

VCI-LEITFADEN

DER LASTFALL ERDBEBEN IM ANLAGENBAU

Entwurf, Bemessung und Konstruktion
von Tragwerken und Komponenten in der Chemischen Industrie
in Anlehnung an DIN EN 1998-1

März 2022 – Rev. 03/23

An der aktuellen Version des Leitfadens und den dazu gehörigen Erläuterungen haben mitgearbeitet:

- F. Bode BASF SE
- C. Butenweg Center for Wind and Earthquake Engineering, RWTH Aachen
- S. Ewert Bayer AG
- T. Höchst Verband der Chemischen Industrie e.V.
- B. Holtschoppen SDA-engineering GmbH
- G. Kniess BASF SE
- C. Welker Evonik Operations GmbH
- R. Zeller Evonik Operations GmbH

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Thilo Höchst

Bereichsleiter Umweltschutz, Anlagensicherheit, Verkehr
Abteilung Wissenschaft, Technik und Umwelt
T +49 (69) 2556-1507 | E hoechst@vci.de

Verband der Chemischen Industrie e.V. – VCI

Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt

www.vci.de | www.ihre-chemie.de | www.chemiehoch3.de
[LinkedIn](#) | [Twitter](#) | [YouTube](#) | [Facebook](#)

- Registernummer des EU-Transparenzregisters: 15423437054-40
- Der VCI ist in der „öffentlichen Liste über die Registrierung von Verbänden und deren Vertretern“ des Deutschen Bundestags registriert.

Der VCI vertritt die wirtschaftspolitischen Interessen von über 1.700 deutschen Chemie- und Pharmaunternehmen sowie deutschen Tochterunternehmen ausländischer Konzerne gegenüber Politik, Behörden, anderen Bereichen der Wirtschaft, der Wissenschaft und den Medien. 2021 setzte die Branche rund 220 Milliarden Euro um und beschäftigte über 466.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Rechtliche Hinweise

Der vorliegende VCI-Leitfaden „Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau, März 2022“ entbindet in keinem Fall von der Verpflichtung zur Beachtung der gesetzlichen Vorschriften. Der Leitfaden wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen die Verfasser und der VCI keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben, Hinweise, Ratschläge, sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können deswegen keine Ansprüche, weder gegen die Verfasser noch gegen den VCI, geltend gemacht werden. Dies gilt nicht, wenn die Schäden vom VCI oder seinen Erfüllungshelfern vorsätzlich oder grob fahrlässig verursacht wurden.

Übersicht über die wesentlichen Änderungen zu den Erläuterungen zum Leitfaden 2012

- 1) Einarbeitung der Neuerungen aus dem 2021 aktualisierten Nationalen Anwendungsdokument zu Eurocode 8 Teil 1 (DIN EN 1998-1/NA:2021) bzgl. der Beschreibung der Erdbebeneinwirkung; insbesondere:
 - Abschnitt 5.1: Zonenfreie Darstellung der Erdbebeneinwirkung; Plateauwert des Antwortspektrums $S_{aP,R}$ als Eingangswert zur Berechnung des Antwortspektrums (bisher: a_{gR})
 - Tabelle 5.1: Anpassung der betrachteten H-Sätze
 - Abschnitt 5.2: Bodenparameter S abhängig vom Untergrundverhältnis am Standort und von der Höhe der Spektralbeschleunigung im Plateaubereich $S_{aP,R}$
 - Absatz 5.4(2): Beschreibung der Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung
- 2) Abschnitte 1(4) u. 5.1(2): Hinweis, dass auch in Gebieten sehr geringer Seismizität ein Nachweis der Erdbebensicherheit erforderlich sein kann
- 3) Abschnitt 3: Erweiterung der Begriffsdefinitionen um den Begriff „Einbauten“
- 4) Abschnitte 4 und 7.2: Hinweise zur Auslegung von Verankerungen
- 5) Abschnitt 4.c: Ergänzung der Hinweise zu Entwurf und konstruktiver Auslegung durch weitere bildliche Erläuterungen
- 6) Abschnitt 6.1.b: Hinweis zu Dämpfungswerten und Verhaltensbeiwerten für Silos und Tankbauwerke
- 7) Abschnitt 6.2: Ausführlichere Erläuterungen zu nichtlinear-statischen Berechnungsverfahren
- 8) Abschnitt 6.4: Erläuternde Ergänzungen bei der Parameterbeschreibung zur vereinfachten Einbautenformel
- 9) Absatz 7.2(1): Nachweis der Funktionsfähigkeit sicherheitsrelevanter Elemente im Grenzzustand der Tragfähigkeit
- 10) Absatz 10(5): Festlegung der Erdbebeneinwirkung für Anlagen mit geringer Restbetriebszeit
- 11) Absatz 10(6): Hinweis auf mögliche nichtlinear-statische Berechnungsverfahren für die Beurteilung bestehender Anlagen
- 12) Gesamtes Dokument: Redaktionelle Änderungen und Ergänzungen

Änderungen in der Revision von März 2023:

- 1) Abschn. 5.2 der Erläut.: Referenz auf Änderung DIN EN 1998-1/NA/A1:2023
- 2) Gesamtes Dokument: Redaktionelle Änderungen und Ergänzungen

Inhaltsverzeichnis

Übersicht über die wesentlichen Änderungen zum Leitfaden 2012.....	3
Einleitung	6
1. Anwendungsbereich.....	6
2. Normative Verweisungen	6
3. Begriffe	6
4. Entwurf und konstruktive Auslegung.....	7
4.a Tragstrukturen von Anlagen	7
4.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen.....	7
4.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen im Tragwerk	8
5. Erdbebeneinwirkung.....	8
5.1 Seismische Einwirkung am Bauwerksstandort.....	8
5.2 Untergrundverhältnisse, Geologie und Baugrund.....	9
5.3 Bedeutungsbeiwerte	9
5.4 Regeldarstellung der Erdbebenwirkung.....	11
5.5 Kombinationen der Einwirkung mit anderen Einwirkungen	12
6. Berechnungsgrundsätze	13
6.1 Modellabbildung.....	13
6.1.a Tragstrukturen von Anlagen	13
6.1.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen.....	14
6.1.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen	15
6.2 Berechnungsverfahren.....	15
6.3 Berechnung der Verformungen	16
6.4 Nicht tragende Bauteile und Rohrleitungen.....	16
7. Sicherheitsnachweise.....	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit	18
7.2.a Tragstrukturen von Anlagen	18
7.2.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen.....	18
7.2.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen	18
7.3 Nachweis der Schadensbegrenzung	19
7.3.a Tragstrukturen von Anlagen	19
7.3.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen.....	19
7.3.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen	20
8. Besondere Regeln	20
9. Erdbebenschutzsysteme	20
10. Beurteilung bestehender Anlagen.....	21
10.1 Zustandserfassung.....	21
10.2 Ertüchtigung	22
11. Literaturangaben	23

Einleitung

Im Jahr 2009 wurde vom Verband der Chemischen Industrie in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Baustatik und Baudynamik der RWTH Aachen erstmalig der Leitfaden „Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau“ herausgebracht. Dieser Leitfaden gab in Anlehnung an die damals gültige DIN 4149:2005 Empfehlungen zur Handhabung des Lastfalls Erdbeben im Anlagenbau der Chemischen Industrie und verwandter Industrien, von denen im Falle eines Erdbebens zusätzliche Gefahren ausgehen können.

