Jetzt kaufen auf shop.wvgw.de
Als Print oder PDF-Download

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

DVGW FORSCHUNG

www.dvgw-forschung.de

# Nachweis der Erdbebensicherheit von Gashochdruckleitungen

## Berücksichtigung von Erdbeben im DVGW-Regelwerk

## Abschlussbericht

**Soumitra Chatterji, M.Sc.**
SDA-engineering GmbH, Herzogenrath
**Dr.-Ing. Thomas Kubalski**
SDA-engineering GmbH, Herzogenrath
**Prof. Dr.-Ing. Christoph Butenweg**
SDA-engineering GmbH, Herzogenrath

SDA
ENGINEERING

# Nachweis der Erdbebensicherheit von Gashochdruckleitungen

**Berücksichtigung von Erdbeben im DVGW-Regelwerk**

## Abschlussbericht

Juli 2024

DVGW-Förderkennzeichen G 202107

# Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erfolgt die Untersuchung erdverlegter Gashochdruckleitungen aus Stahl mit Betriebsdrücken ≥ 16 bar, die für den Lastfall Erdbeben in Deutschland gemäß DIN EN 1594 nachweispflichtig sind. Basierend auf einer Auswahl repräsentativer Kombinationen aus Durchmesser und Auslegungsdruck in Verbindung mit den gemäß den gültigen Regelwerken anzusetzenden Minimalkonfigurationen (z.B. Wandstärke gemäß DIN EN 1594 bzw. DVGW G 463) erfolgt die Ableitung unterschiedlicher Realisierungen. Diese bilden die Grundlage für die weiteren Untersuchungen und werden im ersten Teil in Form von geraden Rohrleitungsabschnitten sowie Werksbögen als prototypische Konfigurationen genutzt, um den Einfluss der einzelnen Eigenschaften auf das Nachweisergebnis für den Lastfall seismische Wellenausbreitung zu untersuchen. Basierend auf diesen Erkenntnissen erfolgt die Durchführung einer gezielten Parameterstudie mit dem Ziel ein vereinfachtes Nachweisverfahren abzuleiten. Dieses basiert auf einem mehrstufigen Ansatz ausgehend von einer Bewertung der erdverlegten Rohrleitung anhand einer Bewertungsmatrix in tabellarischer Form. Die weiteren Stufen stellen u.a. eine detailliertere Betrachtung in tabellarischer Form sowie ein rechnergestütztes numerisches Vorgehen zur Bewertung der Rohrleitung dar. Zusätzlich werden vereinfachte analytische Berechnungsansätze vorgestellt. Generell zeigt sich bei der Untersuchung der erdverlegten Rohrleitungen, dass die in Deutschland zu erwartenden seismischen Einwirkungen für gerade Rohrleitungsabschnitte unkritisch hinsichtlich des Nachweises sind. In Abhängigkeit der vorliegenden Randbedingungen stellen Rohrbögen die wesentlichen Bereiche für den Nachweis der Rohrleitung dar.

Anschließend erfolgt im zweiten Teil des Forschungsvorhabens die Untersuchung spezieller Leitungssituationen in Form von Unterquerungen mit variierender Verlegetiefe, Mantelrohren und Dükern sowie Übergangssituationen von unter- zu oberirdischer Verlegung. Analog zum ersten Teil werden auch hier zunächst die wesentlichen Einflussgrößen bei Beanspruchung durch seismische Wellenausbreitung identifiziert und basierend auf diesen ein vereinfachtes Vorgehen für den Nachweis abgeleitet. Dieses ist aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen Typen nur bedingt durch eine tabellarische Form repräsentierbar, sodass hier im Wesentlichen einfache analytische Ansätze für eine konservative Nachweisführung hergeleitet werden.

Zuletzt erfolgt die Betrachtung des Lastfalls bleibender Bodenverformungen auf gerade Rohrleitungsabschnitte. Hierbei wird aufgrund der Komplexität eines numerischen Rechenmodells eine vereinfachte analytische Vorgehensweise präsentiert, die für die Ermittlung der resultierenden Spannungen und Dehnungen in der Rohrleitung genutzt werden kann. Diese können dann für die Bewertung der Einhaltung der normativ geforderten Sicherheit gegenüber einem möglichen Versagen infolge Erdbeben genutzt werden.

