



AUTOREN



M.ENG. ALTAN AKSOY
ist Entwicklungsingenieur bei der BFFT GmbH in Gaimersheim.



DR.-ING. CHRISTIAN MATZNER
ist Abteilungsleiter bei der BFFT GmbH in Gaimersheim.

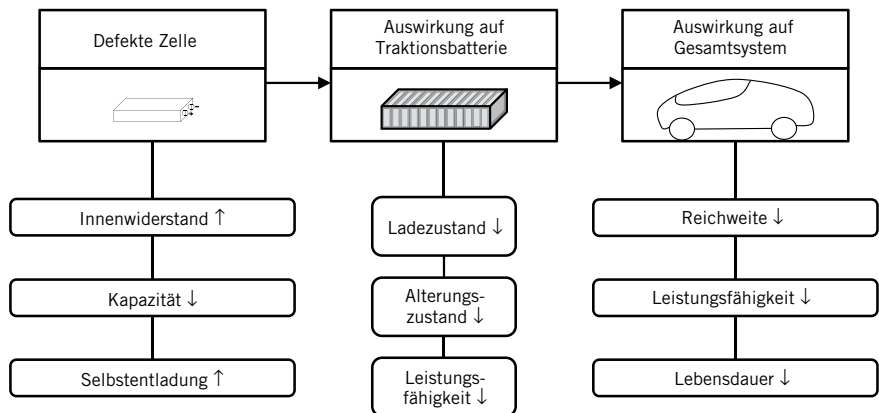


B.ENG. CENK CADIRCI
ist Entwicklungsingenieur bei der BFFT GmbH in Gaimersheim.

AUFGABENSTELLUNG

Im Zuge der Elektrifizierung von Fahrzeugantriebssträngen eröffnen sich für Entwicklung und Produktion stetig neue Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Diese stellen sich in ihrer Form in der Automobil- und Zulieferindustrie erst seit kurzer Zeit als wichtiges Qualitätskriterium dar. Problemlösungsstrategien werden durch die aktuelle Priorisierung der Energie- und Umweltpolitik der Bundesregierung vorangetrieben, die mit einer Anzahl von einer Million Elektrofahrzeuge für das Jahr 2020 eine deutliche Zielmarke

gesetzt hat. Die Schlüsseltechnologie für die Elektrifizierung von Fahrzeugen besteht in der mobilen Speicherung der Antriebsenergie. Aktuell setzen die Hersteller auf die Speicherung der Energie in elektrischer Form, vorzugsweise in Lithium-Ionen-Batterien, da diese eine hohe Energiebeziehungswise Leistungsdichte aufweisen und zusätzlich ein hohes Entwicklungspotenzial besitzen. Ein Batteriesystem besteht aus einer Vielzahl von Komponenten, wie beispielsweise den einzelnen Zellen, der Kühlung, elektrischer Steuergeräte und der elektrischen Verschaltung. Jede dieser Teilkomponenten könnte bei einem



1 Auswirkungen defekter Zellen auf die Praxis

EINGANGSVERMESSUNG VON LITHIUM-IONEN-ZELLEN

Um eine kostengünstige Herstellung von Traktionsbatterien zu gewährleisten, müssen der Automatisierungsgrad in der Produktion signifikant verbessert und innovative Lösungen für die neuen Herausforderungen einer stückzahlorientierten Fertigung entwickelt werden. Dazu realisierte die BFFT Gesellschaft für Fahrzeugtechnik mbH ein vollautomatisiertes Zelleingangsmesssystem für prismatische Zellen, das mit minimalem Bestückungsaufwand eine vollautomatisierte Vermessung der Batteriezellen ermöglicht.

Defekt die Funktion der ganzen Batterie beeinträchtigen. Im Folgenden soll jedoch die einzelne Zelle fokussiert werden. Inwiefern eine oder mehrere defekte Zellen einen negativen Einfluss auf Traktionsbatterie und Fahrzeug haben können, veranschaulicht ❶. Trotz immer höherer Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich der Zellchemie sollte das Gefahrenpotenzial einer Brandentwicklung von Lithium-Ionen-Zellen nicht außer Acht gelassen werden.

