

Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR)

**beim Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Die Beurteilung der Gefährdung von eingeardeten Rohrfernleitungen durch Erdbeben in deutschen Erdbebengebieten

**Erarbeitet von der
AfR - Arbeitsgruppe „Erdbeben“,
Dezember 2011**

Der Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR) ist ein nach § 9 Rohrfernleitungsverordnung (RohrFLtgV) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gebildetes Gremium.

Seine Geschäftsstelle ist bei der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin eingerichtet.

Anmerkung:

Dieser Bericht wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen Verfasser und Auftraggeber keine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können daher keine Ansprüche gegenüber Verfasser und / oder Auftraggeber gemacht werden.

Dieser Bericht darf für nichtkommerzielle Zwecke vervielfältigt werden. Auftraggeber und Verfasser übernehmen keine Haftung für Schäden im Zusammenhang mit der Vervielfältigung oder mit Reproduktionsexemplaren.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Relevante Normen und Regelwerke	3
3. Seismische Grundlagen	4
4. Berechnung der Erdbebenlasten von eingeerdeten Rohrleitungen durch Erdbebenwellen	6
5. Grenzwertbetrachtung für eine eingeerdete Rohrfernleitung	9
6. Zusammenfassung	11
Referenzen	12
Anhang	13

Abkürzungsverzeichnis

$u(x,t)$	Bodenbewegung in Abhängigkeit des Ortes x und der Zeit t
d	Amplitude der Bodenverschiebung
c	Wellengeschwindigkeit
ε	Dehnung
$\omega \cdot d$	Spitzenwert der Bodengeschwindigkeit
a_{gR}	Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung
γ	Bedeutungsbeiwert
t	Wanddicke des Rohres
R	Radius des Rohres
$\chi_{\max}$	Maximalkrümmung einer Leitung
$\varepsilon_{\chi, \max}$	Maximale Längsbiegedehnung
D_a	Rohraußendurchmesser
$\varepsilon_{ax, \max}$	Maximale Gesamtaxialdehnung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland [11].....	13
Abbildung 2: Schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland [11].....	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung von Intensitätsintervallen und Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen [11].	15
Tabelle 2: Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums [11].	15

1. Einleitung

Im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens für die Zulassung einer Rohrfernleitung wurde die Forderung nach einer erdbebensicheren Auslegung diskutiert. Hierbei stellte sich die Frage, ob mit den Anforderungen der TRFL zur Auslegung von Rohrfernleitungen die in Deutschland vorhandenen Gefährdungen durch Erdbeben abgedeckt werden. Der AfR hat daher den Arbeitskreis auf seiner 10. Sitzung beauftragt zu klären, ob Handlungsbedarf hinsichtlich der Auslegung von Rohrfernleitungen in Deutschland gegenüber einer potentiellen Erdbebengefahr bestehen.

Im globalen Maßstab ist die Seismizität Deutschlands als sehr gering einzuschätzen [1]. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die jahrzehntelangen Erfahrungen mit dem Betrieb von Transportleitungen in Deutschland gezeigt haben, dass diese Rohrfernleitungen sicher betrieben werden.

Die folgende Ausarbeitung befasst sich mit der Beurteilung der Gefährdung von eingeerdeten, geraden Rohrfernleitungen aus Stahl durch Erdbeben in der Bundesrepublik Deutschland. Durch die Wahl konservativer Belastungsparameter werden die unmittelbaren Auswirkungen eines Erdbebens auf die erdverlegten Rohrfernleitungen abgeschätzt. Die DIN EN 1998-4 [9] führt im Anhang B aus, dass zur Vereinfachung und zur Erfassung des ungünstigsten Falls angenommen werden kann, dass die Rohrachse und die Ausbreitungsrichtung zusammenfallen. Darüber hinaus werden in nachfolgender Ausarbeitung auch Auswirkungen quer zur Rohrachse untersucht. Für oberirdisch verlegte Rohrfernleitungen, Leitungen in Bauwerken, oder für Anlagenbestandteile müssen im Einzelfall gesonderte Betrachtungen angestellt werden.

Grundlegende Informationen über seismische Aktivitäten in der Bundesrepublik Deutschland befinden sich auf den Internetseiten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover sowie in [2]-[6].