Im Zuge der Harmonisierung technischer Regelwerke in Europa wird die DIN 4149:2005 durch die DIN EN 1998-1 ersetzt und durch weitere Teile der DIN EN 1998 (Eurocode 8) ergänzt. Mit dem Nationalen Anwendungsdokument DIN EN 1998-1/NA:2021 wird die Erdbebeneinwirkung für Bauwerksstandorte in Deutschland nicht mehr zonenbezogen, sondern standortspezifisch festgelegt. Darüber hinaus haben nationale und internationale Erfahrungen und Normentwicklungen weitere Anpassungen des Leitfadens erforderlich gemacht.

Die vorliegende Neuauflage des VCI-Leitfadens gibt Betreibern und Planern Handlungsanweisungen für den Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion von Anlagen der Chemischen Industrie oder verwandten Industrie nach dem Stand der Technik an die Hand. Der Leitfaden ist in erster Linie für die Errichtung neuer Anlagen gedacht. Es werden aber auch wirtschaftliche und sicherheitstechnisch sinnvolle Empfehlungen im Umgang mit bestehenden Anlagen gegeben. Dabei ist zu beachten, dass das Immissionsschutzrecht nicht generell die Anpassung von bestehenden Anlagen an den aktuellen Stand der Technik verlangt. Die Verhältnismäßigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen muss im Einzelfall, d.h. für jede Einzelanlage und für jede einzelne Anforderung, beurteilt werden.

Wie bisher beschränkt sich der Leitfaden auf die für chemische Anlagen bedeutsamen anwendungsrelevanten Änderungen und Erweiterungen zur DIN EN 1998-1 und ist somit in Kombination mit der Norm anzuwenden. Für Anlagen, deren seismisches Verhalten von dem üblicher Hochbauten abweicht, verweist der Leitfaden auf die weiteren Teile der Normenreihe DIN EN 1998. Der Anwender sollte demnach über ausreichend Erfahrung im Umgang mit der DIN EN 1998 und ein ausreichendes Verständnis im Allgemeinen für die Wirkung von Erdbeben auf bauliche Anlagen verfügen. Um Kontinuität und eine gute Übersicht zu gewährleisten, orientiert sich die Gliederung des aktuellen Leitfadens wie die Gliederung der ersten Auflage an der Abschnittsnummerierung der DIN 4149:2005. Dadurch sind die einzelnen Abschnitte thematisch nicht immer analog zur DIN EN 1998-1 strukturiert, es werden aber Verweise zu den entsprechenden Abschnitten der Norm genannt.

Weitergehende Anmerkungen und Erklärungen zu theoretischen Hintergründen sowie weiterführende Literaturangaben sind weiterhin in den *Erläuterungen zum Leitfaden* zusammengefasst.

1. Anwendungsbereich

- (1) Dieser Leitfaden gilt in Kombination mit der DIN EN 1998-1:2010 und DIN EN 1998-1/NA:2021 für den erdbebengerechten Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion von Anlagen (Neuanlagen) der Chemischen Industrie oder verwandter Industrien. Für Bauteile und Konstruktionen, deren seismisches Verhalten von dem üblicher Hochbauten abweicht, bezieht sich der Leitfaden auf die jeweils relevanten Teile der Normenreihe DIN EN 1998.
- (2) Der Leitfaden enthält darüber hinaus Vorgehensweisen für die Beurteilung und Vorschläge zur Verbesserung der Erdbebensicherheit von bestehenden Anlagen.
- (3) Der Leitfaden berücksichtigt die baulichen Tragstrukturen der Anlagen, freistehende Behälter, Silos, Tanks, Kolonnen, sowie bauliche Einbauten, nicht tragende (verfahrens-) technische Komponenten und Rohrleitungen in den Anlagen.
- (4) Die Regelungen des Leitfadens sind auch in Gebieten sehr geringer Seismizität nach DIN EN 1998-1 Absatz 3.2.1 (5) anzuwenden.

2. Normative Verweisungen

- (1) Zusätzlich zu den Normverweisen in DIN EN 1998-1 Abschnitte 1.1.3 und 1.2 sowie den jeweiligen Nationalen Anhängen sind für die Anwendung dieses Leitfadens folgende Dokumente relevant (es gilt jeweils die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments einschließlich aller Änderungen):
 - Verwaltungsvorschriften Technische Baubestimmungen der Bundesländer
 - Normenreihen DIN EN 199x mit ihren nationalen Anhängen, sofern vorhanden
 - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG)
 - Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV)
 - Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung)

3. Begriffe

- (1) Es gelten die Definitionen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 1.5. Darüber hinaus wird festgelegt:

Anlagen im Sinne dieses Leitfadens sind Gebäude, Gebäudeteile, Traggerüste mit ihren verfahrenstechnischen Komponenten, Einbauten und Rohrleitungen, sowie Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen.

Einbauten im Sinne dieses Leitfadens sind nichttragende bauliche oder (verfahrens-) technische Komponenten innerhalb eines Gebäudes / Gebäudeteils / Traggerüsts.

4. Entwurf und konstruktive Auslegung

4.a Tragstrukturen von Anlagen

- (1) Die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 2.2.4 (Besondere Maßnahmen) sind zu beachten.
- (2) Die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitte 4.2.1 bis 4.2.3 (Eigenschaften erdbebensicherer Hochbauten) sind zu beachten.
- (3) Aussteifungssysteme sollten so angeordnet und über Deckenscheiben verbunden werden, dass ein direkter horizontaler Lastabtrag gewährleistet und Torsionsschwingungen vermieden werden. Einzelne nebeneinander angeordnete bauliche Anlagen müssen über eigene Aussteifungssysteme und ausreichende Fugenabstände verfügen.
- (4) Unterschiedliche Gründungstiefen und Gründungsarten innerhalb einer baulichen Anlage sollten vermieden werden. Des Weiteren sind die Empfehlungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 2.2.4.2 (Besondere Maßnahmen für Gründungen) sowie DIN EN 1998-5 Abschnitte 5.1 (Allgemeine Anforderungen an Gründungen) und 5.2 (Regeln für den konzeptionellen Entwurf von Gründungen) zu berücksichtigen.