Um negative Auswirkungen auf das Gesamtsystem zu vermeiden, ist eine zuverlässige Qualitätssicherung bereits auf Zellebene unabdingbar, da sowohl in Traktionsbatterien als auch in Batterien für Hybridfahrzeuge – abhängig von Leistung und Kapazität – bis zu mehrere Hundert Zellen verbaut sind. Der Zellhersteller führt zwar im Anschluss an die Produktion eine Qualitäts- und Funktionsüberprüfung durch, bei der unter anderem die elektrische Spannung, die Zellkapazität und der Innenwiderstand erfasst und protokolliert werden. Dennoch können aber während des Transports der Zellen Bedingungen auftreten, die deren Eigenschaften negativ verändern. Dies können zum Beispiel unzulässig hohe Temperaturen oder unsachgemäße Transportbedingungen während der Lieferung sein oder aber auch lange unkontrollierte Lagerzeiten, in denen sich

Zellen tiefentladen. Außerdem sind Produktionsfehler nicht auszuschließen, die sich erst nach Auslieferung bemerkbar machen, wie zum Beispiel durch erhöhte Selbstentladung. Innerhalb der Produktionslinien des Zellherstellers ist eine automatisierte Überprüfung der Zellen ohne verhältnismäßig großen Aufwand realisierbar, indem eine Prüfstation in die Linie integriert wird. Der Hersteller von Fahrzeugen beziehungsweise Traktionsbatterien im Gegenzug hat meist nicht die erforderlichen Möglichkeiten einer automatisierten Zelleingangsprüfung, da es

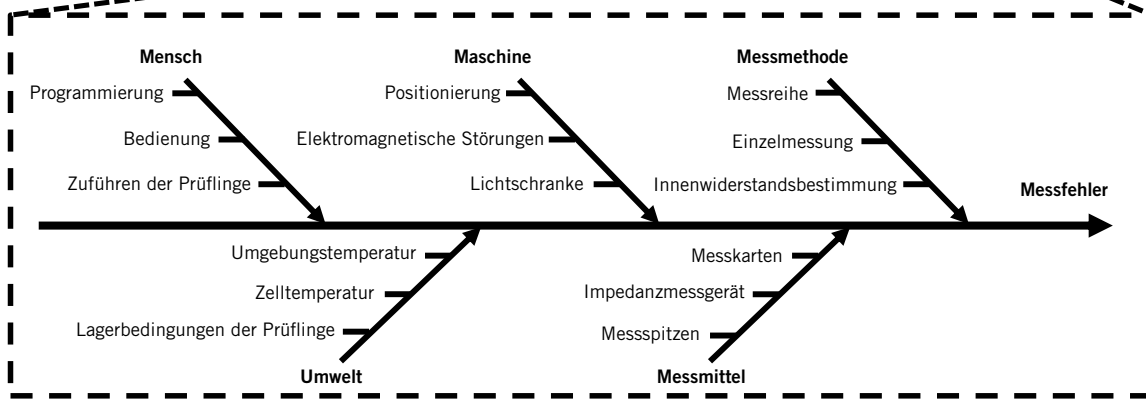
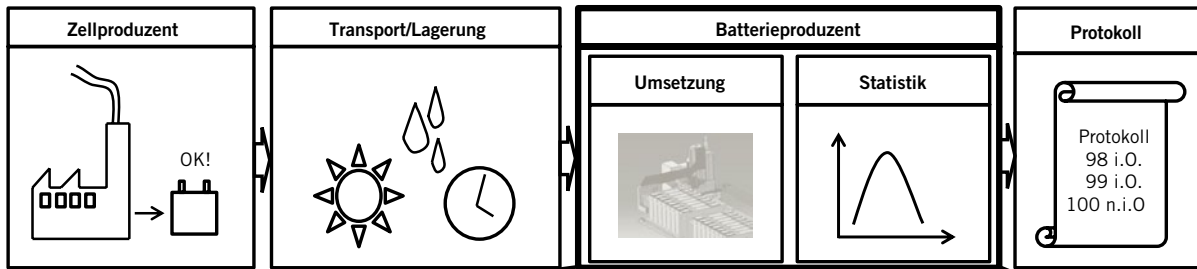
keine entsprechenden Vorrichtungen auf dem Markt gibt. Häufig werden individuelle Lösungsansätze benötigt, die eine zeitoptimierte Wareneingangsprüfung bei den Herstellern von Traktionsbatterien gewährleisten sollen. Zurzeit kommen drei verschiedene Zelltypen zum Einsatz, deren Charakteristika in ❷ aufgezeigt werden.

