

Dipl.-Ing. Dr. techn. Knut Scharf, Wien

**Beiträge zur Erfassung  
des Verhaltens von  
erdbebenerregten, ober-  
irdischen Tankbauwerken**

Reihe **4**: Bauingenieurwesen

Nr. **97**

# INHALTSVERZEICHNIS

Summary .....	1
<b>1 Einleitung</b> .....	17
<b>1.1 Motivation</b> .....	17
<b>1.2 Bisherige Untersuchungen -         Stand von Wissenschaft und Forschung</b> .....	21
<b>1.3 Zielsetzung</b> .....	23
<b>2 Die Antwortspektrenmethode</b> .....	25
<b>3 Verankerte zylindrische Tankbauwerke</b> .....	33
<b>3.1 Belastung zufolge horizontaler Erdbebenerregung</b> .....	33
3.1.1 Dynamisch aktivierter Druck zufolge der gemeinsamen Schwingung von Flüssigkeit und Tankwand .....	35
3.1.2 Dynamisch aktivierter Druck zufolge der Starrkörperverschiebung der Flüssigkeit .....	36
3.1.3 Dynamisch aktivierter Druck zufolge der Oberflächenschwingungen der Flüssigkeit .....	37
3.1.4 Überlagerung der einzelnen Anteile des dynamisch aktivierten Drucks zufolge eindimensionaler horizontaler Erdbebenerregung .....	39
3.1.5 Bestimmung des Mantelmomentmaximums .....	43
<b>3.2 Belastungen zufolge vertikaler Erdbebenerregung</b> .....	45
3.2.1 Dynamisch aktivierter Druck zufolge der gemeinsamen Schwingung von Flüssigkeit und Tankwand .....	45
3.2.2 Dynamisch aktivierter Druck zufolge der Vertikalverschiebung der Flüssigkeitssäule .....	46
3.2.3 Überlagerung der einzelnen Anteile des dynamisch aktivierten Drucks zufolge vertikaler Erdbebenerregung .....	47

<b>3.3 Verankerte zylindrische Tankbauwerke unter dreidimensionaler Erdbebenerregung</b> .....	48
3.3.1 Verankerte zylindrische Tankbauwerke unter zweidimensionaler horizontaler Erdbebenerregung .....	49
3.3.2 Verankerte zylindrische Tankbauwerke unter horizontaler und vertikaler Erdbebenerregung .....	58
<b>4 Versagensformen der Tankwand bei Erdbebenbelastung</b> .....	61
4.1 Einleitung .....	61
4.2 Elastoplastisches Beulen von erdbebenbelasteten Tanks .....	63
4.3 Bestimmung der 'kritischsten' Versagensform der Tankwand .....	67
<b>5 Unverankerte zylindrische Tankbauwerke</b> .....	70
5.1 Einleitung .....	70
5.1.1 Bisherige Untersuchungen und Ergebnisse .....	71
5.1.2 Zielsetzung .....	77
5.2 Quasistatische nichtlineare Berechnung des Verhaltens von unverankerten zylindrischen Tankbauwerken .....	78
5.2.1 Ermittlung der nichtlinearen Federkennlinien für das Schale-Federn-Modell unverankerter zylindrischer Tankbauwerke .....	79
5.2.2 Dreidimensionale quasistatische Analyse von unverankerten zylindrischen Tankbauwerken .....	86
5.3 Druckverteilung bei unverankerten abhebenden zylindrischen Tankbauwerken zufolge der Tankbodenbewegung .....	101
5.3.1 Ableitung der Bestimmungsgleichung für den dynamisch aktivierten Druck zufolge der Tankbodenbewegung .....	101
5.3.2 Beitrag des dynamisch aktivierten Drucks zufolge der Tankbodenbewegung zum gesamten dynamisch aktivierten Druck von unverankerten Tankbauwerken ..	120
5.4 Verwendung der Antwortspektrenmethode für die Berechnung des nichtlinearen Verhaltens von unverankerten Tankbauwerken .....	124

5.4.1	Verwendung der Antwortspektrenmethode für die Berechnung von Antwortgrößen bei einfachen nichtlinearen Einmassenschwingern .....	125
5.4.2	Ein vereinfachtes Ersatzmodell zur Ermittlung des dynamisch aktivierten Drucks von erdbebenerregten, unverankerten zylindrischen Tankbauwerken .....	148
<b>6</b>	<b>Dynamische Instabilitäten bei erdbebenerregten Tankbauwerken .....</b>	<b>163</b>
6.1	<b>Einleitung und Grundlagen .....</b>	<b>163</b>
6.1.1	Definition von Parameterresonanzen .....	163
6.1.2	Definition von Parameterkombinationsresonanzen .....	167
6.1.3	Bisherige experimentelle und theoretische Untersuchungen des dynamischen Stabilitätsverhalten von erdbebenerregten Tanks .....	168
6.2	<b>Untersuchung des instabilen Zeitverhaltens von erdbebenerregten Tanks mittels der Methode der finiten Elemente .....</b>	<b>169</b>
6.3	<b>Abschätzung des dynamischen Stabilitätsverhaltens .....</b>	<b>175</b>
<b>7</b>	<b>Eine ingenieurmäßige erdbebensichere Bemessung von zylindrischen Tankbauwerken .....</b>	<b>179</b>
<b>8</b>	<b>Schlußbemerkungen .....</b>	<b>191</b>
8.1	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>191</b>
8.2	<b>Ausblick .....</b>	<b>193</b>
<b>Anhang A</b>	<b>- Geometrie und Materialdaten der untersuchten Tankbauwerke .....</b>	<b>195</b>
<b>Anhang B</b>	<b>- Daten des Friauler Erdbebens 1976 .....</b>	<b>202</b>
<b>Anhang C</b>	<b>- Dynamisch aktivierte Drücke und Mantelumsturzmomente für Tank T1 - T13 .....</b>	<b>207</b>
<b>Anhang D</b>	<b>- Ergänzende Ergebnisse zur quasistatischen Untersuchung von unverankerten Tankbauwerken .....</b>	<b>214</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>222</b>