

<b>1 Einleitung</b>	<b>19</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>23</b>
2.1 Batterieaufbau und Funktion . . . . .	23
2.2 Elektrodendynamik . . . . .	35
2.3 Dynamische Identifikationsmethoden für Batterien . . . .	40
2.3.1 Impedanzspektroskopie . . . . .	43
2.3.2 Messung mittels Auto- und Kreuzleistungsichte- spektrum . . . . .	46
2.3.3 Messung der Impulsantwort oder Sprungantwort . .	49
2.4 Modellbasierte Auswertung von Impedanzmessungen . . .	51
<b>3 Stand des Wissens und der Technik</b>	<b>59</b>
3.1 Konzept des Zeitkonstantendichtespektrum . . . . .	59
3.2 Berechnung des Zeitkonstantendichtespektrums . . . . .	61
3.2.1 Nichtlineare Regression einzelner spektraler Peaks .	62
3.2.2 Berechnung durch Umformulierung und Entfaltung .	63
3.2.3 Berechnung mit Hilfe von Monte Carlo Methoden .	65
3.2.4 Stabilisiertes Berechnen des diskretisierten linearen Problems . . . . .	65
3.2.5 Berücksichtigung von Nebenbedingungen . . . . .	80
3.3 Grenzen der DRT Bestimmung aus der Impedanz . . . . .	83
3.3.1 Einfluss des Beobachtungsfensters . . . . .	83
3.3.2 Einfluss der Art der Lösung . . . . .	85
3.3.3 Auflösungsvermögen bei der Berechnung der DRT .	86
3.3.4 Einfluss parasitärer Effekte . . . . .	86

3.3.5 Einfluss der Zahl der Messpunkte und Stützstellen .	89
3.3.6 Berechnung des Konfidenzintervalls . . . . .	91
3.3.7 Anwendung auf die DRT Berechnung einer Zelle . .	95
3.4 Simulation des Zeitverhaltens . . . . .	97
3.4.1 Fraktionale Modelle und deren Simulation . . . . .	98
3.4.2 Simulation mittels generischem Ansatz und digitaler Filter . . . . .	101
<b>4 Erweiterung des Zeitkonstantendichte-Konzeptes auf induktive Effekte</b>	<b>105</b>
4.1 Wirkung von $\gamma_{RL}$ -Gliedern auf die Impedanz . . . . .	109
4.2 Berechnung der erweiterten Zeitkonstantendichtespektren	113
<b>5 Entwicklung eines neuen Verfahrens zur direkten Be- rechnung des Zeitkonstantendichtespektrum aus Zeit- bereichsdaten</b>	<b>127</b>
5.1 Aufbau des neuen Verfahrens . . . . .	128
5.2 Betrachtungen zur Leistungsfähigkeit des neuen Verfahrens	141
5.3 Betrachtungen zum Anregungssignal für das neue Verfahren	157
5.4 Erweiterung des Verfahrens zur Berechnung der erweiterten DRT . . . . .	160
<b>6 Validierung des neuen Verfahrens</b>	<b>165</b>
6.1 Messaufbau . . . . .	165
6.1.1 Design der Testsignale . . . . .	167
6.1.2 Messablauf . . . . .	168
6.2 Impedanzmessungen . . . . .	170
6.3 Zeitkonstantendichtespektren aus Zeitdaten . . . . .	174
6.4 Vergleich DRT aus Zeit und Impedanzdaten . . . . .	185
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>191</b>
<b>Literatur</b>	<b>195</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>221</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>227</b>
<b>Thesen</b>	<b>229</b>