KONZEPT

Angesichts der erwähnten Problematik wurde im Rahmen von Prototypenentwicklungen für Traktionsbatterien ein Pro-

Zylindrische Bauform	Prismatische Bauform	Coffee-Bag-Zelle
<p>Positives Elektrodenmaterial Negatives Elektrodenmaterial Gehäuse Separator</p>	<p>Negatives Elektrodenmaterial Positives Elektrodenmaterial Separator Gehäuse</p>	<p>Negatives Elektrodenmaterial Positives Elektrodenmaterial Separator Gehäuse (Folie)</p>
<ul style="list-style-type: none"> + Produktionskosten - Bauraumausnutzung - Wärmeabfuhr 	<ul style="list-style-type: none"> + Thermisches Verhalten + Bauraumausnutzung - Gewicht (Hardcase) - Produktionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> + Thermisches Verhalten + Bauraumausnutzung + Gewicht - Produktionskosten

❷ Vor- und Nachteile verschiedener Zellgeometrien



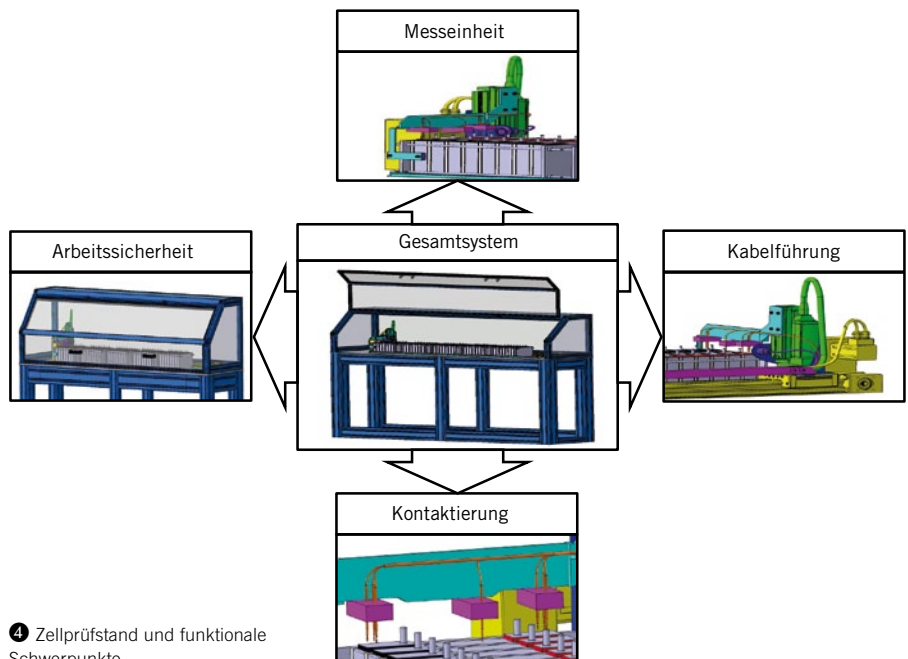
3 Konzept der Qualitätssicherung für Batteriezellen beim Batteriehersteller

dukt entwickelt, das die Qualität der Batterien auf Zellebene sicherstellt. Dazu wurden Kompetenzen aus Elektrotechnik, Konstruktion, Mechanik und Softwareentwicklung vereint, um ein Konzept zur automatisierten Wareneingangsprüfung für prismatische Zellen vorzustellen. Aufgrund der sensiblen Messungen, insbesondere bei der Impedanzmessung, ist es erforderlich, Stör- und Einflussgrößen zu identifizieren und zu berücksichtigen. Zur Übersicht der Einflussfaktoren auf die Spannungs- und Impedanzmessung kann das Ishikawa-Diagramm verwendet werden. 3 zeigt schematisch das Konzept zur Gewährleistung der Qualitätsanforderungen. Dabei beeinflussen Transport- und Lagerbedingungen die Zelleigenschaften nach der Zellproduktion. Mit Definition der Messaufgabe und der konstruktiven Umsetzung kann nach erfolgter Messung schließlich durch die statistische Auswertung eine Aussage über die Qualität der Zellen getroffen werden.