4.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen

- (1) Tanks und direkt auf dem Boden oder der Gründung gelagerte Behälter und Silos sollten gleichmäßig über den gesamten Umfang fest verankert werden. Durch Wahl ausreichender Wanddicken ist die Stabilität im hoch beanspruchten Fußbereich sicherzustellen.
- (2) Aufgeständerte Behälter, Tanks und Silos sind gegen Umstürzen und Gleiten durch Wahl geeigneter Maßnahmen (z. B. Aussteifungssysteme und Verankerungen) zu sichern.
- (3) Grundsätzlich sollten Verankerungen und Verbindungsmittel nicht-dissipativ ausgelegt werden (siehe 7.2.b (4)).
- (4) Leitungsanschlussbereiche an Behältern, Silos, Tanks und Kolonnen müssen eine ausreichende Verformungsfähigkeit aufweisen.

4.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen im Tragwerk

- (1) Die Unterkonstruktionen von Einbauten (Apparate, Behälter, Rohrleitungen, Fassadenteile, u. ä.) sind auf die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung auszulegen. Durch erdbebengerechte konstruktive Auslegung und Bemessung sind folgende Effekte auszuschließen:
 - Umstürzen (Kippen)
 - Herabfallen
 - Verrutschen mit Schadensfolge
 - Abreißen von Leitungen
 - Aufschaukeln hängender Komponenten und gegenseitiges Anstoßen
- (2) Soweit verfahrenstechnisch möglich, sind schwere Einbauten in geringer Höhe und mittig oder symmetrisch im Tragwerk anzuordnen, um die seismischen Einwirkungen auf diese Einbauten zu reduzieren und ein günstiges Schwingverhalten des Tragwerks zu erreichen.
- (3) Die Unterkonstruktionen von Einbauten sollten so ausgeführt werden, dass Resonanzeffekte zwischen Einbauten und Tragwerk vermieden werden. Ist eine weiche Unterkonstruktion für den Betrieb der Anlage erforderlich (bei rotierenden Maschinen, Nähe zu Dehnfugen im Tragwerk, u. ä.), sind die Anschlüsse von Rohrleitungen und die Positionierung von angrenzenden Einbauten mit besonderer Sorgfalt auszuführen. Ggf. müssen Dämpfungselemente zur Begrenzung der Einbautenbewegungen angeordnet werden.
- (4) Hängende Einbauten sind in ausreichendem Maße konstruktiv in den horizontalen Richtungen auszusteifen, um ein Aufschaukeln und Schwingen zu verhindern. Weiterhin ist zu unmittelbar benachbarten Einbauten ausreichend Abstand einzuhalten.
- (5) Bei Leitungsanschlüssen an Behälter und andere technische Komponenten ist eine ausreichende Verformungsfähigkeit vorzusehen.
- (6) Grundsätzlich sollten Verankerungen und Verbindungsmittel nicht-dissipativ ausgelegt werden (siehe 7.2.c (2)).
- (7) Bei der konstruktiven Auslegung von Ausfachungsmauerwerk sind die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.6 zu beachten.

5. Erdbebeneinwirkung

5.1 Seismische Einwirkung am Bauwerksstandort

- (1) Der maßgebliche Parameter zur Ermittlung der seismischen Einwirkung am Bauwerksstandort ist die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ im Plateaubereich des Antwortspektrums für das Untergrundverhältnis AR (Fels). Der am Bauwerksstandort in Deutschland maßgebende Wert $S_{aP,R}$ ist dem normativen digitalen Anhang der Norm zu entnehmen. DIN EN 1998-1/NA:2021 Bild NA.1 stellt schematisch die Verteilung des Plateauwertes $S_{aP,R}$ zonenfrei für eine Wiederkehrperiode von $T_{NCR} = 475a$ (Referenz-Wiederkehrperiode) dar.

- (2) DIN EN 1998-1 stellt gemäß Absatz 3.2.1 (5) in der Regel keine Anforderungen an Bauwerke in Gebieten sehr geringer Seismizität. Aus Vorsorgegründen wird für diese Bauwerke jedoch mindestens die Anwendung des Abschnitts 4 dieses Leitfadens (Entwurf und konstruktive Auslegung) empfohlen. Bei Konfigurationen mit ungünstigen Massenverteilungen und Einbauten innerhalb von Gebäuden (Einbauten, die nicht auf Windlasten bemessen sind) ist darüber hinaus auch in Fällen sehr geringer Seismizität der Nachweis der Standsicherheit im Erdbebenfall erforderlich.

5.2 Untergrundverhältnisse, Geologie und Baugrund

- (1) Es gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 3.1 (Baugrundbeschaffenheit) und die zugehörigen Regelungen des DIN EN 1998-1/NA:2021.
- (2) Zusätzlich zum Baugrund ist entsprechend DIN EN 1998-1/NA der geologische Untergrund bei der Ermittlung der Erdbebeneinwirkung zu berücksichtigen. Die Definition der drei vorgesehenen geologischen Untergrundklassen ist in DIN EN 1998-1/NA:2021 NDP zu 3.1.2(1) angegeben. DIN EN 1998-1/NA:2021 Bild NA.G.1 stellt schematisch die räumliche Verteilung der Untergrundklassen informativ dar. Ist die geologische Untergrundklasse nicht bekannt, darf gemäß DIN EN 1998-1/NA:2021 NDP zu 3.2.2.1(4) und 3.2.2.2(2)P ein einhüllendes Antwortspektrum verwendet werden.
- (3) Der Bodenparameter S wird in Abhängigkeit des Untergrundverhältnisses und der Höhe der Spektralbeschleunigung $S_{aP,R}$ zugeordnet (DIN EN 1998-1/NA:2021 Tabelle NA.2).

5.3 Bedeutungsbeiwerte

- (1) Das Schadensrisiko der Anlage oder Komponente ergibt sich aus der Kombination von Schadenspotential und möglicher Auswirkung für den Personenschutz, den Umweltschutz und für Lifeline Einrichtungen. Bezüglich aller drei Kategorien wird der Anlage / Komponente je ein Bedeutungsbeiwert nach den Tabellen 5.1 bis 5.3 zugeordnet. Der höchste dieser drei Bedeutungsbeiwerte ist für die Bemessung maßgebend. Bei der Auslegung eines Tragwerks, in dem Komponenten oder Teilanlagen mit unterschiedlichem Risikopotential vorhanden sind, ist der höchste Bedeutungsbeiwert aller in der Anlage befindlichen Teilanlagen maßgebend für das Tragwerk.
- (2) Die Zuweisung eines Bedeutungsbeiwertes kleiner als 1,0 ist für Anlagen der Chemischen Industrie oder verwandter Industrien ausgeschlossen.
- (3) Abgrenzbare Gebäude und abgrenzbare Einrichtungen, die sich im Erdbebenfall unabhängig voneinander verformen können (ausreichende Fugenbreite), dürfen getrennt voneinander nachgewiesen werden. Den Gebäuden und Einrichtungen können dabei unterschiedliche Bedeutungsbeiwerte zugeordnet werden.