Die von der BGR herausgegebenen Karten über die Darstellung der Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland zeigen, dass das Gebiet in die Erdbebenzonen 0 bis maximal 3 eingeteilt ist. Die Gebiete erhöhter Seismizität beschränken sich auf

den Alpennordrand, das Bodenseegebiet, den Oberrheingraben, die Schwäbische Alb, das Mittelrheingebiet und die Niederrheinische Bucht, das Vogtland, die Region um Gera und die Leipziger Bucht.

Der nachfolgenden Ausarbeitung liegt ein Worst-Case-Szenario zugrunde, d.h. Gebiet der Erdbebenzone 3 (maximale Stufe in Deutschland) und gleichzeitig Annahme der ungünstigsten Untergrundklassen für die Bodenbeschaffenheit

Auf der Internetseite der BGR werden die historischen Erdbeben in Deutschland seit 800 n. Chr. mit einer Intensität von VII bis VIII bzw. ab einer Magnitude von 5,5 aufgelistet (siehe Literaturverzeichnis). Aus der Liste dieser 29 Ereignisse ist erkennbar, dass solche Beben äußerst selten auftreten. Ein Teil dieser registrierten Beben beruht nicht auf seismischen Aktivitäten, sondern auf Gebirgsschlägen.

Wesentliche Begriffe:

- Magnitude (nach C.F. Richter): Ist ein logarithmisches Maß für die im Erdbebenherd freigesetzte seismische Wellenenergie. Die Magnitude wird aus instrumentellen Aufzeichnungen bestimmt.
- Intensität: Die Intensität des Erdbebens beschreibt das Ausmaß der Einwirkung seismischer Wellen auf Menschen, Bauwerke und Landschaft. Die Intensität wird in der 12teiligen Skala MSK-1964 (Medveder, Sponheuer, Karnik) beschrieben. Eine neue - modernere Bauwerke ebenfalls einbeziehendes - Skala ist die EMS – 1998 (europäische makroseismische Skala). MSK 1964 und EMS 1998 sind im unteren und mittleren Zahlenbereich weitgehend identisch.
- Hypozentrum: Ort des Erdbebenherdes in der Tiefe. Das Hypozentrum ist der Ort der größten Intensität.
- Epizentrum: Projektion des Hypozentrums an die Erdoberfläche.

2. Relevante Normen und Regelwerke

Bis zur Einführung des EUROCODE 8 [7] gab es kein für Deutschland gültiges Normenwerk, welches direkten Bezug auf die Berechnung von Erdbebenlasten auf Rohrfernleitungen nahm.

Mit Einführung der im EUROCODE 8 [7] vorgegebenen Regelwerke EN 1998-1 [8] und EN 1998-4 [9] wird auch für eingeeerdete Rohrleitungen eine Vorgehensweise für den rechnerischen Nachweis gegen Erdbebenlasten angegeben.

Unter Hinzuziehung der in dem Regelwerk beschriebenen Nachweise soll in der folgenden Ausarbeitung das Gefahrenpotential für eingeeerdete Rohrfernleitungen speziell für Gebiete der Bundesrepublik Deutschland abgeschätzt werden.

Der EUROCODE 8 [7] soll für die Mitgliedsländer der EU als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie des Rates 89/106/EWG (Bauproduktenrichtlinie), besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz, dienen.

Als Grundlage für den Erdbebennachweis sind die DIN EN 1998-1 (2011) [8] und DIN EN 1998-4 (2007) für Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen [9] zu betrachten. Demnach sind „Ingenieurbauten in Erdbebengebieten so auszulegen und zu errichten, dass diese im Falle des Bemessungserdbebens die Tragfähigkeit nicht verlieren und im Falle des Eintretens eines Erdbebens die geforderte Schadensbegrenzung nicht überschritten wird“ [8].

In der DIN EN 1998-1 [8] und der DIN EN 1998-4, Anhang B [9] sind Vorgaben für zulässige Grenzzustände (Fließgrenze, Bruchgrenze) sowie ein vereinfachter Berechnungsansatz enthalten, wobei auch insbesondere auf die Berechnung der Verformungen eingeeerdeter Rohrleitungen durch Erdbebenwellen eingegangen wird. Dieser Ansatz liefert eine Abschätzung für den oberen Grenzwert der auftretenden Dehnungen in einer Rohrleitung.

Die Festlegung des gebietsabhängigen Bemessungserdbebens wird durch nationale Normen geregelt. Für Deutschland wurde die DIN 4149 (2005) [10] ersetzt durch die DIN EN 1998-1/NA (2011) [11].