entlang einer Lineareinheit mit Zahnriemenantrieb auf der x-Achse per Schrittmotor präzise positionierbar ist. Außerdem lässt sich die Messeinheit mithilfe eines Hubmoduls auf der z-Achse in der Höhe verstellen. Somit können die prismatischen Zellen positionsgenau angesteuert werden, um anschließend die

erforderlichen Messungen durchzuführen. Die Zellen sind üblicherweise als sogenannte Stacks angeordnet, die in die vorgesehene Führungsvorrichtung eingelegt werden können. 4 zeigt das Gesamtsystem und relevante Detailansichten.

Um ein automatisiertes Erkennen der einzelnen Zellpositionen zu gewährleis-

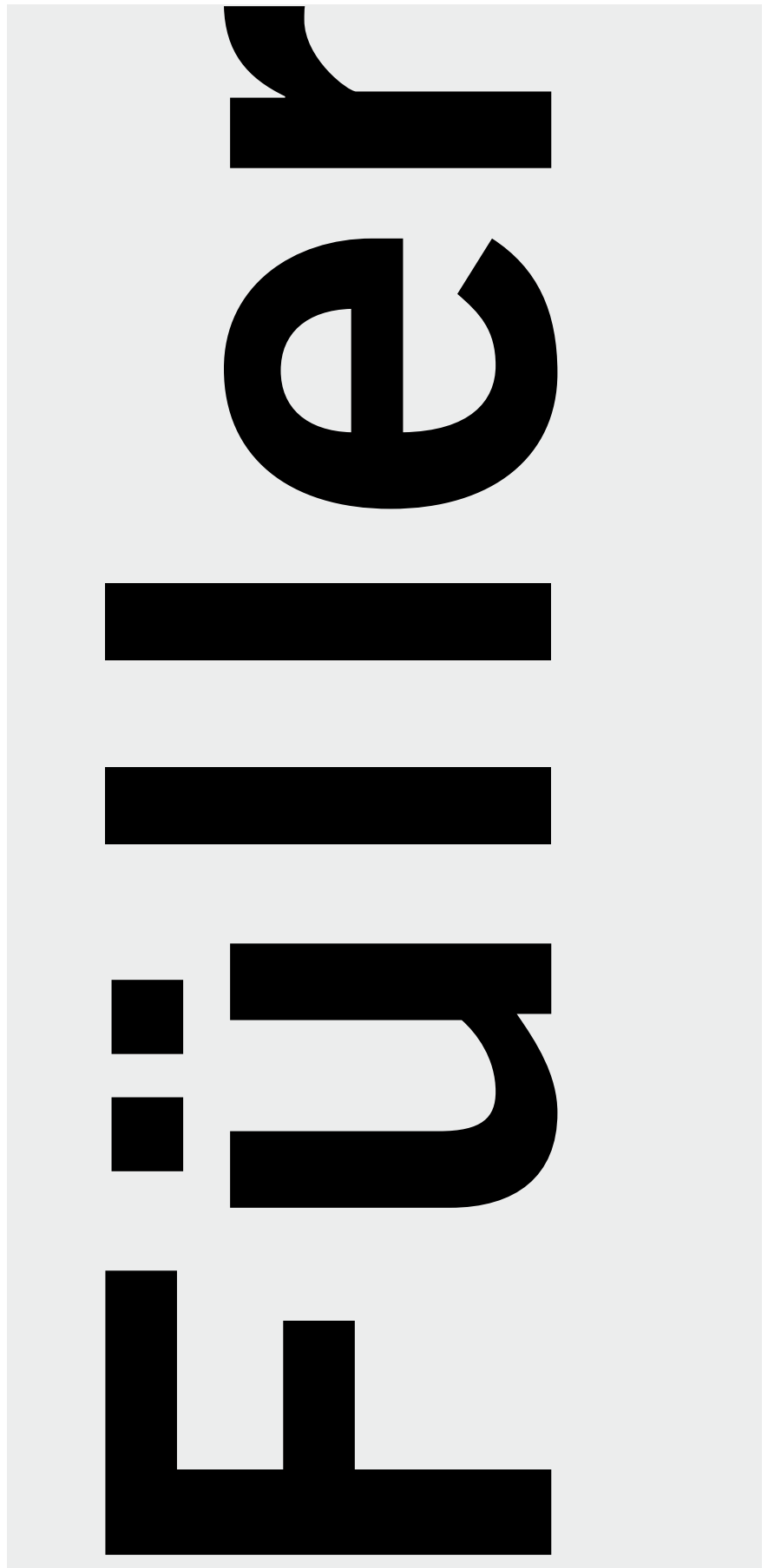


4 Zellprüfstand und funktionale Schwerpunkte

UMSETZUNG UND VERIFIKATION

Nach Identifizierung der Einflussfaktoren kann eine auf die Messaufgabe abgestimmte konstruktive Umsetzung durchgeführt werden. Kernstück des Prüfstands ist die mobile Messeinheit, 4 oben, die

ten, wird eine Lichtschrankenunterbrechung verwendet, die durch die Gewindebolzen auf den Zellterminals hervorgerufen wird. Dadurch ist es möglich, einzelne Zellen zu detektieren und die Messbrücke mit den integrierten Messspitzen auf den Zellterminals zu positionieren. In ④ oben ist die Messbrücke inklusive Messspitzen und Lichtschranke in Messposition zu sehen. Aufgrund der Möglichkeit eines vorhandenen Potentials zwischen Plusbeziehungsweise Minuspol gegenüber dem Zellgehäuse sind drei Messblöcke an der Messbrücke montiert, ④ unten. Eine definierte Auflagekraft der gefederten Messspitzen erlaubt eine Messung mit gleichbleibenden Messbedingungen für alle Zellen. Zusätzlich ist die Messspitzenform nach entscheidenden Kriterien ausgewählt, um zum Beispiel