



Matthias Wünsche (Autor)  
**Numerische Korrosionssimulation von konstruktiven  
Schwachstellen für die industrielle Anwendung**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8276>

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>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>III</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Nomenklatur</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen: Korrosion und Korrosionssimulation</b> .....	<b>3</b>
2.1 Elektrochemische Beschreibung der Korrosion .....	3
2.1.1 Thermodynamik .....	4
2.1.2 Kinetik .....	7
2.2 Korrosive Schwachstellen .....	10
2.2.1 Korrosionsarten .....	11
2.2.2 Korrosion an Bauteilkanten .....	11
2.2.3 Korrosion in Flanschen und Falzen .....	18
2.2.4 Korrosion beim galvanischen Kontakt .....	23
2.3 Korrosionsschutzsysteme .....	25
2.4 Methode der finiten Elemente .....	27
2.4.1 Grundprinzip und Einsatzgebiete .....	28
2.4.2 Modellbildung und Preprocessing .....	28
2.4.3 Lösungsverfahren .....	30
2.4.4 Auswertung .....	33
2.5 Simulation von Korrosionsprozessen .....	33
2.5.1 Grundlegendes Vorgehen .....	33
2.5.2 Materialmodelle .....	36
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>39</b>
3.1 Simulation .....	39
3.1.1 Software .....	39
3.1.2 Hardware .....	39
3.2 Probenherstellung für experimentelle Untersuchungen .....	39
3.2.1 Prüfbleche .....	39
3.2.2 Herstellung von Kantengeometrien .....	41
3.2.3 Herstellung von Punktschweißflanschen .....	41
3.2.4 Herstellung von Glasflanschen .....	42
3.2.5 Lackaufbau .....	43
3.3 Korrosionsprüfungen .....	46

---

3.4	Auswertungsmethoden für experimentelle Untersuchungen .....	47
3.4.1	Topologische Charakterisierung der Kante .....	47
3.4.2	Elektrochemische Impedanzspektroskopie .....	48
3.4.3	Schichtdickenmessung .....	54
3.4.4	Querschleifuntersuchung .....	54
3.4.5	Entlacken des Kantenbereiches .....	54
3.4.6	Dampfstaßen des Kantenbereiches.....	55
3.4.7	Bildauswertung .....	55
3.4.8	Lichtmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie.....	58
<b>4</b>	<b>Experimentelle Korrosionsuntersuchungen .....</b>	<b>59</b>
4.1	Charakterisierung des Kantenbereiches .....	59
4.1.1	Kantenform .....	59
4.1.2	Phosphatierung.....	60
4.1.3	Beschichtung .....	61
4.2	Elektrochemische Impedanzen an Kanten .....	69
4.2.1	Plausibilität der Messmethode EIS.....	70
4.2.2	Bestimmung der Messbedingungen der EIS .....	71
4.2.3	Abhängigkeit der Geometrie .....	75
4.2.4	Abhängigkeit des KTL-Materials .....	76
4.2.5	Abhängigkeit der KTL-Schichtdicke .....	80
4.2.6	Abhängigkeit des Grundsubstrat-Werkstoffes .....	82
4.2.7	Abhängigkeit des Elektrolyten .....	85
4.2.8	Abhängigkeit der Temperatur.....	89
4.2.9	Abhängigkeit des Herstellungsprozesses.....	90
4.2.10	Fehlerbetrachtung.....	91
4.3	Korrosionstests an Kanten .....	92
4.3.1	Korrosionsstart auf der KTL .....	92
4.3.2	Korrosionsstart unter der KTL .....	95
4.3.3	Zählung von Korrosionspunkten.....	97
4.3.4	Unterwanderung der KTL-Schicht .....	99
4.3.5	Form der Kantenkorrosion .....	100
4.4	Zusammenfassung der Versuche an Kanten .....	101
4.5	Charakterisierung von Flanschgeometrien .....	102
4.5.1	Geometrie .....	102
4.5.2	Medieneintritt .....	105
4.6	Bestimmung des Korrosionsstarts in Flanschen.....	109

---

4.7	Zusammenfassung der Versuche an Flanschen .....	113
4.8	Verwendete Eingangswerte für die Simulationen konstruktiver Schwachstellen.....	114
4.8.1	Eingangswerte für Simulationen an Kanten.....	114
4.8.2	Eingangswerte für Simulationen an Flanschen .....	115
<b>5</b>	<b>Korrosionssimulation von konstruktiven Schwachstellen .....</b>	<b>117</b>
5.1	Notwendigkeit der Modellerweiterung .....	117
5.2	Dimension der Simulation konstruktiver Schwachstellen.....	119
5.3	Modellbeschreibung Kante.....	120
5.3.1	Grundidee.....	120
5.3.2	Übertrag auf Kantenmodell .....	123
5.3.3	Zeitabhängigkeit .....	125
5.3.4	Ortsabhängigkeit.....	132
5.3.5	Umsetzung.....	133
5.4	Simulation von Kanten .....	134
5.4.1	Konvergenzanalyse .....	134
5.4.2	Simulationsergebnis.....	136
5.4.3	Analyse der Laufzeit .....	141
5.5	Validierung der Simulation der Kantenkorrosion.....	141
5.6	Modellbeschreibung Flansch.....	145
5.6.1	Simulation von Oberflächen .....	146
5.6.2	Simulation der Sauerstoff-Diffusion im Flansch.....	152
5.6.3	Umsetzung.....	155
5.7	Simulation von Flanschen .....	161
5.7.1	Konvergenzanalyse .....	162
5.7.2	Simulationsergebnis.....	165
5.7.3	Analyse der Laufzeit .....	171
5.8	Validierung der Simulation der Flanschkorrosion .....	174
5.9	Bewertung der erweiterten Simulationsansätze.....	176
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>179</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XVI</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>XXIX</b>