



Sammy Zein El Dine (Autor)


## **Ermüdungssicherheit der Schweißnähte an Ringflanschverbindungen in turmartigen Stahlbauten**

Sammy Zein El Dine

---

**Ermüdungssicherheit der Schweißnähte an  
Ringflanschverbindungen in turmartigen  
Stahlbauten**

---

 Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1583>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhalt

<b>Inhalt .....</b>	<b>I</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Überblick .....	3
<b>2 Ringflanschverbindungen bei Stahlrohtürmen.....</b>	<b>5</b>
2.1 Elastisches Tragverhalten von L-Ringflanschverbindungen.....	6
2.1.1 Schrauben-Berechnungsmodell nach Petersen .....	7
2.1.2 Schrauben-Berechnungsmodell nach Schmidt/Neuper .....	8
2.1.3 Schrauben-Berechnungsmodell in der VDI-Richtlinie 2230.....	8
2.1.4 Schrauben-Berechnungsmodell nach Seidel.....	9
2.1.5 Beanspruchung der Schweißnähte.....	10
2.2 Auslegung von L-Ringflanschverbindungen.....	10
2.2.1 Empfohlene Abmessungen.....	10
2.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	11
2.2.3 Grenzzustand der Ermüdung.....	13
2.3 Zur Herstellung von turmartigen Stahlbauten.....	14
2.3.1 Herstellverfahren .....	14
2.3.2 Herstellbedingte Imperfektionen in L-Ringflanschverbindungen.....	14
<b>3 Grundlagen der Ermüdungsfestigkeit von Stahlkonstruktionen.....</b>	<b>17</b>
3.1 Rissentstehung .....	17
3.2 Kerbwirkung .....	18
3.3 Wöhlerversuche und Wöhlerlinie.....	19
3.4 Rechnerische Verfahren für den Nachweis ausreichender Ermüdungs- festigkeit .....	23
3.4.1 Nennspannungskonzept.....	23
3.4.2 Strukturspannungskonzept.....	24

---

3.4.3	Kerbspannungskonzept .....	25
3.4.4	Kerbgrundkonzept .....	26
3.5	Ermüdung unter nichtperiodischer Beanspruchung .....	27
3.5.1	Auswertung von Beanspruchung-Zeit-Funktionen .....	27
3.5.2	Lineare Schadensakkumulation nach Palmgren und Miner .....	28
3.6	Regelwerke zum Ermüdungssicherheitsnachweis .....	30
3.6.1	Normen im Bauwesen .....	30
3.6.2	Regelwerke und Normen im Maschinenbau .....	33
3.6.3	Kritische Betrachtungen zum Eurocode .....	34
3.7	Vergleich der Regelungen für Ringflanschverbindungen .....	35
3.7.1	L-Flansch als Aufschweißflansch (Anschluss der Schale mit zwei Kehlnähten) .....	36
3.7.2	L-Flansch als Vorschweißflansch ohne Hals (Anschluss der Schale mit K-Naht) .....	37
3.7.3	L-Flansch als Vorschweißflansch mit Hals (Anschluss der Schale mit Stumpfnäht) .....	39
3.7.4	T-Flansch als Vorschweißflansch ohne Hals (Anschluss der Schale mit K-Naht) .....	39
3.7.5	Zusammenfassung .....	40
<b>4</b>	<b>Berechnungen von Ringflanschverbindungen mit Hilfe der Finite- Elemente-Methode (FEM) .....</b>	<b>41</b>
4.1	Grundlagen der FE-Berechnung .....	41
4.1.1	Nichtlineare Berechnungen allgemein .....	41
4.1.2	Das Newton-Raphson-Verfahren .....	42
4.2	Aufbau des FE-Modells .....	44
4.2.1	Verwendete Elementtypen .....	44
4.2.2	Diskretisierung .....	47
4.2.3	Werkstoffeigenschaften .....	48
4.2.4	Symmetrien und Randbedingungen .....	48
4.2.5	Berechnungsablauf .....	50