# Inhaltsverzeichnis


1 Einleitung ... 1

1.1 Hinweise ... 2

2 Mechanische Grundlagen: Rohrleitungen ... 3

2.1 Lastfall: Innendruck ... 4
2.1.1 Dünnwandige Rohre ... 4
2.1.2 Dickwandige Rohre ... 4
2.1.3 Dehnung in Längsrichtung ... 5
2.2 Lastfall: Außendruck ... 5
2.2.1 Dünnwandige Rohre ... 5
2.2.2 Dickwandige Rohre ... 5
2.3 Lastfall: Temperatur ... 5
2.3.1 Dehnung in Längsrichtung ... 5
2.4 Lastfall: Erddruck (Überdeckung) ... 6

3 Erdbebeneinwirkung ... 7

3.1 Klassifizierung der seismischen Einwirkung ... 7
3.2 Elastische Antwortspektren ... 8
3.2.1 Horizontales elastisches Antwortspektrum ... 8
3.2.2 Vertikales elastisches Antwortspektrum ... 9
3.3 Erdbebenkarten nach DIN EN 1998-1/NA ... 10
3.3.1 Schadensfolgeklassen und Bedeutungsbeiwert ... 17
3.3.1.1 Aktuelle Eurocodegeneration ... 17
3.3.1.2 Ausblick auf die neue Eurocodegeneration ... 18
3.3.1.3 Wahl von Schadensfolgeklasse und Bedeutungsbeiwert ... 19
3.4 Zeitverläufe ... 20
3.4.1 Umhüllendes Antwortspektrum ... 21
3.4.2 Gewählte Zeitverläufe ... 22

4 Nachweise ... 24

4.1 Spannungsbasierte Nachweisformate ... 24
4.1.1 DIN EN 1594 ... 24
4.1.2 DIN EN 1993-4-3 ... 24
4.2 Dehnungsbasierte Nachweisformate ... 24
4.2.1 DIN EN 1998-4 ... 24
4.2.2 prEN 1998-4 ... 25
4.2.3 ALA Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe ... 25
4.2.4 IITK-GSDMA Guidelines for Seismic Design of Buried Pipelines ... 26
4.3 Verwendetes Nachweisformat ... 26

5 Parameterstudien für den Lastfall Wellenausbreitung ... 27

5.1 Realisierungen ... 27
5.1.1 Durchmesser ... 27
5.1.2 Auslegungsdruck ... 27
5.1.3 Material / Stahlsorten ... 27
5.1.4 Rohrwanddicke ... 29
5.1.5 Biegeradius ... 30

5.1.6 Rohrüberdeckung ..... 30
5.1.7 Betrachtete Realisierungen ..... 30
5.2 Numerisches Rechenmodell ..... 33
5.2.1 Rohrelemente ..... 33
5.2.2 Bodenfedern ..... 33
5.2.3 Lastfall Wellenausbreitung ..... 35
5.3 Vereinfachte Rechenansätze ..... 35
5.3.1 Gerade Rohrleitungen ..... 35
5.3.2 Rohrbögen ..... 39
5.4 Ergebnisse nichtlinearer Zeitverlaufsberechnungen ..... 41
5.4.1 Gerade Rohrleitungen ..... 41
5.4.2 Rohrbögen ..... 42

6 Hierarchisches Nachweiskonzept ..... 46

6.1 Grundlagen und Annahmen ..... 46
6.2 Stufe 1: Vereinfachte Tabelle (mit Ampelsystem) ..... 46
6.3 Stufe 2: Tabellen für spezifische Durchmesser ..... 47
6.4 Stufe 3: Einzelfallbetrachtung ..... 48
6.5 Anwendung ..... 48

