

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	4
1.2	Methodisches Vorgehen	4
2	Grundlagen	7
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 Zwillling	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
3	Stand der Technik – Elektrolytische Metallgewinnung	31
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
4	Restnutzungsdauer von Bleianoden: Empirische Fallstudie	45
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
5	Zusammenfassung & Ausblick	125
	Literatur	129
A	Ergebnisse der Vorversuche	137
B	Ergebnisse der Flow-Versuche	145