---

4.3 Validierung des FE-Modells mit Hilfe eines dokumentierten Traglastversuches .....	51
4.3.1 Beschreibung des Traglastversuchs.....	51
4.3.2 Vergleichsberechnungen zum Diskretisierungsgrad.....	53
4.3.3 Vergleichsberechnungen zur Schweißnahtgeometrie .....	56
<b>5 Numerische Parameterstudien zur lokalen Schalenbiegebeanspruchung im Bereich einer Ringflanschverbindung.....</b>	<b>59</b>
5.1 Perfekte L-Ringflanschverbindungen mit Hals .....	59
5.1.1 Berechnete Parametervarianten.....	59
5.1.2 Ergebnisse: Schalenbiegespannungen an der Schweißnaht.....	65
5.1.3 Ergebnisse: Ermüdungsschädigung der Schweißnaht .....	79
5.2 Imperfekte L-Ringflanschverbindungen mit Hals.....	87
5.2.1 Berechnete Parametervarianten.....	88
5.2.2 Ergebnisse: Schalenbeanspruchung an der Schweißnaht .....	91
5.2.3 Ergebnisse: Ermüdungsschädigung der Schweißnaht .....	103
<b>6 Entwicklung eines vereinfachten FE-Modells für Ringflanschverbindungen.....</b>	<b>109</b>
6.1 Aufbau des vereinfachten FE-Modells .....	109
6.1.1 Vorüberlegungen zur Modellierung.....	109
6.1.2 Einzelheiten des Modellaufbaus.....	110
6.2 Validierung des vereinfachten FE-Modells.....	112
6.2.1 Vergleich der FE-Modelle bei perfekter Ringflanschgeometrie.....	112
6.2.2 Vergleich der FE-Modelle bei imperfekter Ringflanschgeometrie .....	114
6.3 Beispielhafte Anwendung des vereinfachten FE-Modells: Einfluss der Hauptwindrichtung bei imperfekten L-Ringflanschverbindungen .....	116
6.3.1 Ergebnisse: Schalenbeanspruchung an der Schweißnaht .....	117
6.3.2 Ergebnisse: Ermüdungsschädigung der Schweißnaht .....	118

---

<b>7 Dauerschwingversuche an Stumpfnähten unter besonderer Berücksichtigung einer Spannungsgradienten über die Blechdicke .....</b>	<b>121</b>
7.1 Vorbereitung der Versuche .....	121
7.1.1 Prüfmaschinen und Versuchsaufbau .....	122
7.1.2 Fertigung der Versuchsproben .....	127
7.1.3 Ermittlung der Schweißnahtoberflächengeometrie .....	130
7.1.4 Ermittlung der mechanischen Werkstoffkenngrößen .....	136
7.1.5 Kalibrierung der exzentrischen Probenaufnahme .....	138
7.2 Durchführung der Versuche .....	140
7.3 Auswertung der Versuchsergebnisse.....	142
7.3.1 Lastspielzahlen .....	142
7.3.2 Bezugswerte der Ermüdungsfestigkeit .....	145
7.4 Ergänzende Berechnungen zur Kerbwirkung am Nahtübergang der Versuchsproben.....	147
7.4.1 Ermittlung von Kerbformzahlen mit Hilfe einer Näherungsformel .....	147
7.4.2 Numerische Ermittlung von Kerbformzahlen .....	149
7.5 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	153
<b>8 Rissfortschrittsberechnungen an ausgewählten L-Ringflanschverbindungen mit Hilfe der FEM .....</b>	<b>157</b>
8.1 Bruchmechanische Grundlagen .....	158
8.1.1 Rissspitzenbeanspruchung.....	158
8.1.2 Bruchkriterium und Rissfortschrittsgesetze.....	163
8.1.3 Einfluss der Mittelspannungsintensität.....	165
8.1.4 Reihenfolgeeffekte .....	166
8.2 Besonderheiten des verwendeten FE-Modells.....	167
8.2.1 Riss- und Kontaktelemente.....	167
8.2.2 Berechnungsaufwand .....	168
8.2.3 Substrukturtechnik.....	168

---

8.3 Ermüdungswirksame Einwirkungen .....	169
8.3.1 WEA-typische Beanspruchungszeitreihen.....	169
8.3.2 Extrapolation der Zeitreihen auf längere Zeiträume.....	170
8.4 Durchführung der Rissfortschrittsberechnungen .....	172
8.4.1 Annahmen .....	172
8.4.2 Berechnungsschritte .....	175
8.4.3 Berechnete Ringflanschverbindungen und Parametervariationen....	176
8.5 Ergebnisse der Rissfortschrittsberechnungen.....	176
8.5.1 Parameterstudie zur Berechnungstechnik und zur Bruchzähigkeit...	178
8.5.2 Perfekte Ringflanschverbindungen .....	181
8.5.3 Imperfekte Ringflanschverbindungen .....	182
8.5.4 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse .....	184
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>187</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>191</b>
<b>Normen und Richtlinien .....</b>	<b>199</b>
<b>Anlagen.....</b>	<b>203</b>