freispiegelleitungen aus Beton, Steinzeug, Faserzement oder Kunststoff mit Durchmesser bis 1m</li> <li>• Hohe Anforderungen an Dichtigkeit der Anschlüsse und Muffen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rissbildung</li> <li>• ganzer oder partieller Einsturz bei grossen Durchmessern</li> <li>• Beulen und Knicken</li> <li>• Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>• Verschiebung der Rohrübergänge</li> <li>• Schädigung der Anschlässe, Muffen und Dichtungen, Durchstanzen bei T-Stücken</li> <li>• Schädigung durch Rutschungen des umgebenden Bodens</li> </ul>	gering bis mittel
3 Profilwechsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme des erforderlichen Kanalquerschnittes mit Kontrollschaft               <ul style="list-style-type: none"> <li>- scheitelbündiger und sohlenbündiger Profilwechsel der Kanalisation</li> </ul> </li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rissbildung</li> <li>• Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>• Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>• Schiefstellung</li> </ul>	gering
4 Schachtbauwerke	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einlaufschacht und Kontrollschaft als Betonbauwerk               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zugang, Überwachung, Unterhalt und Lüftung</li> </ul> </li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rissbildung</li> <li>• Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>• Verschiebung vorgefertigter Tubusringe</li> <li>• Schiefstellung</li> <li>• Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> </ul>	gering bis mittel

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
5 Kanalvereinigungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betonbauwerk</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schiefstellung</li> </ul>	gering
6 Absturzbauwerke aus Beton	<ul style="list-style-type: none"> <li>Absturzschacht bis 10m Höhe</li> <li>Wirbelfallschacht</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schiefstellung</li> </ul>	gering
7 Düker	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überwindung von Hindernissen als Druckleitung</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>Knicken und Beulen</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> </ul>	mittel

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
8 Steileitungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überwindung von Höhenunterschieden, Gefällewechsel, hohe Fließgeschwindigkeit</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schädigung durch Rutschungen</li> <li>Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>Knicken und Beulen</li> <li>Verstopfungen</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> </ul>	gering bis mittel
9 Kanalentlastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenüberlauf, Kanalentlastung und Hochwasserentlastung als Überlaufschwelle (Streichwehr) oder Sprungwehr, Betonbauwerk</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schiefstellung</li> </ul>	mittel
10 Siebe und Rechen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zurückhaltung von Grob- und Feinstoffen aus entlastetem Mischwasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beulen und Knicken</li> <li>Verstopfung</li> <li>Schädigung der Anschlässen</li> </ul>	gering bis mittel
11 Abwasserpumpwerke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schneckenpumpen oder Kreiselpumpen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>differenzielle Setzungen</li> <li>Beulen und Biegen</li> <li>Verstopfung und Blockierung</li> <li>Schädigung der Rohrverbindungen und Dichtungen</li> <li>Schäden des Pumpenhaus und der Pumpeneinrichtung</li> <li>Ausfall der Energieversorgung</li> </ul>	mittel bis hoch

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
12 Drosselstrecken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kanalrohre teilweise unter Druck, um Durchfluss zu begrenzen (Ablauf von Entlastungs- und Rückhaltebauwerke kontrollieren)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Einsturz bei grossen Durchmessern</li> <li>Beulen und Knicken</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schädigung der Anschlüsse, Muffen und Dichtungen</li> </ul>	mittel
13 Regenbecken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenrückhaltebecken (nur Meteorwasser), grosse Volumen</li> <li>Regenklärbecken (Klären von verschmutztem Regenwasser im Trennsystem)</li> <li>Schmutzwasserspeicher</li> <li>Regenüberlaufbecken (Speichern und Klären von Mischwasser)             <ul style="list-style-type: none"> <li>Fangbecken, speichert den ersten Teil des Regenabflusses</li> <li>Durchlauf- oder Klärbecken, Wasser fliesst nach Überlauf durch das Becken; Sedimentation, bei Überlauf in Vorflut</li> <li>Verbundbecken, Funktionen Fangen und Klären vereinigt</li> </ul> </li> </ul>  <p>Vergleich eines Fangbeckens und eines Durchlaufbeckens im Nebenschluss</p>  <p>Längsschnitt durch ein Verbundbecken im Hauptschluss</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schädigung der Anschlüsse und Dichtungen</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schiefstellung</li> <li>Deckeneinbruch</li> </ul>	mittel