Dort sind die Erdbebenzonen 0-3 festgelegt (Abbildung 1), wobei für die Erdbebenzonen 1-3 jeweils Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigungen (Tabelle 1) zugeordnet sind. Hierbei entspricht die Referenz- Spitzenbeschleunigung der jeweiligen Erdbebenzone der Wiederkehrperiode eines Erdbebens von 475 Jahren, die sich aus der 10%-igen Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren ergibt.

Die Erdbebenzone 0 ist gemäß DIN EN 1998-1/NA [11] als Gebiet sehr geringer Seismizität im Sinne der Norm 1998-1 definiert. Für Gebiete mit sehr geringer Seismizität brauchen die Vorschriften der Reihe EN 1998 nicht berücksichtigt zu werden (DIN EN 1998-1, Abs. 3.2.1 „Erdbebenzonen“ [8]). Somit ist für den überwiegenden Anteil der Grundfläche Deutschlands - welche der Erdbebenzone 0 zugeordnet ist – die Anwendung der DIN EN 1998-1 [8] nicht erforderlich bzw. auch nicht vorgesehen. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich daher auf die Gebiete in den Erdbebenzonen 1-3.

Neben den bei einem Erdbeben immer auftretenden Erdbebenwellen, können auch Sekundärereignisse wie Erdrutsche, Bodenverflüssigungen, Setzungen etc. die Folge sein, auf die hier nicht eingegangen wird, da deren Auftreten von lokalen Gegebenheiten abhängt und diese im Einzelfall zu bewerten sind.

3. Seismische Grundlagen

Erdbeben entstehen, wenn an einer Stelle im Untergrund (Hypozentrum) massive Erdplatten brechen und sich gegeneinander verschieben. Im Extremfall können diese Verschiebungen als Verwerfung bis an die Erdoberflächen reichen.

Die Stärke eines Erdbebens wird mit der Magnitude angegeben. An der Erdoberfläche über dem Hypozentrum liegt das Epizentrum.

Die unmittelbarste Auswirkung von Erdbeben sind die Erdbebenwellen, die sich ausgehend vom Hypozentrum ausbreiten und schließlich das Bauwerk erreichen. Man unterscheidet zwischen den Raumwellen in Form von Kompressions- und Scherwellen, sowie Oberflächenwellen in Form von Rayleigh- und Love- Wellen.

Ein Erdbeben mit einer bestimmten Magnitude erzeugt an unterschiedlichen Orten jeweils andere Intensitäten. Die Intensitäten bestimmen den Grad der örtlichen Erdbebenlasten auf ein konkretes Bauwerk.

Historisch sind unterschiedliche Intensitätsskalen gebräuchlich, wobei in Deutschland die Intensitätsskala (MSK) nach Medvedev-Sponheuer-Karnik sowohl in der DIN 4149 [10] als auch in der europäischen Nachfolgenorm der DIN EN 1998-1/NA [11] verwendet wird.

Die MSK- Skala umfasst 12 Stufen. In Deutschland werden die Stufen der MSK- Skala den einzelnen Erdbebenzonen 0-3 (Abbildung 1) zugeordnet, wobei die stärkste für Deutschland definierte Erdbebenintensität (Zone 3) nach der MSK- Skala der Stufe VII-VIII entspricht.

Die Festlegung der Intensitäten innerhalb der Erdbebenzonen 1-3 sind so gewählt, dass eine Überschreitung bezogen auf das zu beurteilende Bauwerk sehr unwahrscheinlich ist. Detaillierte Ausführungen hierzu finden sich in [8].

An jedem Standort kann neben der nur grob quantifizierbaren Intensität der genau messbare Beschleunigungszeitverlauf aufgenommen werden, den man als Akzelerogramm bezeichnet. Die Auswertung der Akzelerogramme lieferte beispielsweise die in der DIN EN 1998-1/NA [11] angegebenen Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigungen.

Die Auswertung der Akzelerogramme liefert unmittelbar folgende Kennwerte der:

- Maximalbeschleunigung und Dauer des Erdbebens
- Frequenz der vorherrschenden Wellen
- Amplituden- und Frequenzbeziehung zwischen Horizontal- und Vertikalbewegung
- Abstand zum Epizentrum

4. Berechnung der Erdbebenlasten von eingeeerdeten Rohrleitungen durch Erdbebenwellen

Im Allgemeinen werden die durch Erdbeben verursachten, unterschiedlichen Wellenbewegungen über ein Fundament auf ein Bauwerk übertragen. Dabei werden eigenfrequenzabhängige Antwortschwingungen im Bauwerk ausgelöst, woraus Beanspruchungen im Bauteil resultieren.