Tabelle 5.1: Bedeutungsbeiwerte γ_I und γ_a bzgl. des Personenschutzes

		Auswirkungen				
		in Anlagen	unmittelbare Umgebung (Block innerhalb Werks)	innerhalb des Werks (eingezäunt)	außerhalb d. Werks	großräumig außerhalb des Werks
Schadenspotential¹	Nicht flüchtige giftige Stoffe: H-Sätze ² 331, EUH029, 301 ³ , 311 ³ , 340 ³ , 350 ³ , 360 ³ , 370 ³ bei Dampfdruck < 0,1 hPa Entzündliche und oxidierende Stoffe: H-Sätze ² 221, 223, 226, 261, 271, 272	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
	Nicht flüchtige sehr giftige Stoffe: H-Sätze ² 330, 300 ³ , 310 ³ bei Dampfdruck < 0,1 hPa Leicht- und hochentzündliche Stoffe: H-Sätze ² 220, 222, 224, 225, 242, 250, 260 Oxidierende Gase: H-Satz ² 270	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2
	Flüchtige und leichtfl. giftige Stoffe: H-Sätze ² 331, EUH029, 301 ³ , 311 ³ , 340 ³ , 350 ³ , 360 ³ , 370 ³ bei Dampfdruck ≥ 0,1 hPa Flüchtige sehr giftige Stoffe: H-Sätze ² 330, 300 ³ , 310 ³ bei Dampfdruck ≥ 0,1 und < 100 hPa Explosive Stoffe: H-Sätze ² 200, 201, 202, 203, 205, 240, 241 Hochentzündliche, verflüssigte Gase: H-Satz ² 220 (verflüssigt)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4
	Leichtflüchtige sehr giftige Stoffe: H-Sätze ² 330, 300 ³ , 310 ³ bei Dampfdruck ≥ 100 hPa	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

¹ Bei den entzündlichen, leichtentzündlichen, hochentzündlichen und oxidierenden Stoffen werden ausschließlich Gase und Flüssigkeiten berücksichtigt. Als Maß für die Flüchtigkeit der giftigen bis sehr giftigen Stoffe dient der Dampfdruck bei 20°C.

² CLP_Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 vom 16. Dez. 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen

³ In der Regel nur relevant für den Nahbereich (innerhalb des Werkes)

Tabelle 5.2: Bedeutungsbeiwerte γ_I und γ_a bzgl. des Umweltschutzes

	Auswirkungen		
	Keine Konsequenzen für die Umwelt außerhalb des Werkes	Geringe Konsequenzen für die Umwelt außerhalb des Werkes	Großräumige Konsequenzen für die Umwelt außerhalb des Werkes
Einfluss auf die Umwelt (Gefährdung von Tieren/Pflanzen durch Wasser- oder Luftverunreinigung)	1,0	1,2	1,4

Tabelle 5.3: Bedeutungsbeiwerte γ_I und γ_a für Lifeline Einrichtungen

	Anforderungen		
	Normale Anforderungen an die Verfügbarkeit	Hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit	Sehr hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit
Rückhaltesysteme, Verkehrswege, Rettungswege	1,2	1,2	1,2
Lifeline Bauwerke (Feuerwachen, Löschanlagen, Rettungsdienststationen, Energieversorgung, Rohrbrücken)	1,3	1,4	1,4
Notstromversorgung*, Sicherheitssysteme*	1,4	1,5	1,6

*Systeme, die notwendig sind, um betriebliche Prozesse in den sicheren Zustand zu überführen.

5.4 Regeldarstellung der Erdbebenwirkung

- (1) Es gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 3.2.2.1 (Allgemeines zur grundlegenden Darstellung der Erdbebeneinwirkung).
- (2) Form und Beschreibung des elastischen Beschleunigungs-Antwortspektrums für die horizontale und die vertikale Bodenbewegung sind DIN EN 1998-1/NA:2021, Bild NA.2 zu entnehmen. Die Kontrollperioden sind u.a. abhängig vom vorliegenden Untergrundverhältnis. Sie sind für das horizontale Antwortspektrum in DIN EN 1998-1/NA 2021 Tabelle NA.1 und für das vertikale Antwortspektrum in Tabelle NA.3 festgelegt.
- (3) Das horizontale Bemessungsspektrum für die lineare Berechnung ist DIN EN 1998-1 Abschnitt 3.2.2.5 zu entnehmen.

- (4) Ist eine Berücksichtigung der Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung erforderlich (vgl. Absatz 6.2 (4) dieses Leitfadens), sollen zur Beschreibung des Bemessungsspektrums die Gleichungen des horizontalen Bemessungsspektrums verwendet werden, wobei entsprechend DIN EN 1998-1/NA:2021 Tabelle NA.3 folgende Parameter verwendet werden: $a_{vg} = 0,7 \cdot a_g$, Untergrundparameter $S = 1,0$, Kontrollperioden $T_B = 0,05s$, $T_C = 0,2s$, $T_D = 1,2s$.
- (5) Abweichend von DIN EN 1998-1 Abschnitt 3.2.3 wird die Darstellung der Erdbebeneinwirkung mit Hilfe von Zeitverläufen der Bodenbeschleunigung und verwandter Größen nicht empfohlen.

5.5 Kombinationen der Einwirkung mit anderen Einwirkungen

- (1) Die Kombinationsbeiwerte $\psi_{2,i}$ zur Kombination veränderlicher Einwirkungen in der Bemessungssituation Erdbeben gemäß DIN EN 1990 Abschnitt 6.4.3.4 sind in Tabelle 5.4 des Leitfadens angegeben. Die Kombinationsbeiwerte sind an die in Tabelle NA.1.1 der DIN EN 1990/NA angegebenen Werte angelehnt und berücksichtigen die spezifischen Gegebenheiten im Anlagenbau.
- (2) Abweichend von den Regelungen der DIN EN 1998-1 (Tabelle 4.2 bzw. DIN EN 1998-1/NA:2021 Tabelle NA.5) ist der Beiwert zur Berechnung der Kombinationsbeiwerte $\psi_{E,i}$ grundsätzlich mit $\varphi = 1,0$ anzusetzen.
- (3) Die Einwirkungen aus Erdbeben A_{Ed} sind für die maßgebenden Betriebslastkonstellationen zu ermitteln. Diese sind im jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung der Betriebsabläufe zu definieren.
- (4) Zwangsbeanspruchungen sind als veränderliche Betriebslasten zu berücksichtigen, wenn sie in der Bemessungssituation Erdbeben ungünstig wirken.