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
14 Fang- und Speicherka- näle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kanäle mit grossem Durchmesser als Speichervolumen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Einsturz</li> <li>Beulen und Knicken</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schädigung der Anschlüsse, Muffen und Dichtungen</li> </ul>	mittel
15 Einleitbau- werke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einleitung von Abwasser in eine Vorflut, Bauwerk mit Uferbefestigung</li> <li>Versickerung (in der Schweiz verboten) <ul style="list-style-type: none"> <li>Versickerungsbecken für Regenwasser</li> <li>Versickerungsanlage</li> </ul> </li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verstopfung und Blockierung</li> <li>Schädigung der Anschlüsse</li> </ul>	gering

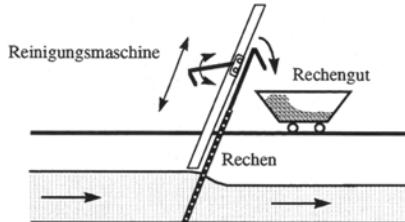
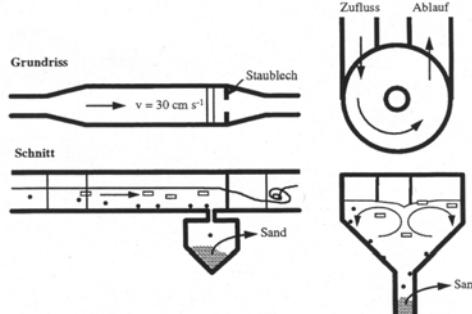
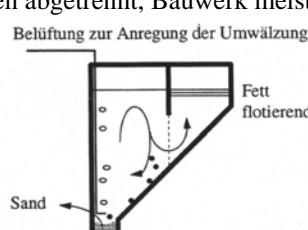
## Anhang D–2: Verletzbarkeit der Kläranlagen

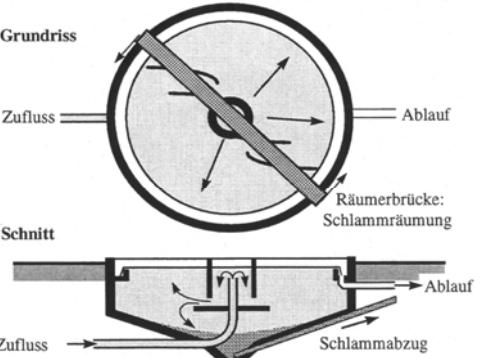
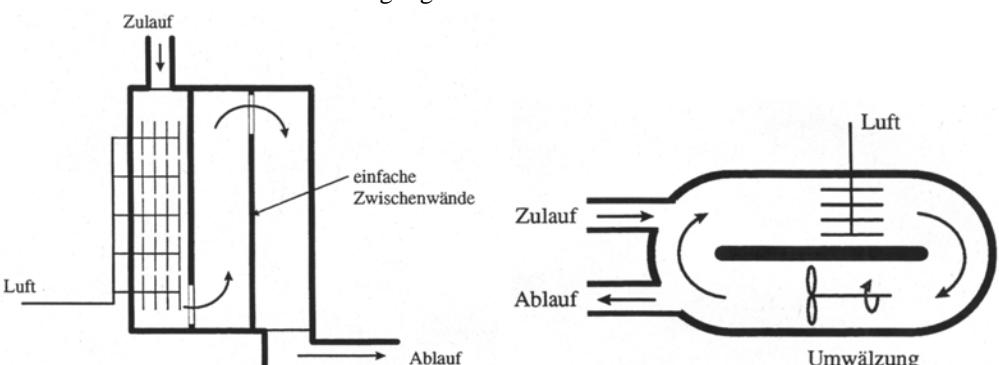
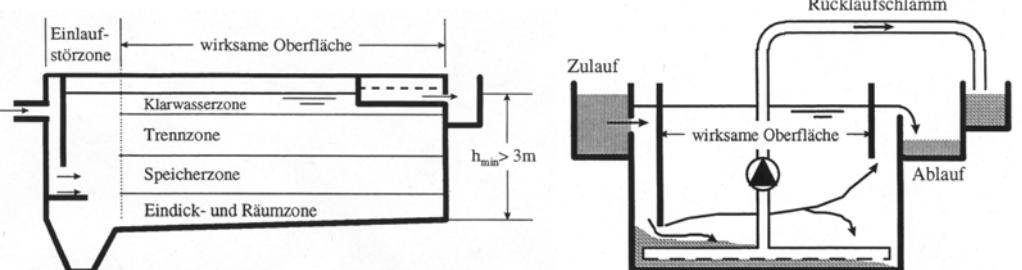
### Grundlegende Eigenschaften von Kläranlagen