Eine konservative Annahme ist es, davon auszugehen, dass bei eingeeerdeten Rohrleitungen die Wellenbewegungen des Bodens ohne Schlupf übertragen werden [11]. In der Realität ist allerdings davon auszugehen, dass die Reibung zwischen dem Boden und der Rohrleitung nicht ausreichend ist, die Bodenbewegung vollständig zu übertragen und daher tatsächlich eine geringere Belastung als unter der obigen Annahme auftritt.

Entscheidend für die Belastung von eingeeerdeten Rohrleitungen ist die in der DIN EN 1998-1/NA, Tabelle NA.3 der jeweiligen Erdbebenzone zugeordnete Maximalbeschleunigung a_{gR} [m/s²]. Für eine eingeeerdete Rohrleitung ist neben der Stärke, die Form der Wellenbewegung und deren Ausbreitungsrichtung relevant. Unterschiedliche Wellenarten- und Ausbreitungsrichtungen, sowie die ebenfalls unterschiedlichen Ausrichtungen von Rohrleitungsverläufen, machen eine eindeutige Aussage über die Leitungsbelastung einer eingeeerdeten Rohrleitung bei einer definierten Erdbebenintensität schwierig.

Unter der (konservativen) Voraussetzung, dass die Rohrleitung fest an den Boden angekoppelt ist, wird diese den durch ein Erdbeben ausgelösten Stauchungen und Streckungen unmittelbar folgen. Daher ist es eine praktikable Vorgehensweise, für die einzelnen Wellenarten konservativ die jeweils ungünstigste Wirkungsrichtung auf die Rohrleitung zu betrachten.

Infolge dieser vereinfachenden – jedoch konservativen – Annahme, kann die Berechnung auf eine axiale Richtung zum Rohr (Kompressionswellen; Dehnungen und Stauchungen) und normale Richtung zum Rohr (S-Wellen; Biegungen) reduziert werden [9].

In der DIN EN 1998-4, Anhang B [9] wird auf der Grundlage der oben beschriebenen, konservativen Annahmen, ein Berechnungsansatz für die Erdbebenbelastung von eingeeordneten Rohrleitungen angegeben. Danach wird die Bodenbewegung $u(x,t)$ in Rohrlängsrichtung durch eine sinusförmige Welle dargestellt:

$$u(x,t) = d \cdot \sin[\omega(t - x/c)] \quad (1)$$

Dabei ist:

d	die Amplitude der Bodenverschiebung
c	die auftretende Wellengeschwindigkeit

Die Teilchenbewegung „x“ ist in der Längsrichtung der Rohrleitung (Kompressionswellen) und quer zur Rohrleitung (Scherwellen) anzunehmen. Konservativ wird angenommen, dass die Rohrachse immer in der Wellenausbreitungsrichtung liegt.

Die Teilchenbewegungen in Längsrichtung erzeugen Dehnungen (ε) im Boden, die auf die Rohrleitung übertragen und durch folgende Gleichung dargestellt werden.

$$\varepsilon = -(\omega d/c) \cdot \cos[\omega(t - x/c)] \quad (2)$$

mit dem Maximalwert:

$$\varepsilon_{\max} = \omega \cdot d/c \quad (3)$$

wobei: $\omega \cdot d$ der Spitzenwert der Bodengeschwindigkeit
 c die auftretende Wellengeschwindigkeit

ist.

Der Zusammenhang zwischen dem Spitzenwert der Bodenbeschleunigung a_{gR} und Bodenverschiebung d ist:

$$a_{gR} = \omega^2 d \quad \text{oder} \quad \omega = \sqrt{a_{gR}/d} \quad (4)$$

Somit kann die Eigenkreisfrequenz ω durch Einsetzen von (4) in Gleichung (3) eliminiert werden und es folgt die maximale Längsdehnung:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\sqrt{a_{gR} \cdot d}}{c} \cdot \gamma \quad (5)$$

Nach DIN EN 1998-1 [8] kann der Bemessungswert d [m] der maximalen Bodenverschiebung unter Hinzuziehung des Bemessungswertes der Bodenbeschleunigung a_{gR} [m/s²] und der baugrundabhängigen Bodenparameter S , T_C , T_D (Tabelle 2) berechnet werden.