Tabelle 5.4: Kombinationsbeiwerte $\psi_{2,i}$ in Anlehnung an DIN EN 1990/NA, Tabelle NA.1.1

Einwirkung	Kombinationsbeiwerte ψ_2
<i>Verkehrslasten</i>	
Lagerflächen	0,8
Betriebsflächen	0,15
Büroflächen	0,3
Anhängelasten	0,8
veränderliche Maschinenlasten, Fahrzeuglasten	0,5
Brems- und Anfahrlasten	0
Montagelasten, andere kurzzeitig oder selten auftretende Lasten	0
<i>Betriebslasten</i>	
Veränderliche Betriebslasten	0,6*
Betriebsdrücke	1,0
Betriebstemperatur	1,0
Windlasten	0
Temperatureinwirkungen von außen (temporär)	0
Schneelasten	0,5
Wahrscheinliche Setzungsdifferenzen des Baugrundes	1,0
<p>* Sind Betriebslasten kaum veränderlich, sind sie als ständige Last G_k anzusetzen. Bei Einzelbetrachtung einer Komponente (lokale Betrachtung) sind deren Betriebslasten voll anzusetzen ($\psi_2 = 1,0$). Dies gilt ebenso für die Betrachtung der unmittelbar lastweiterleitenden Elemente des Tragwerks, auf dem die jeweilige Komponente aufgelagert ist. Betriebslasten sind die im planmäßigen Produktionsprozess maximal auftretenden Lasten.</p>	

6. Berechnungsgrundsätze

- (1) Wesentliche Änderungen am Tragwerk im Laufe seiner Lebensdauer oder an der Verteilung von Massen bedürfen eines Nachweises der Erdbbensicherheit des Bauwerks. Dies gilt auch im Falle einer Erhöhung des Tragwiderstands.

6.1 Modellabbildung

6.1.a Tragstrukturen von Anlagen

- (1) Es wird empfohlen, soweit möglich für die Tragstrukturen von Anlagen die zulässigen Vereinfachungen nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.1 auszunutzen. Bei der Verwendung von ebenen Modellen sind die räumlichen Effekte aus Torsion zu berücksichtigen.
- (2) Das Modell der Tragstruktur muss die Steifigkeits- und Massenverteilung realistisch abbilden. Die horizontal und vertikal aktivierbaren Massen der nicht tragenden Komponenten

können im Allgemeinen vereinfacht als Punktmassen in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 6.1.c dieses Leitfadens). Hierbei müssen vorhandene Massenzentrizitäten berücksichtigt werden.

- (3) Als Referenzwert für die Strukturdämpfung kann bei Verwendung des elastischen Antwortspektrums in der Regel 5 % viskose Bauwerksdämpfung angesetzt werden.
- (4) Bei Anlagen, die mit Erdbebenschutzsystemen zur Energiedissipation nach Abschnitt 9 des Leitfadens ausgestattet sind, sind die entstehenden Nichtlinearitäten in den Tragwerksmodellen zu berücksichtigen.
- (5) Der Einfluss des Baugrundes ist in der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen, wenn die daraus resultierenden Effekte das Schwingungsverhalten der Anlage nennenswert beeinflussen. Hierfür können vereinfachend Einzelfedern mit dynamischen Federkennwerten verwendet werden.
- (6) Falls die rechnerische Berücksichtigung von Boden-Bauwerk-Interaktion erforderlich ist, sind die Dämpfungskennwerte für den Boden den Baugrund- und Gründungsverhältnissen anzupassen (siehe Erläuterungen und DIN EN 1998-5).
- (7) Hält ein Bodengutachten Veränderungen des Baugrunds infolge dynamischer Einwirkung für möglich (hierzu gehören bleibende Verformungen durch Verdichtung oder durch andere Veränderungen des Korngefüges sowie die Abminderung der Scherfestigkeit des Bodens, z. B. durch Bodenverflüssigung), so sind diese Vorgänge bei der rechnerischen Untersuchung der Anlage zu berücksichtigen (DIN EN 1998-5; siehe auch DIN EN 1998-5/NA:2021 Normativer Anhang NA.H). Gegebenenfalls sind Maßnahmen zur Bodenverbesserung durchzuführen.

6.1.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen

- (1) Das Berechnungsmodell muss die Steifigkeits- und Massenverteilung sowie alle weiteren für die dynamische Antwort relevanten Eigenschaften realistisch abbilden.
- (2) Der Einfluss des Baugrundes ist in der Berechnung zu berücksichtigen, wenn die daraus resultierenden Effekte das Schwingungsverhalten der Anlage nennenswert beeinflussen. Hierfür können vereinfachend Einzelfedern mit dynamischen Federkennwerten verwendet werden.
- (3) Bei flüssigkeitsgefüllten Tankbauwerken sind hydrodynamische Effekte zu berücksichtigen. Dies schließt die Berücksichtigung von Interaktionseffekten zwischen Tankschale und gelagerter Flüssigkeit ein. Ein Verfahren zur vereinfachten Berücksichtigung dieser Interaktionseffekte ist in den Erläuterungen angegeben. Flüssigkeiten dürfen als inkompressibel angenommen werden.
- (4) Bei granularem Lagergut darf für die Ermittlung der Beanspruchungen der Stützkonstruktion vereinfachend die Masse des Lagerguts als starr mit der Siloschale verbunden angenommen werden. Wenn keine genauere Abschätzung gemacht wird, darf die effektive Masse des Siloinhalts dabei mit 80 % der Gesamtmasse angenommen werden. Für die Bemessung der Siloschale ist der Druckansatz nach DIN EN 1998-4, Absatz 3.3 (5) ff. zu berücksichtigen.

- (5) Der Dämpfungswert für Flüssigkeiten darf zu 0,5 % angenommen werden, sofern kein anderer Wert festgelegt ist. Für körniges Material sollte die Dämpfung nicht höher als 5 % angesetzt werden.
- (6) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sollte der Verhaltensbeiwert q für Behälter aus Stahl nicht größer als 1,2, für Behälter aus Stahlbeton nicht größer als 1,5 gewählt werden. Für mögliche Unterkonstruktionen von Behältern kann ggf. ein größerer Verhaltensbeiwert ansetzbar sein. In diesem Fall müssen aber zum einen die Duktilitätsreserven der Unterkonstruktion nachgewiesen werden (vgl. Erläuterungen zu Absatz 5.4 (3)), und zum anderen sollte die Beanspruchung des aufgeständerten Behälters selbst zunächst unter Annahme einer elastischen Unterkonstruktion ermittelt werden.
- (7) Für die Modellabbildung sehr schlanker vertikaler Anlagenteile wie Kolonnen und Schornsteine gelten die Regelungen der DIN EN 1998-6 Abschnitt 4.2.

