

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG	21
1.1	Allgemeines	21
1.2	Fragestellung und Ziel der Arbeit	21
1.3	Vorgehensweise	22
2	GRUNDLAGEN	25
2.1	Allgemeines	25
2.2	Korrosion von Stahl in Beton	25
2.2.1	Allgemeines	25
2.2.2	Gesetz von Faraday und Pitting-Faktor	27
2.2.3	Erscheinungsformen	28
2.2.4	Kinetik der elektrochemischen Reaktionen	29
2.2.4.1	Grundlagen	29
2.2.4.2	Kinetik der Durchtrittsreaktion	30
2.2.4.3	Kinetik der kathodischen Reaktion	32
2.2.4.4	Kinetik der anodischen Reaktion	35
2.2.5	Elektrolyt	39
2.2.5.1	Allgemeines	39
2.2.5.2	Ursachen und Einflüsse auf die elektrolytische Leitfähigkeit	39
2.2.5.3	Mathematische Formulierungen für Potentialfelder	40
2.2.6	Kinetik der Makroelemente	41
2.3	Modellierung der Bewehrungskorrosion	43
2.3.1	Allgemeines	43
2.3.2	Empirische Modelle	44
2.3.3	Semiempirische Modelle	47
2.3.3.1	Allgemeines	47
2.3.3.2	Elektrolytwiderstandsbasierte Modelle	47
2.3.3.3	Diffusionswiderstandsmodell	50
2.3.4	Elektrochemische Modelle	50
2.3.4.1	Allgemeines	50
2.3.4.2	Vereinfachte elektrochemische Modelle für Eigenkorrosion	51
2.3.4.3	Elektrochemisches Modell für diffusionskontrollierte Korrosionssysteme	52
2.3.4.4	Widerstandsmodelle für Makroelemente	52
2.3.4.5	Modellierungen von Makroelementen mittels Widerstandsnetzwerken	55
2.3.4.6	Numerische Modelle für Makroelemente	55
2.4	Geometrieinfluss	56
2.4.1	Allgemeines	56
2.4.2	Flächenregel	56
2.4.3	Weitere Untersuchungen zum Geometrieinfluss	59
2.5	Numerische Methoden	60
2.5.1	Allgemeines	60

2.5.2	Finite-Element-Methode	60
2.5.3	Boundary-Element-Methode.....	63
3	LABORVERSUCHE	68
3.1	Allgemeines	68
3.2	Laborversuchskörper.....	68
3.2.1	Allgemeines	68
3.2.2	Materialeigenschaften.....	68
3.2.2.1	Stahl.....	68
3.2.2.2	Beton.....	68
3.2.3	Klimabedingungen	69
3.3	Versuchskörper zur Ermittlung des Polarisationsverhaltens LP.....	69
3.4	Elementare Geometrien.....	71
3.4.1	Parallele Anordnung PP	71
3.4.2	Koplanare Anordnung CP	72
3.5	Flächige Bauteile mit zwei Bewehrungslagen	73
3.5.1	Lokale Depassivierung SP	73
3.5.2	Linienförmige Depassivierung SL.....	75
3.6	Bauteile mit mehr als zwei Bewehrungslagen und zusätzlichen Bügeln.....	77
3.6.1	Vollständige Depassivierung der oberen Bewehrungslage BL	77
3.6.2	Linienförmige Depassivierung BC	79
3.7	Gesamtübersicht.....	81
3.8	Laboruntersuchungen.....	82
3.8.1	Allgemeines	82
3.8.2	Messung des Makroelementstromes.....	82
3.8.3	Visuelle Untersuchung der Metalloberflächen	89
3.8.4	Bestimmung der Elektrolytwiderstände	90
3.8.5	Untersuchungen zum anodischen Polarisationsverhalten	94
3.8.5.1	Allgemeines	94
3.8.5.2	Potentiostatische Stufenversuche	94
3.8.5.3	Potentiodynamische Untersuchungen.....	99
3.8.6	Untersuchungen zum kathodischen Polarisationsverhalten.....	104
3.8.6.1	Allgemeines	104
3.8.6.2	Potentiodynamische Untersuchungen.....	104
3.8.7	Depolarisationsmessungen	107
3.8.7.1	Allgemeines	107
3.8.7.2	Depolarisationsmessungen an den Makroanoden	109
3.8.7.3	Depolarisationsmessungen an den Kathoden.....	112
3.8.7.4	Bestimmung der Treibspannungen	113
4	SIMULATION DER LABORPRÜFKÖRPER.....	114
4.1	Allgemeines	114
4.2	Vergleich FEM und BEM	114
4.2.1	Allgemeines	114