Die in dieser Tabelle ebenfalls zugeordneten Untergrundklassen der Erdbebenzonen können ebenfalls der DIN EN 1998-1/NA [11] entnommen werden (Abbildung 2).

Die Wellengeschwindigkeit „ c “ ist abhängig von der Baugrundklasse und kann der DIN EN 1998-1/NA, Kap. 3.1.2 [11] entnommen werden. Die Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung a_{gR} [m/s²] sind ebenfalls in tabellarischer Form vorgegeben und hängen von der jeweiligen Erdbebenzone ab (siehe Tabelle 1).

Zusätzlich ist nach DIN EN 1998-1/NA, Tabelle NA.6 [11] ein Bedeutungsbeiwert „ γ “, zur Berücksichtigung des Gefahrenpotentials des Transportgutes zu vorgesehen. In Abhängigkeit von dem Fördermedium sind Werte von $\gamma = 1, 2-1,6$ einzusetzen [12].

Tritt die Bodenbewegung gleichzeitig quer zur Leitung auf, kann die Maximalkrümmung einer Leitung ($\chi_{\max}$) und die daraus resultierende Längsdehnung ($\varepsilon_{\chi,\max}$) nach folgender Gleichung berechnet werden.

$$\chi_{\max} = a_{gR} / c^2 \quad (6)$$

Für die Längsbiegedehnung eines Rohres ergibt sich damit unter Verwendung des Rohraußendurchmessers D_a :

$$\varepsilon_{\chi,\max} = \gamma \cdot a_{gR} \cdot 0,5 \cdot D_a / c^2 \quad (7)$$

Die resultierende Gesamtaxialdehnung ergibt sich aus der konservativen Annahme einer Addition der Längsdehnung und der Biegedehnung resultierend aus der Krümmung des Rohres:

$$\varepsilon_{ax,\max} = \varepsilon_{\max} + \varepsilon_{\chi,\max} \quad (8)$$

5. Grenzwertbetrachtung für eine eingeeordnete Rohrfernleitung

In der DIN EN 1998-1/NA [11] werden in Abhängigkeit von den Baugrund- und Untergrundverhältnissen Schwingdauerbereiche (T_B , T_C , T_D) (siehe Tabelle 2) für die bodenabhängigen Frequenzspektren angegeben.

Die größten Erdbebenlasten für eine eingeeordnete Rohrfernleitung auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland würden demnach in einem Gebiet der Erdbebenzone 3 mit der Untergrundklasse T und der Baugrundklasse C (siehe Abbildung 2; stark bis völlig verwitterte Böden) vorliegen. In Deutschland sind diese ungünstigsten Bedingungen nur im Raum Aachen-Köln anzutreffen. Im Bereich Tübingen (Erdbebenzone 3 und Untergrundklasse R) sind die Untergrund- und Baugrundverhältnisse etwas günstiger.

Die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit „c [m]“ ergibt sich aus der DIN EN 1998-1/NA, Kap. 3.1.2 [11] und hängt von der vorliegenden Baugrundklasse ab. Für die

ungünstigste Baugrundklasse C und den höchsten Bedeutungsbeiwert ($\gamma = 1,6$) ergibt sich die maximale Längsdehnung zu:

$$\varepsilon_{\max} = 0,1349\%$$

sowie für die Biegedehnung (z.B. DN 1000; $D_a = 1016$ mm) :

$$\varepsilon_{\chi, \max} = \gamma \cdot a_g \cdot 0,5 \cdot D_a / c^2 = 0,0029\%$$

Die Summe aus Biege- und Axialdehnung ist demnach:

$$\varepsilon_{ax, \max} = \varepsilon_{\max} + \varepsilon_{\chi, \max} = 0,1378\%$$

und somit deutlich kleiner als die in DIN EN 1998-4, Kap. 6 [9] angegebenen Grenzwerte für in stabilen Böden eingeeordnete Rohrleitungen:

- zulässige Zugdehnung 3%
- zulässige Druckstauchung: $\min \{1\%; 20 t/R(\%)\}$

Als das begrenzende Kriterium für eingeeordnete Rohrleitungen ist hier das zweite Kriterium (die Druckstauchung) anzusehen, welches das instabile Beulen dünnwandiger Rohrquerschnitte beschreibt.