6.1.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen

- (1) Nicht tragende Einbauten können unabhängig von der Tragstruktur der Anlage durch geeignete statische Ersatzsysteme modelliert werden, sofern sie das Gesamtschwingverhalten des Haupttragwerks nicht wesentlich durch Interaktion beeinflussen (vgl. Absatz 6.1.a (2) dieses Leitfadens).
- (2) Für die Modellabbildung oberirdischer Rohrleitungen gelten die Regelungen der DIN EN 1998-4 Abschnitt 5.4.1.
- (3) Für die Berechnung eingeeerdeter Rohrleitungen ist die Modellierung der seismischen Einwirkung wesentlich. Hierbei ist DIN EN 1998-4 Abschnitt 6.3 zu beachten.

6.2 Berechnungsverfahren

- (1) Wie in der DIN EN 1998-1 können das vereinfachte und das multimodale Antwortspektrumverfahren Anwendung finden.
- (2) Entsprechend DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.3.4.2 darf die Bemessung auf Grundlage von nichtlinearen statischen Verfahren erfolgen. Eine Bemessung auf Grundlage von Zeitverlaufberechnungen wird nicht empfohlen.
- (3) Die Horizontalkomponenten der Erdbebeneinwirkung sind als gleichzeitig wirkend anzusetzen. Die Kombination der resultierenden Beanspruchungen erfolgt entsprechend DIN EN 1998-1, Abschnitt 4.3.3.5.1.
- (4) Die Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung kann bei der Berechnung des Tragwerks im Regelfall vernachlässigt werden. Zu berücksichtigen sind die vertikalen Beschleunigungen jedoch, unabhängig von der Größe der vertikalen Beschleunigung, bei der Bemessung von Tragwerksteilen der in DIN EN 1998-1, Absatz 4.3.3.5.2 (1) genannten Gruppen, sowie bei

Trägern, die große anlagentechnische Massen tragen. Für diese Bauteile sind die horizontale und die vertikale Erdbebeneinwirkung als gleichzeitig wirkend anzusetzen.

- (5) Für die Berechnung von Gründungen und Stützbauwerken sind DIN EN 1998-5 Abschnitte 5.3 (Bemessungswerte der Auswirkungen) und 7.3 (Berechnungsverfahren) sowie DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.4.2.6 zu beachten.
- (6) Bei der Berechnung von Silos ist DIN EN 1998-4 Abschnitt 3.3 (Berechnung von Silos) zu beachten.
- (7) Bei der Berechnung von Tankbauwerken ist DIN EN 1998-4 Abschnitt 4.3 (Berechnungsverfahren) zu beachten.
- (8) Bei der Berechnung von oberirdischen Rohrleitungen ist DIN EN 1998-4 Abschnitt 5.4 (Berechnungsverfahren) zu beachten.
- (9) Bei der Berechnung von eingeebneten Rohrleitungen ist DIN EN 1998-4 Abschnitt 6.4 (Berechnungsmethoden) zu beachten.

6.3 Berechnung der Verformungen

- (1) Es gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.3.4.

6.4 Nicht tragende Bauteile und Rohrleitungen

- (1) Zur Bemessung nicht tragender Bauteile und ihrer Verankerungen und Unterkonstruktionen kann vereinfachend die maximal zu erwartende horizontale Erdbebenkraft F_a gemäß Gleichung (1) bestimmt und in der maßgebenden horizontalen Richtung im Massenschwerpunkt des Bauteils angesetzt werden.

$$F_a = 1,6 \cdot S_{e,max} \cdot \gamma_a \cdot m_a \quad [kN] \quad (1)$$

mit:	$S_{e,max}$	=	Plateauwert des elastischen Antwortspektrums [m/s^2], ermittelt mit dem Bauwerks-Bedeutungsbeiwert $\gamma_I = 1,0$ und dem für das Bauwerk maßgebenden Dämpfungs-Korrekturbeiwert η $S_{e,max} = 2,5 \cdot S \cdot \eta \cdot a_{gR} \cdot 1,0 = S \cdot \eta \cdot S_{aP,R}$
	S	=	Untergrundparameter
	η	=	Dämpfungs-Korrekturbeiwert zur Berücks. der Strukturdämpfung des Tragwerks; $\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$; für $\xi = 5 \%$ ist $\eta = 1,0$; für $\xi = 2 \%$ ist $\eta = 1,2$
	ξ	=	Wert der viskosen Dämpfung des Tragwerks [%]; vgl. Leitfaden Absatz 6.1.a (3)
	γ_a	=	Bedeutungsbeiwert des Bauteils / der Komponente nach Abschnitt 5.3 [-]
	m_a	=	Masse des Bauteils / der Komponente [t]

- (2) Alternativ kann die Horizontalkraft F_a unter Berücksichtigung der Einbauhöhe über Grund sowie dem Schwingverhalten der Tragstruktur gemäß Gleichung (6.5) der Erläuterungen ermittelt werden. Ist das Etagenantwortspektrum für die Aufstellebene der Komponente bekannt, kann Gleichung (6.5) der Erläuterungen analog verwendet werden.
- (3) Die Horizontalkraft F_a ist in Kombination mit den ständigen Lasten und den ungünstig wirkenden horizontalen und vertikalen Betriebslasten anzusetzen.
- (4) Bei über mehrere Tragwerksebenen verlaufenden Bauteilen (z. B. Kolonnen) kann die Bemessungskraft F_a gemäß der Massebelegung des Bauteils auf die einzelnen horizontal führenden Lagerpunkte verteilt werden.
- (5) Für die Einbauten selbst ist F_a entsprechend der Masse- und Steifigkeitsverteilung auf das statische Ersatzsystem der Einbauten zu verteilen. F_a ist auch hier zusammen mit allen ständigen Lasten und den ungünstig wirkenden Betriebslasten anzusetzen.
- (6) Hydrodynamische Effekte können bei der Bemessung flüssigkeitsgefüllter Behälter und ihrer Verankerung vernachlässigt werden, wenn deren Einfluss auf die Beanspruchung des Behälters und seiner Verankerung unwesentlich ist. Ansonsten ist Abschnitt 6.2 (7) dieses Leitfadens zu beachten.
- (7) Für Einbauten bis zu einer Gesamtlast von 10 kN, für einzelne metallische Rohrleitungen bis zu einer Nennweite von DN 100, sowie für Leitungen deren Stützweiten gemäß Anlage 2 zu AD 2000 Merkblatt HP 100 R gewählt wurden, ist eine konstruktive Sicherung gegen Herabfallen und Umkippen ausreichend. Eine ausreichende Elastizität von Rohrleitungen sowie flexible Anschlüsse an Apparate und Behälter sind sicherzustellen.
- (8) Sind rohrstatische Berechnungen erforderlich, müssen auch die Halterungen der betreffenden Rohrleitungen bis zur Krafteinleitung ins Tragwerk rechnerisch nachgewiesen werden.
- (9) Können aus Relativverschiebungen potentiell schädigende Beanspruchungen der Einbauten entstehen (z. B. bei Rohrleitungen zwischen zwei Gebäuden), sind diese Relativverschiebungen bei der Bemessung der Einbauten zu berücksichtigen.