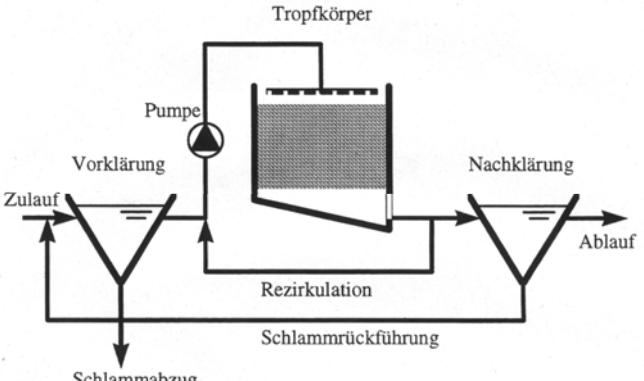
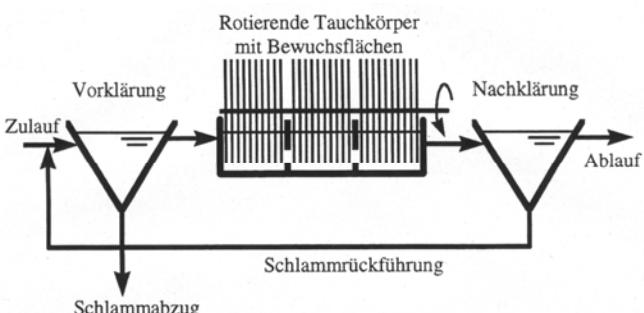
- Gravitationssystem mit freiem Wasserspiegel
- Differenzielle Verschiebungen zwischen Systemteilen infolge Erdbebeneinwirkungen können zu betrieblichen Beeinträchtigungen führen
- Im allgemeinen robuste Beckenkonstruktionen aus vorgespanntem Beton, meist ebenerdig oder nur leicht über ursprünglichem Terrain
- Mechanische Einrichtungen sind einfach und robust
- Größere Anlagen sind als parallel verlaufende Behandlungsstrassen aufgebaut, so dass die Anlage bei Reparatur und Unterhalt weiter betrieben werden kann.
- 3 Stufen Reinigung: mechanisch, biologisch, chemisch