Unter Berücksichtigung des üblicherweise verwendeten Sicherheitsbeiwertes (gegen Innendruck) $S=1,6$ für Rohrfernleitungen lassen sich die minimalen Wandstärken-Durchmesserverhältnisse für unterschiedliche Werkstoffe errechnen. Unter der Annahme einer ungünstigen Konfiguration ergibt sich eine zulässige Druckstauchung von ca. 0,4 %. Damit ist Leitung durch das Erdbeben nur bis zu ca. einem Drittel der zulässigen Druckdehnung beansprucht.

Innerhalb der Bundesrepublik Deutschland würde die Grenzbelastbarkeit einer Rohrfernleitung demnach auch unter der Annahme von sehr konservativen Randbedingungen nicht überschritten.

6. Zusammenfassung

Die Normenreihe DIN EN 1998 liefert die Grundlage für die Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Die für die Auslegung benötigten Randbedingungen werden in nationalen Anhängen beschrieben, wobei sich die Anwendung der Normenreihe (bezogen auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland) auf die ausgewiesenen Erdbebenzonen 1-3 beschränkt. Für den flächenmäßig überwiegenden Teil Deutschlands ist die Auslegung nach der Normenreihe DIN EN 1998 nicht erforderlich, da diese Flächen als Erdbebenzone 0 (Gebiete mit sehr geringer Seismizität) ausgewiesen sind.

In der DIN EN 1998-1 [8] und der DIN EN 1998-4, Anhang B [9] sind Vorgaben für zulässige Grenzzustände (Fließgrenze, Bruchgrenze) sowie ein vereinfachter Berechnungsansatz hinsichtlich der Berechnung der Verformungen eingeerdeter Rohrleitungen bei dem Auftreten von Erdbebenwellen beschrieben. Dieser Ansatz liefert eine Abschätzung für den oberen Grenzwert der Dehnungen in der Rohrleitung.

Unter Zugrundelegung der jeweils ungünstigsten Randbedingungen (größte anzunehmende Bodenbeschleunigungen, ungünstigste Baugrund- und Untergrundverhältnisse, maximaler Bedeutungsbeiwert und ungünstigen Wanddicken-Durchmesser-Verhältnissen) ergeben sich Zusatzbeanspruchungen, die deutlich unter den in der Norm angegebenen Grenzwerten liegen.

Damit wird der in der Norm geforderte Schadensbegrenzungszustand, welcher die volle Integrität erfordert, erfüllt. Unter Berücksichtigung der Gefährdung von eingeordneten Rohrfernleitungen in der Bundesrepublik Deutschland durch Erdbeben in deutschen Erdbebengebieten besteht auf Grund dieser Ausarbeitung kein Anlass, die derzeitigen Auslegungskriterien für Rohrfernleitungen zu ändern.

Referenzen

- [1] Grünthal, G. (2004): Erdbeben und Erdbebengefährdung in Deutschland sowie im europäischen Kontext. *Geographie und Schule*, 151, 14-23.
- [2] Rheinisch-Westfälischer Technischer Überwachungsverein e.V. (2006): Gutachtliche Stellungnahme zur Erdbebensicherheit einer Rohrfernleitungsanlage zum Befördern wassergefährdender Stoffe.
- [3] Kästli, P., Fäh, D. (2006): Rapid Estimation of Macroseismic effects and Shakemaps using Macroseismic Data. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, 3. bis 8. September 2006.
- [4] Kuhlmann, W. (2004): Gesamtkonzept zur Ermittlung der seismischen Vulnerabilität von Bauwerken am Beispiel unterirdischer Rohrleitungen. Dissertation, RWTH Aachen.
- [5] Grünthal, G. (Hg.) (1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg.
- [6] Leydecker, G. (2009): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 2007. Datenfile, BGR Hannover.
- [7] Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben (EN 1998).
- [8] DIN EN 1998-1, 2011-01: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau.
- [9] DIN EN 1998-4, 2007-01: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen.
- [10] DIN 4149, 2005-04: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.
- [11] DIN EN 1998-1/NA, 2011-01: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau.
- [12] Verband der Chemischen Industrie e.V. (Mai 2009): Leitfaden: Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau. Leitfaden zur Anwendung der DIN 4149:2005 auf Tragwerke und Komponenten in der chemischen Industrie. Verband der Chemischen Industrie e.V. Frankfurt.