7 Spezielle Leitungssituationen ..... 51

7.1 Unterquerungen mit variierender Verlegetiefe ..... 51
7.1.1 Geometrie ..... 51
7.1.2 Modellierung ..... 52
7.1.3 Validierung ..... 53
7.1.4 Ergebnisse und Überprüfung ..... 54
7.1.5 Fazit ..... 57
7.2 Mantelrohre und Düker ..... 58
7.2.1 Grundlagen ..... 58
7.2.2 Numerischer Ansatz ..... 58
7.2.3 Analytischer Ansatz ..... 61
7.2.4 Nachweiskonzept ..... 62
7.3 Übergangssituationen von unter- zu oberirdischer Verlegung ..... 62
7.3.1 Modellierung ..... 62
7.3.2 Prototypische Anwendung ..... 63
7.3.3 Bemessungskonzept ..... 65
7.3.3.1 Oberirdische Leitungen auf Einzelfundamenten oder Fundamentplatten ..... 65
7.3.3.2 Übergangssituationen zwischen unter- und oberirdischer Leitungsführung 66
7.3.4 Anwendung ..... 66

8 Bleibende Bodenverformungen ..... 69

8.1 Bodenverflüssigung ..... 69
8.1.1 Auftrieb ..... 69
8.1.2 Beispiel ..... 69
8.1.3 Fazit ..... 70
8.2 Seismische Verwerfungen ..... 71
8.2.1 Ermittlung der Bemessungsverschiebung der Verwerfung ..... 72
8.2.2 Blattverschiebung ..... 72

8.2.3 Normalabschiebung ....73
8.2.4 Berechnungsverfahren für gerade Rohrleitungen ....74
8.2.4.1 Elastischer Ansatz ....74
8.2.4.2 Plastischer Ansatz (iteratives Spannungsverfahren) ....75
8.2.5 Beispiel ....76
8.2.5.1 Plastischer Ansatz (Blattverschiebung) ....77
8.2.5.2 Plastischer Ansatz (Normalabschiebung) ....78
8.2.6 Axiale Dehnungen ....79
8.2.7 Bemessungskonzept ....80
8.3 Setzungen ....80
8.4 Böschungsbruch ....80
8.5 Seitliche Ausdehnung und Erdrutsche ....82
8.5.1 PGD in axialer Richtung der Rohrleitung ....82
8.5.1.1 Grundlagen ....82
8.5.1.2 Beispiel ....83
8.5.1.3 Fazit ....85
8.5.2 PGD in Querrichtung der Rohrleitung ....85
8.5.2.1 Grundlagen ....85
8.5.2.2 Prototypische Anwendung (Fall 1) ....86
8.5.2.3 Prototypische Anwendung (Fall 2) ....88
8.5.2.4 Fazit ....89
8.5.3 Bemessungskonzept ....89
9 Schlussfolgerungen und Ausblick ....91
10 Literaturverzeichnis ....92
11 Abbildungsverzeichnis ....96
12 Tabellenverzeichnis ....100
13 Anhang ....103
13.1 Verwendete Zeitverläufe ....103
13.1.1 Einwirkungsniveau „Sehr gering“ ....103
13.1.2 Einwirkungsniveau „Gering“ ....109
13.1.3 Einwirkungsniveau „Moderat“ ....115
13.1.4 Einwirkungsniveau „Hoch“ ....121
13.2 Ergebnisse Rohrbögen – Analytische Berechnung ....127
13.3 Ergebnisse gerade Rohrleitung – Numerische Berechnung ....128
13.4 Validierung sinusförmiger Lastansatz ....129
13.5 Ergebnisse Rohrbögen – Numerische Berechnung ....130
13.5.1 DN 100 ....130
13.5.2 DN 300 ....134
13.5.3 DN 600 ....136
13.5.4 DN 1000 ....138
13.5.5 DN 1400 ....138
13.6 Hierarchisches Nachweiskonzept – Tabellen Stufe 2 ....139
13.6.1 DN 100 ....139
13.6.2 DN 300 ....142
13.6.3 DN 600 ....144
13.6.4 DN 1000 ....145

13.6.5 DN 1400 ..... 145
13.7 Bodenfedern – Kreuzungsbauwerke ..... 146
13.8 Kritische Längen bei verschiedenen Durchmessern (Mantelrohr) ..... 147
13.8.1 DN 100 ..... 147
13.8.2 DN 600 ..... 147
13.8.3 DN 1000 ..... 147
13.9 Übergangssituation (Prototyp) ..... 148
13.10 Seismische Verwerfungen ..... 150
13.10.1 Blattverschiebung (Plastischer Ansatz) ..... 150
13.10.2 Normalabschiebung (Plastischer Ansatz) ..... 153