

**Aufgabe 9.1** Warum werden Strom-/Spannungspulse zur Parametrisierung wesentlich häufiger verwendet als Impedanzmessungen, d. h. nicht belastende Messungen mit Wechselstrom?

**Lösung:**

Die Durchführung von Impedanzmessungen ist zeitaufwendig, verlangt spezialisiertes Messequipment und Wissen über die Ausführung der Messen sowie deren Auswertung und Interpretation.

Zudem sind Strom-/Spannungspulse in sehr vielen Fällen realistischer in Bezug auf die Anwendung als Wechselstrombelastungen und ermöglichen so einen direkteren Zugang zu den Modellparametern.

**Aufgabe 9.2** Vergleichen Sie die im Text erwähnten Modelle zur Parametrisierung in Bezug auf

1. erreichbare Genauigkeit,
2. Komplexität,
3. Erweiterbarkeit,
4. physikalische Plausibilität.

Beschreiben Sie den Zeitbedarf und Messaufwand, wenn bei Lebensdauertests nach jeweils 100 Vollzyklen sowohl die Kapazität als auch der Innenwiderstand bei mehreren Ladezuständen gemessen werden soll.

**Lösung:**

	Randles-Modell	Shepherd-Modell	Thévenet-Modell
Genauigkeit	+	++	o
Komplexität <sup>1</sup>	+	o	++
Erweiterbarkeit	++	++	o
Plausibilität	++	+	+
Zeitbedarf <sup>2</sup>	-	-	o

<sup>1</sup>: ++ meint: sehr wenig komplex, +: wenig komplex; o: durchschnittlich komplex; -: ziemlich komplex; --: sehr komplex

<sup>2</sup>: ++: sehr geringer Zeitbedarf; +: geringer Zeitbedarf; o: durchschnittlicher Zeitbedarf; -: hoher Zeitbedarf; --: sehr hoher Zeitbedarf

Der Zeitbedarf ergibt sich aus der Anzahl der Vollzyklen, die hier mit max. 3.000 abgeschätzt seien, was 6.000 h = 250 d entspricht. Werden jeweils Kapazität (dreifach, jeweils ca. 2 Stunden) und Innenwiderstand bei mehreren Ladezuständen (i.d.R. mind. 100 %, 75 %, 50 %, 25 %, 0 %) bestimmt (zwei weitere Stunden zur Ansteuerung der Ladezustände und nachfolgenden Wiederaufladung), so ergibt sich ein zusätzlicher Zeitbedarf (ohne Ruhepausen) von  $31 \times 6 + 31 \times 2 = 248$  h, also weiteren 10 d. Der gesamte Test dauert also mind. 260 Tage.

**Aufgabe 9.3** Schätzen Sie ab, wie viele Messungen zur Bestimmung der nötigen Parameter eines einfachen Randles-Modells nötig sind, wenn die Parameter im Temperaturbereich von  $-10$  bis  $+40$  °C und bei Ladezuständen von 0 bis 100 % halbwegs brauchbare Ergebnisse liefern sollen. Gehen Sie von einer nötigen Auflösung von 5 K und 10 % aus und nehmen Sie vereinfachend eine lineare Temperatur- und Ladezustandsabhängigkeit aller Parameter an

**Lösung:**

Bei der geforderten Genauigkeit ergeben sich alleine aus der Auflösung bereits 11 (Temperatur) x 11 (Ladezustand) = 121 Messungen. Für eine ausreichende statistische Sicherheit sollte zudem jede einzelne Messung mind. dreimal durchgeführt werden, was 363 Messungen mit ausreichend hoher Auflösung ergibt.

In der Praxis ist es meist nicht möglich, derart viele Messungen durchzuführen. Methoden der statistischen Versuchsplanung werden deshalb eingesetzt, um die Anzahl der nötigen Versuche zu reduzieren. Geht man von einer jeweils linearen Abhängigkeit aller 7 Parameter (1 Induktivität, 2 Kapazitäten, 3 Widerstände, 1 Spannungsquelle) von Temperatur und Ladezustand aus, d.h. die einzelnen Komponenten verhalten sich gemäß

$$X = X_0 + X_1 \cdot \Delta SoC + X_2 \cdot \Delta T$$

so landet man bei einem Minimum von 21 Messungen, um alle Parameter unabhängig bestimmen zu können.

Die experimentelle Realität liegt also zwischen 21 und 363 Messungen und versucht, die Messpunkte möglichst geschickt zu verteilen.