Anhang

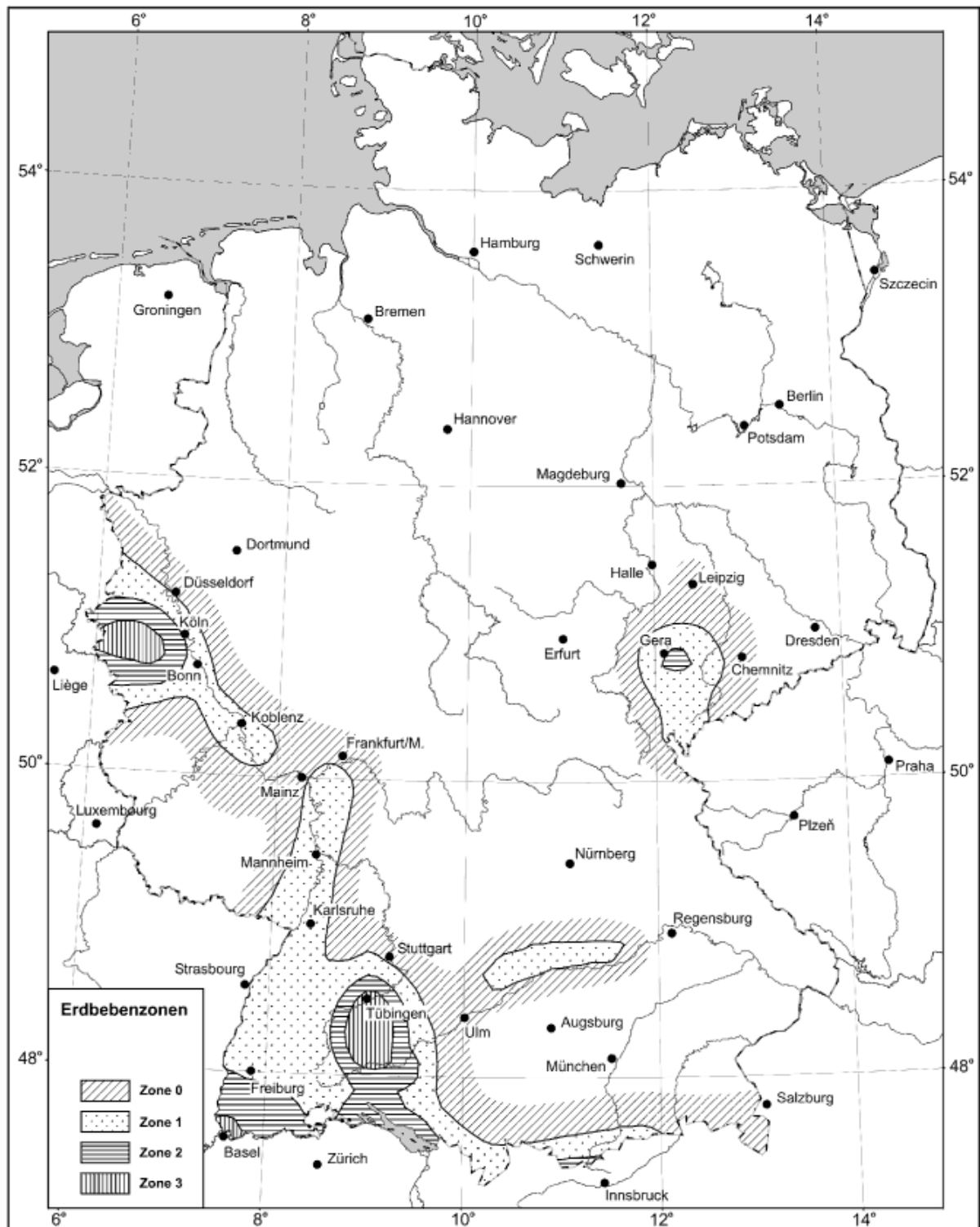


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland [11].