4.2.2	Versuchsprogramm und Vorgehensweise.....	114
4.2.3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	115
4.3	Verwendete Software	116
4.4	Eingabeparameter	116
4.4.1	Allgemeines	116
4.4.2	Anodisches Polarisationsverhalten.....	117
4.4.3	Kathodisches Polarisationsverhalten.....	118
4.4.4	Treibspannungen.....	118
4.4.5	Elektrolytwiderstand.....	118
4.4.6	Geometrie und Netze.....	119
4.5	Ergebnisse.....	120
4.5.1	Allgemeines	120
4.5.2	Potential- und Stromverteilungen	121
4.5.3	Elementströme und Vergleich mit den Laboruntersuchungen	123
4.5.4	Diskussion	127
5	PARAMETERSTUDIE.....	129
5.1	Allgemeines	129
5.2	Parameter und geometrische Randbedingungen.....	129
5.2.1	Elektrochemische Randbedingungen.....	129
5.2.1.1	Treibspannung.....	129
5.2.1.2	Elektrolytwiderstand.....	129
5.2.1.3	Polarisationsverhalten der Anoden.....	129
5.2.1.4	Polarisationsverhalten der Kathoden.....	130
5.2.2	Geometrische Randbedingungen.....	130
5.2.2.1	Allgemeines	130
5.2.2.2	Ausgewählte Bauteilgeometrien.....	130
5.2.2.3	Flächenverhältnis.....	130
5.2.3	Zusammenfassung	130
5.3	Simulationen und Ergebnisse.....	132
5.3.1	Allgemeines	132
5.3.2	Elementare Geometrie mit zwei parallelen Stäben	132
5.3.2.1	Aufbau.....	132
5.3.2.2	Ergebnisse.....	132
5.3.3	Elementare Geometrie mit koplanaren Stäben	134
5.3.3.1	Aufbau.....	134
5.3.3.2	Ergebnisse.....	134
5.3.4	Platten mit zwei Bewehrungslagen und punktförmiger Kontamination	136
5.3.4.1	Aufbau.....	136
5.3.4.2	Ergebnisse.....	137
5.3.5	Platten mit zwei Bewehrungslagen und linienförmiger Kontamination.....	140
5.3.5.1	Aufbau.....	140
5.3.5.2	Ergebnisse.....	141

5.3.6	Platten mit zwei Bewehrungslagen und einseitiger Kontamination.....	142
5.3.6.1	Aufbau.....	142
5.3.6.2	Ergebnisse.....	144
5.3.7	Linienförmige Bauteile mit drei Lagen und Bügelbewehrung.....	145
5.3.7.1	Aufbau.....	145
5.3.7.2	Ergebnisse.....	146
5.3.8	Stützen mit kontaminierten Stützenfüßen.....	147
5.3.8.1	Aufbau.....	147
5.3.8.2	Ergebnisse.....	147
5.3.9	Gerissene Bauteile	151
5.3.9.1	Aufbau.....	151
5.3.9.2	Ergebnisse.....	152
5.4	Zusammenfassung	155
5.4.1	Einflussgrößen.....	155
5.4.2	Vergleich.....	156
6	MODELLPARAMETER ZUR BESCHREIBUNG DES GEOMETRIEEINFLUSSES	158
6.1	Allgemeines	158
6.2	Bestimmung der Modellparameter	158
6.2.1	Allgemeines	158
6.2.2	Kontrollanteile.....	158
6.2.3	Zellfaktoren	163
6.2.4	Zusammenfassung	166
7	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	169
7.1	Schlussfolgerungen	169
7.2	Ausblick	169
8	LITERATUR	171
	ANHANG	176