



Alexander Jakubowski (Autor)

**Ermüdungssichere Bemessungen geschraubter
Ringflanschstöße in turmartigen Stahlbauten unter
besonderer Berücksichtigung von
Flanschimperfektionen**

Alexander Jakubowski

**Ermüdungssichere Bemessung geschraubter
Ringflanschstöße in turmartigen Stahlbauten
unter besonderer Berücksichtigung von
Flanschimperfektionen**



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3323>

Copyright:

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

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

Inhalt

0 Formelzeichen und Abkürzungen	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Problemstellung.....	3
1.3 Zusammenfassender Überblick	4
2 Wissensstand	7
2.1 Herstellung von Stahlrohrtürmen.....	7
2.2 Geometrische Imperfektionen	9
2.2.1 Definition.....	9
2.2.2 Baupraktische Imperfektionen und Ermüdungsschäden	12
2.2.3 Fertigungstoleranzen	15
2.2.4 Sanierungsmaßnahmen	17
2.3 Experimentelle Untersuchungen.....	20
2.3.1 Perfekte Flanschverbindungen	20
2.3.2 Imperfekte Flanschverbindungen	22
2.4 Theoretische Untersuchungen	25
2.4.1 Perfekte Flanschverbindungen	25
2.4.2 Imperfekte Flanschverbindungen	26
2.5 Berechnungsmodelle zur Ermittlung der Schraubenbeanspruchung	28
2.5.1 Elastisches Tragverhalten	28
2.5.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit (Traglastzustand).....	34
2.5.3 Grenzzustand der Ermüdung.....	36
2.6 Alternative Flanschverbindungen	39
3 Vorversuche an Einschraubensegmenten	41
3.1 Allgemeines.....	41
3.2 Versuchskörper und Versuchsprogramm.....	41
3.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung.....	43
3.4 Versuchsergebnisse.....	44
3.4.1 Zugversuche an ganzen Schrauben.....	44
3.4.2 Zugversuche an L-Flansch-Segmenten.....	45

4 Rohrbiegeversuche	51
4.1 Allgemeines	51
4.2 Versuchsprogramm	51
4.2.1 Zugrundegelegte Ringflanschverbindungen	51
4.2.2 Versuchsparameter Flanschimperfektion	54
4.3 Versuchskörper	55
4.3.1 Herstellung der Prüfkörper	55
4.3.2 Begleitende Materialprüfung.....	56
4.3.3 Vermessung der Prüfkörper	62
4.4 Versuchsaufbau	69
4.4.1 Belastungsvorrichtung	69
4.4.2 Messeinrichtungen	71
4.5 Versuchsdurchführung	74
4.5.1 Aufbringen der Vorspannung.....	74
4.5.2 Ablauf der Belastungsversuche	75
4.6 Versuchsergebnisse	77
4.6.1 Darstellung der Versuchsergebnisse.....	77
4.6.2 Messungenauigkeiten und Messfehler	82
4.6.3 Ergebnisse der Vorspannphase	83
4.6.4 Ergebnisse der Schwellbelastungsphase	95
4.6.5 Ergebnisse der Traglastversuche	116
4.7 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den Versuchen	119
5 Numerische Vergleichsberechnungen zu den Rohrbiegeversuchen	123
5.1 Grundlagen der nichtlinearen Berechnung	123
5.2 Aufbau des FE-Modells	127
5.2.1 Elementtypen.....	127
5.2.2 Diskretisierung der Schrauben und Flansche.....	129
5.2.3 Werkstoffeigenschaften.....	134
5.2.4 Symmetrie- und Randbedingungen	135
5.2.5 Modellierung der Flanschimperfektionen.....	138
5.2.6 Aufbringen der Vorspannung.....	141
5.2.7 Gesamtablauf der FE-Simulation eines Rohrbiegeversuches	143
5.3 Validierung des FE-Modells	143
5.3.1 Vorspannphase	144
5.3.2 Schwellbelastungsphase	149
5.3.3 Zusammenfassung	156

5.4 Weitere FE-Vergleichsberechnungen	156
5.4.1 Schraubenschnittgrößen unter stetig ansteigender Rohrbiegebelastung ..	156
5.4.2 Vorspannverluste bei wiederholter Belastung	159
5.5 Reduktion des FE-Modells	160
6 Numerische Parameterstudie zum Einfluss von Flanschimperfectionen	165
6.1 Eingangparameter	165
6.1.1 FE-Modell und Randbedingungen	165
6.1.2 Untersuchte Flanschstöße	166
6.1.3 Werkstoffe	168
6.1.4 Imperfektionsgeometrie	169
6.1.5 Berechnungsaufwand	169
6.1.6 Beanspruchungsdaten	169
6.2 Einfluss der Imperfektionen auf die Beanspruchungen	171
6.2.1 Schraubenbeanspruchungen	171
6.2.2 Rohrbeanspruchungen	178
6.3 Einfluss der Imperfektionen auf die Ermüdungsschädigung	180
6.3.1 Vorgehensweise	180
6.3.2 Ergebnisse L-Flanschstöße	182
6.3.3 Ergebnisse T-Flanschstoß	186
7 Weiterführende theoretische und numerische Betrachtungen... 189	
7.1 Entwicklung eines verbesserten FE-Segmentmodells	189
7.1.1 Schalenverformungen bei rotationssymmetrischen Imperfektionen	189
7.1.2 Schalenverformungen bei nicht-rotationssymmetrischen Imperfektionen .	196
7.1.3 FE-Segmentmodell zur Erfassung von Imperfektionen	199
7.2 Erfassung von Flanschimperfectionen in vereinfachten Berechnungsmodellen	208
7.2.1 Implementierung einer Ersatzimperfektion im Berechnungsmodell nach VDI-Ri2230	210
7.2.2 Zur Validierung des modifizierten VDI-Ri2230-Modells	211
7.3 Untersuchung möglicher Teilursachen für Flanschimperfectionen	214

8 Überlegungen zur praktischen Umsetzung der Ergebnisse	219
8.1 Überprüfung der vereinfachten Berechnungsmodelle anhand der Versuchsergebnisse	219
8.1.1 Schraubenbeanspruchung in L-Flanschstößen	219
8.1.2 Schraubenbeanspruchung in T-Flanschstößen	223
8.1.3 Traglasten von Flanschstößen	226
8.2 Überprüfung der vereinfachten Berechnungsmodelle anhand der Ergebnisse der Parameterstudie	229
8.2.1 Axialkraftfunktionen der Schrauben	229
8.2.2 Ermüdungsschädigungssummen der Schrauben	232
8.3 Zum Nachweis der Ermüdungssicherheit	235
8.4 Zum Nachweis der Tragsicherheit	238
8.5 Zur Sanierung imperfekter Flanschstöße mit Hilfe von Futterblechen....	238
8.5.1 Sanierungskonzept	238
8.5.2 Schraubenbeanspruchung in sanierten Flanschstößen	242
9 Zusammenfassung und Ausblick.....	245
10 Literatur.....	249