

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung . . . . .	4
1.2 Methodisches Vorgehen . . . . .	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Statistik . . . . .	7
2.1.1 Statistische Kennzahlen & Darstellung . . . . .	7
2.1.2 Konfidenzintervall . . . . .	10
2.1.3 Verteilungsmodelle . . . . .	11
2.1.4 Statistische Tests . . . . .	12
2.1.5 Regressionsanalyse . . . . .	14
2.2 Digitaler Zwilling . . . . .	16
2.3 Elektrochemie . . . . .	18
2.3.1 Elektrischer Strom . . . . .	18
2.3.2 Stromwärme . . . . .	18
2.3.3 Hall-Effekt . . . . .	19
2.3.4 Elektrolyse . . . . .	19
2.3.5 Das Faradaysche Gesetz zur elektrochemischen Wirkung . . . . .	24
2.3.6 Arrhenius-Gleichung . . . . .	26
2.3.7 Korrosion . . . . .	28
<b>3 Stand der Technik – Elektrolytische Metallgewinnung</b>	<b>31</b>
3.1 Prozessparameter industrieller Anlagen . . . . .	31
3.2 Anoden für die Metallgewinnung . . . . .	34
3.3 Empirisch ermittelte Korrosionsraten von Bleianoden . . . . .	37
3.3.1 Korrosionsraten nach NEWNHAM (1992) . . . . .	37
3.3.2 Korrosionsraten nach LASHGARI und HOSSEINI (2013) . . . . .	41
3.3.3 Korrosionsraten nach NICOL et al. (2017) . . . . .	41
3.3.4 Schlussfolgerungen aus den empirischen Studien . . . . .	42
3.4 Mathematische Modelle zur Abbildung von Metallgewinnungsprozessen	43
<b>4 Restnutzungsdauer von Bleianoden: Empirische Fallstudie</b>	<b>45</b>
4.1 Vorversuche . . . . .	48
4.1.1 Konzeptionierung des Vorversuchsaufbaus . . . . .	48
4.1.2 Ergebnisse der Vorversuchsreihen . . . . .	53
4.2 Entwicklung eines Simulationsmodells . . . . .	69
4.2.1 Parametrierung eines physikalischen Modells . . . . .	69

4.2.2	Umsetzung des Modells in ein Simulationsmodell . . . . .	72
4.3	Flow–Versuche . . . . .	84
4.3.1	Konzeptionierung des Versuchsaufbaus . . . . .	84
4.3.2	Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen . . . . .	94
4.4	Anpassung des Simulationsmodells . . . . .	111
4.4.1	Multivariates physikalisches Modell . . . . .	112
4.4.2	Umsetzung des multivariaten physikalischen Modells in ein Simulationsmodell . . . . .	115
4.5	Konzept zur Prognose der Restnutzungsdauer . . . . .	121
4.5.1	Definition des Ausfallkriteriums . . . . .	121
4.5.2	Simulation der Korrosion der Anoden . . . . .	121
4.5.3	Ableitung der Restnutzungsdauer . . . . .	123
4.5.4	Realisierung eines digitalen Zwillings . . . . .	124
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Ausblick</b>	<b>125</b>
<b>Literatur</b>		<b>129</b>
<b>A</b>	<b>Ergebnisse der Vorversuche</b>	<b>137</b>
<b>B</b>	<b>Ergebnisse der Flow–Versuche</b>	<b>145</b>