7. Sicherheitsnachweise

7.1 Allgemeines

- (1) Es gilt die Regelung der DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.4.1.
- (2) Abweichend von DIN EN 1998-1/NA:2021 (NDP zu 2.1(1)P) kann der Nachweis der Schadensbegrenzung nach Abschnitt 7.3 geführt werden (vgl. DIN EN 1998-1 Abschnitt 2.1).
- (3) Als Kombinationsbeiwerte $\psi_{2,i}$ für die veränderlichen Einwirkungen sind in der seismischen Lastfallkombination die Werte nach Tabelle 5.4 anzusetzen.

7.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

- (1) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit schließt analog zu DIN EN 1998-4 Abschnitt 2.1.2 den Nachweis der Funktionsfähigkeit sicherheitsrelevanter Elemente der Anlage oder Komponente ein.
- (2) Die Referenz-Überschreitungswahrscheinlichkeit ($\gamma_I = 1,0$) für den Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt 10 % in 50 Jahren, dies entspricht einer Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren.

7.2.a Tragstrukturen von Anlagen

- (1) Für die baulichen Tragstrukturen der Anlagen ist der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.4.2 zu führen.

7.2.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen

- (1) Für Silos ist der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1998-4 Abschnitt 3.5.2 zu führen.
- (2) Für Behälter und Tanks ist der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1998-4 Abschnitt 4.5.2 zu führen.
- (3) Für schlanke freistehende Anlagen wie Kolonnen und Schornsteine ist der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1998-6 Abschnitt 4.7.1 zu führen.
- (4) Für den Tragfähigkeitsnachweis von Verankerungen sollten die Beanspruchungen mit dem Verhaltensbeiwert $q = 1,0$ ermittelt und die Verankerungen damit linear-elastisch ausgelegt werden. Unter bestimmten Bedingungen darf bei der Auslegung von Verankerungen duktiler Verhalten angesetzt werden (siehe DIN EN 1992-4 Absatz 9.2 (3) b) für Verankerungen in Beton; siehe DIN EN 1998-1 Absatz 6.5.2 (5)P für Verankerungen in Stahlbauteilen).

7.2.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen

- (1) Nicht tragende Einbauten sowie deren Verankerungen und Unterkonstruktionen sind für die in Abschnitt 6.4 dieses Leitfadens angegebenen Bemessungskräfte nachzuweisen.
- (2) Beim Tragfähigkeitsnachweis nicht tragender Einbauten sollte sichergestellt werden, dass sich Verbindungsmittel und Verankerungen linear-elastisch verhalten. Unter bestimmten Bedingungen darf bei der Auslegung von Verankerungen duktiler Verhalten angesetzt werden (siehe DIN EN 1992-4 Absatz 9.2 (3) b) für Verankerungen in Beton; siehe DIN EN 1998-1 Absatz 6.5.2 (3) für Verankerungen in Stahlbauteilen).

- (3) Für den Nachweis oberirdischer Rohrleitungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit gelten die Regelungen nach DIN EN 1998-4 Abschnitte 5.2.2 und 5.6.
- (4) Für den Nachweis eingerdeter Rohrleitungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit gelten die Regelungen nach DIN EN 1998-4 Abschnitt 6.5.

7.3 Nachweis der Schadensbegrenzung

- (1) Der Nachweis der Schadensbegrenzung kann z. B. zur Gewährleistung der Betriebssicherheit geführt werden, wenn dies vom Betreiber der Anlage gewünscht ist.
- (2) Die zugrunde gelegte Erdbebeneinwirkung für den Nachweis der Schadensbegrenzung ist abhängig vom gewünschten Schadensbegrenzungsziel und daher vom Betreiber festzulegen. Es wird empfohlen, den Nachweis der Schadensbegrenzung für 50 % der Erdbebeneinwirkung für den Tragfähigkeitsnachweis zu führen.
- (3) Der Nachweis der Schadensbegrenzung ist linear elastisch zu führen. Das elastische Antwortspektrum muss die Bauwerksdämpfung in angemessener Weise berücksichtigen. Der in DIN EN 1998-1 Absatz 4.4.3.2 (2) eingeführte Abminderungsfaktor n ist im Geltungsbereich des Leitfadens nicht anzuwenden.

7.3.a Tragstrukturen von Anlagen

- (1) Für die baulichen Tragstrukturen der Anlagen ist der Nachweis der Schadensbegrenzung nach DIN EN 1998-1 Abschnitt 4.4.3 zu führen.

7.3.b Freistehende Behälter, Silos, Tanks und Kolonnen

- (1) Für Silos ist der Nachweis der Schadensbegrenzung nach DIN EN 1998-4 Abschnitt 3.5.1 zu führen.
- (2) Für Behälter und Tanks ist der Nachweis der Schadensbegrenzung nach DIN EN 1998-4 Abschnitte 4.1.2 und 4.5.1 zu führen.
- (3) Für schlanke freistehende Anlagen wie Kolonnen und Schornsteine ist der Nachweis der Schadensbegrenzung nach DIN EN 1998-6 Abschnitt 4.9 zu führen.

7.3.c Nicht tragende Einbauten und Rohrleitungen

- (1) Nicht tragende Einbauten sowie deren Verankerungen und Unterkonstruktionen sind für die horizontale Ersatzkraft F_{α} nach Abschnitt 6.4 dieses Leitfadens nachzuweisen. Wird die Ersatzkraft F_{α} mittels Gleichung 6.5 der Erläuterungen berechnet, ist der Verhaltensbeiwert der Komponente $q_{\alpha} = 1,0$ zu setzen (vgl. Absatz 7.3 (3)).
- (2) Für den Nachweis der Schadensbegrenzung bei oberirdischen Rohrleitungen gelten die Regelungen nach DIN EN 1998-4 Abschnitt 5.2.1.
- (3) Für den Nachweis der Schadensbegrenzung bei eingeeerdeten Rohrleitungen gelten die Regelungen nach DIN EN 1998-4 Abschnitt 6.5.

8. Besondere Regeln

- (1) Für Betonbauten gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 5.
- (2) Für Stahlbauten gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 6.
- (3) Für Verbundbauten aus Stahl und Beton gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 7.
- (4) Für Holzbauten gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 8.
- (5) Für Mauerwerksbauten gelten die Regelungen der DIN EN 1998-1 Abschnitt 9.
- (6) Für Gründungen und Stützbauwerke gelten die Regelungen der DIN EN 1998-5.