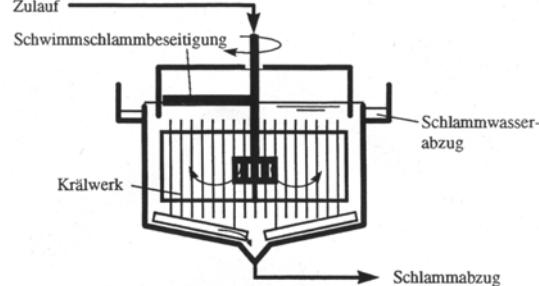
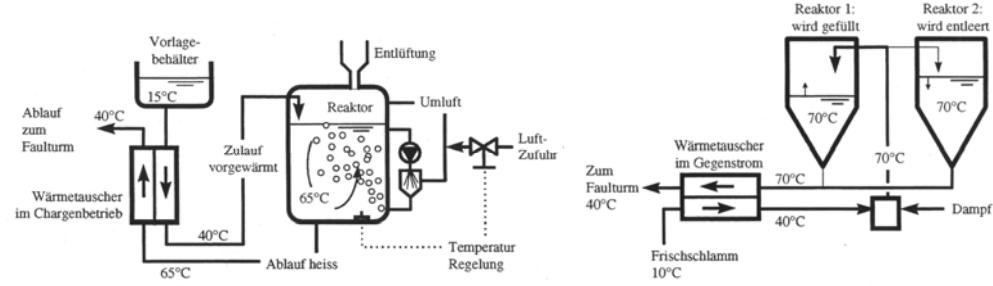
### Übersicht der behandelten Komponenten der Kläranlagen

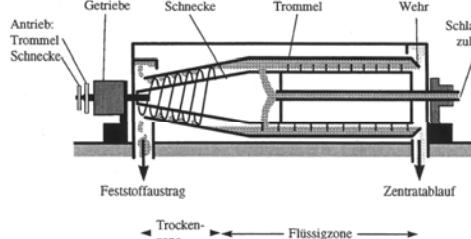
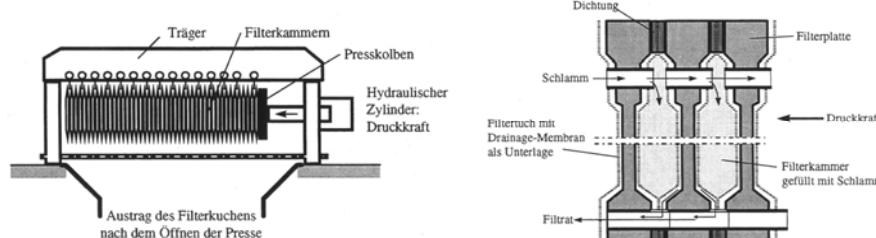
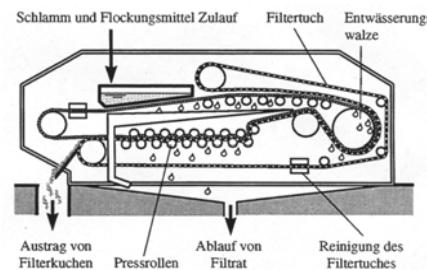
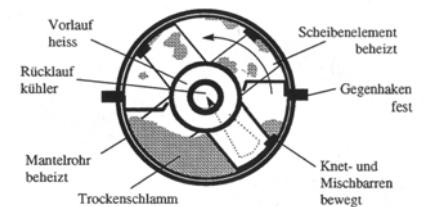
1. Rechen
2. Sandfang
3. Fettfang
4. Vorklärbecken
5. Belüftungsbecken bzw. Belebungsbecken
6. Nachklärbecken
7. Tropfkörperverfahren
8. Tauchkörperverfahren
9. Kleinkläranlagen
10. Schlammbehandlung Eindicker
11. Faulraum
12. Schlammtapel
13. Hygienisierung
14. Entwässerung
15. Trocknung