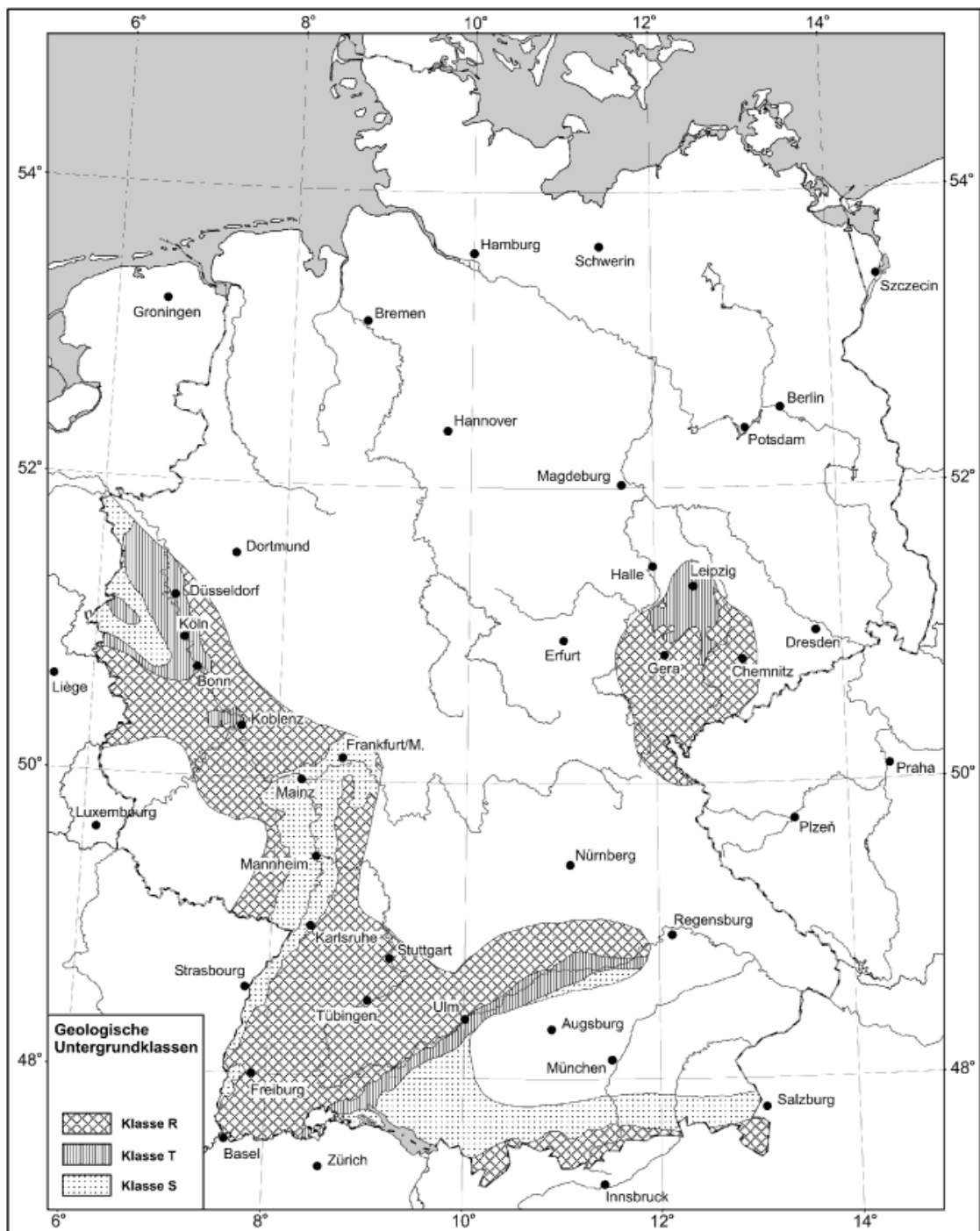


Abbildung 2: Schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland [11].

Tabelle 1: Zuordnung von Intensitätsintervallen und Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen [11].

Erdbebenzone	Intensitätsintervall	Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung a_{gR} m/s ²
0	$6 \leq I < 6,5$	—
1	$6,5 \leq I < 7$	0,4
2	$7 \leq I < 7,5$	0,6
3	$7,5 \leq I$	0,8

Tabelle 2: Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums [11].

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

Mitglieder der AfR - Arbeitsgruppe „Erdbeben“

Christian Engel

TÜV-Nord

Burkhard Grundmeier (Vorsitz)

WEG, Wirtschaftsverband Erdöl- und
Erdgasgewinnung

Dr. Achim Hilgenstock

E.ON-Ruhrgas AG

Dr. Ulrich Marewski

Open-Grid-Europe

Sabine Sievers

Air Liquide

Geschäftsstelle des Ausschusses für Rohrfernleitungen

in der

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Unter den Eichen 44-46

D - 12203 Berlin

Telefon: +49 30 8104-3986

<http://www.afr.bam.de>