9. Erdbebenschutzsysteme

- (1) Die folgenden Unterabschnitte umfassen in erster Linie grundlegende Prinzipien und methodische Angaben.
- (2) Grundsätzlich können für Erdbebenschutzsysteme von Bauwerken vier Lösungsansätze unterschieden werden: Ein Schutz kann durch eine ausreichende Festigkeit und Steifigkeit, das Vorhalten einer ausreichenden Duktilität, den Einbau von Schwingungstilgern oder durch Basisisolierung erreicht werden. Diese einzelnen Ansätze sind in den Erläuterungen des Leitfadens genauer beschrieben.
- (3) Die Konzepte ausreichender Festigkeit und Steifigkeit sowie die dissipative Auslegung der zu bemessenden Struktur sind durch die Regelungen in DIN EN 1998-1 abgedeckt.
- (4) Die auf die Struktur einwirkende Schwingungsenergie kann durch den Einsatz passiver oder aktiver Feder-/Dämpfersysteme vermindert werden.
- (5) Für die Auslegung von Basisisolierung und zur Bemessung basisisolierter Bauwerke gilt DIN EN 1998-1 Abschnitt 10.

10. Beurteilung bestehender Anlagen

- (1) Die Erdbebensicherheit von Bestandsanlagen hängt neben der korrekten erdbebengerechten Bemessung auch immer von der fehlerfreien Errichtung und dem aktuellen Anlagenzustand ab.
- (2) Es gelten die Regelungen der DIN EN 1998-3 (Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden). Zur Übertragung dieser Regelungen auf Anlagen der Chemischen Industrie oder verwandter Industrie gelten darüber hinaus die folgenden Unterabschnitte.
- (3) Bestehende Anlagen, die Betriebsbereich oder Teil eines Betriebsbereichs (gemäß BImSchG §3 Abs. 5a) der oberen Klasse sind, sind bei baulichen Veränderungen oder Nutzungsänderungen sowie darüber hinaus im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung des Sicherheitsberichtes nach 12. BImSchV auch auf die Auswirkung von Erdbeben zu beurteilen. Zeigen sich dabei Defizite hinsichtlich der Erdbebensicherheit, ist die Anlage in angemessener Weise zu ertüchtigen (Abschnitt 10.2).
- (4) Bei Erreichen oder Überschreiten der in Anhang I Spalte 5 der 12. BImSchV (der oberen Klasse) genannten Mengenschwellen im Betriebsbereich sind die Auslegung, Errichtung, Betrieb und Wartung sicherheitsrelevanter Anlagenteile zu dokumentieren.
- (5) Beträgt die Restbetriebszeit der bestehenden Anlage weniger als 15 Jahre, kann in Abstimmung mit den zuständigen Behörden das Niveau der Erdbebeneinwirkung für die rechnerischen Tragfähigkeitsnachweise abgemindert werden, indem vereinfachend der Bedeutungsbeiwert der Anlage mit dem Faktor 0,75 multipliziert wird.
- (6) Bei der rechnerischen Beurteilung von Tragreserven bestehender Anlagen können auch nichtlinear-statische Berechnungsverfahren sinnvoll sein (vgl. Abschnitt 6.2).

10.1 Zustandserfassung

- (1) Basis der Zustandserfassung einer Anlagenkonstruktion bezüglich ihrer seismischen Widerstandsfähigkeit sind
 - Bauwerksakten und Bestandsstatik,
 - Zeichnungen und Stücklisten der Anlagenkomponenten,
 - einschlägige Normen und Richtlinien, auch aus damaliger Bauzeit,
 - Vor-Ort-Untersuchungen des Bauwerks und der Anlagenkomponenten.

Die Zuverlässigkeit der Zustandserfassung steigt mit der Vollständigkeit der zugrunde gelegten Informationen.

- (2) Folgende Informationen sind der Beurteilung des Bauwerks zugrunde zu legen:
- Horizontales Aussteifungssystem im Hinblick auf die erdbebengerechten Entwurfskriterien,
 - Art der Gründung,
 - Vorliegende Bodenverhältnisse,
 - Abmessungen des Bauwerks, Querschnittswerte der tragenden Bauteile sowie mechanische Eigenschaften,
 - Zustand der verwendeten Materialien (Korrosion, Werkstofffehler),
 - Qualität der konstruktiven Durchbildung,
 - Regelwerke, die der ursprünglichen Konstruktion des Bauwerks zugrunde lagen,
 - Gegenwärtige oder geplante Nutzung des Bauwerks im Hinblick auf die Bedeutungskategorie,
 - Betriebslasten, Füllzustände, Betriebstemperaturen, etc.,
 - Art und Ausmaß vorangegangener und vorhandener Schäden; ggf. auch Art und Ausmaß vorangegangener Sanierungsmaßnahmen.
- (3) Ziel der Zustandserfassung und der darauffolgenden Evaluierung ist die Lokalisierung stark gefährdeter Anlagenbereiche und die Identifizierung der größten Risiken. Dazu kann der Evaluationsbogen in den Erläuterungen des Leitfadens verwendet werden.
- (4) Ergibt die Evaluierung, dass deutliche oder gravierende Mängel vorliegen, sind rechnerische Untersuchungen durchzuführen und das Bauwerk bzw. die Komponente ggf. zu ertüchtigen.

10.2 Ertüchtigung

- (1) Eventueller Handlungsbedarf zur Reduzierung der Gefährdung von Menschen und Umwelt ist unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zu ermitteln.
- (2) Bauliche Maßnahmen stehen im Vordergrund der Ertüchtigung. Sie haben das Ziel, die Standsicherheit der Anlage auf ein angemessenes Niveau zu erhöhen.
- (3) Für das ertüchtigte Bauwerk ist der Nachweis der Standsicherheit nach Abschnitt 7.2 dieses Leitfadens zu erbringen. Der Nachweis der Schadensbegrenzung nach Abschnitt 7.3 dieses Leitfadens kann durchgeführt werden, wenn dies vom Betreiber der Anlage gewünscht ist.
- (4) Bei den rechnerischen Nachweisen sind Unsicherheiten bei der Bestimmung des Ist-Zustands zu berücksichtigen, indem z. B. die Eigenschaften auf der Widerstandsseite durch Division durch einen Konfidenzbeiwert nach DIN EN 1998-3, Absatz 3.3.1 (4) bzw. Absatz 3.5 (1) abgemindert werden.
- (5) Die Rechenmodelle können hinsichtlich der Steifigkeits- und Massenverhältnisse mit den Ergebnissen aus Eigenfrequenzmessungen kalibriert werden.

- (6) Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Lösung kann das Risiko für Personen und Umwelt auch durch betriebliche Maßnahmen reduziert werden, so dass sich die Notwendigkeit und der Umfang der baulichen Maßnahmen verändert.

11. Literaturangaben

Die relevante Literatur wird in den Erläuterungen des Leitfadens angegeben.