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
1 Rechen	<ul style="list-style-type: none"> <li>trennt Feststoffe grösser als 5-20mm ab</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden am Rechen</li> <li>Verbiegen und Verklemmen</li> <li>Umkippen des Rechengutes</li> </ul>	gering bis mittel
2 Sandfang	<ul style="list-style-type: none"> <li>mineralische Feststoffe werden abgetrennt, Sand wird gewaschen und deponiert</li> <li>massives Betonbauwerk</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Schwappen des Abwassers</li> </ul>	gering
3 Fettfang	<ul style="list-style-type: none"> <li>aufschwimmende Stoffe werden abgetrennt, Bauwerk meist mit Sandfang kombiniert</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Schwappen des Abwassers</li> </ul>	gering

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
4 Vorklärbetten	<ul style="list-style-type: none"> <li>langsam sedimentierende Feststoffe, mechanische Sammlung</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Beschädigung des Kettenräumers bzw. der Räumerbrücke</li> <li>Wellenschlag des Abwassers</li> </ul>	mittel
5 Belüftungsbecken bzw. Belebungsbecken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bakterien zirkulieren über den Rücklaufschlamm, bauen Schmutzstoffe ab, Belüftung durch Sauerstoff verbessert Lebensbedingungen der Bakterienkulturen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Wellenschlag des Abwassers</li> </ul>	gering bis mittel
6 Nachklärbetten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trennung des Belebtschlammes vom gereinigten Abwasser durch Sedimentation</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung des Beckens</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Schädigung der Räumeinrichtung</li> <li>Wellenschlag des Abwassers</li> </ul>	gering bis mittel

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
7 Tropfkörperv erfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorgeklärtes Abwasser wird über ca. faustgrossen Steinen verregnet, auf welchen sich die aktive Biomasse bildet, vor allem kleine Anlagen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung der Anlage</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Schäden am Behälter des Tropfkörpers</li> </ul>	mittel
8 Tauchkörperv erfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotierende Tauchkörper mit Bewuchsflächen für kleinere Anlagen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung der Anlage</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Schäden an Tauchkörpern</li> </ul>	mittel
9 Kleinkläranlagen	<p>Kleinkläranlagen für abgelegene kleine Abwasserquellen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Abwasserfaulraum</li> <li>Verfahren mit Bodenpassage</li> <li>Abwasserteiche</li> <li>Pflanzen- bzw. Wurzelkläranlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schädigung der Abdichtungen</li> </ul>	gering

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
10 Schlammbehandlung Eindicker	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumenverminderung durch Eindicken</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rissbildung</li> <li>Schiefstellung des Beckens</li> <li>Aufschwimmen bei sich verflüssigenden Böden</li> <li>Schäden an Anschlüssen und Rohrleitungen</li> <li>Schädigung des Krälwerks</li> <li>Schwappen des Schlammgutes</li> </ul>	gering bis mittel
11 Faulraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abbaubare organische Stoffe werden zersetzt mit Biogasentwicklung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden an Reaktorbehältern, Rissbildung, Beulen, Kippen</li> <li>Schäden an Anschlüssen, Rohrleitungen Dichtungen</li> </ul>	mittel
12 Schlammstapel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lagerung und Stapelung des ausgefaulten Schlammes, weitere Eindickung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden an den Lagerbehältern, Rissbildung</li> </ul>	gering
13 Hygienisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abtötung von Keimen bei 60 - 70 °C in Reaktoren</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden an Reaktorbehältern, Rissbildung, Beulen, Kippen</li> <li>Schäden an Anschlüssen, Rohrleitungen Dichtungen</li> </ul>	mittel

Element	Konstruktion	Gefährdung	Verletzbarkeit
14 Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dekanter</li>  <li>Filterpressen</li>  <li>Bandfilterpressen</li>  </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden an Behältern und Anlagenteilen, Rissbildung, Beulen, Kippen</li> <li>Schäden an Anschlüssen, Rohrleitungen</li> </ul>	mittel
15 Trocknung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Klärschlammertrockner</li>  </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden an Behältern und Anlagenteilen, Rissbildung, Beulen, Kippen</li> <li>Schäden an Anschlüssen, Rohrleitungen</li> </ul>	mittel