Oxidschichten oder Verunreinigungen auf den Zellterminals zu durchdringen, ohne jedoch eine Beschädigung hervorzurufen. Ebenso sind Arbeitssicherheit und eine günstige Kabelverlegung, ④ links und rechts, in der Konstruktion berücksichtigt. Nach definierter Kontaktierung werden die Zellspannung sowie die Impedanz der Zelle gemessen. Die Impedanzmessung erfolgt mit dem LCR HiTester 3522-50 von Hioki, der eine Genauigkeit von $\pm 0,08\%$ liefert. Die Messkarte PCI-6229 von National Instruments wird für die Spannungsmessung eingesetzt und liefert eine Genauigkeit von $\pm 0,03\%$. Die Ansteuerung des Prüfaufbaus wird über individuell erstellte Software-Algorithmen in Kombination mit einem Steuergerät realisiert. Am Ende des Prüfablaufs wird ein Messprotokoll erstellt, das zur Datenanalyse herangezogen wird. Ein leicht zu modifizierender Aufbau der Messeinheit ermöglicht verschiedene Erweiterungen, wie zum Beispiel einen Temperatursensor zur Erfassung der Zelltemperatur auf der Zelloberfläche oder die Montage eines optischen Erfassungsgeräts zum Einlesen von Strichcodes oder Ziffern und Buchstaben. Dadurch kann die Bedienerfreundlichkeit der Messprotokollierung erhöht und gleichzeitig der Fehlereinfluss durch den Benutzer minimiert werden. Nach erfolgter Vermessung der einzelnen Zellen ist eine statistische Auswertung notwendig, um die Zellen qualitativ zu beurteilen. Dazu ist eine Definition eines Prozessfensters erforderlich, in dem sich die Messwerte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befinden. Nach Auf-



nahme der Messdaten wird zunächst nach Gl. 1 der Mittelwert \bar{x} , nach Gl. 2 die Varianz σ^2 und nach Gl. 3 die Standardabweichung σ gebildet [1].

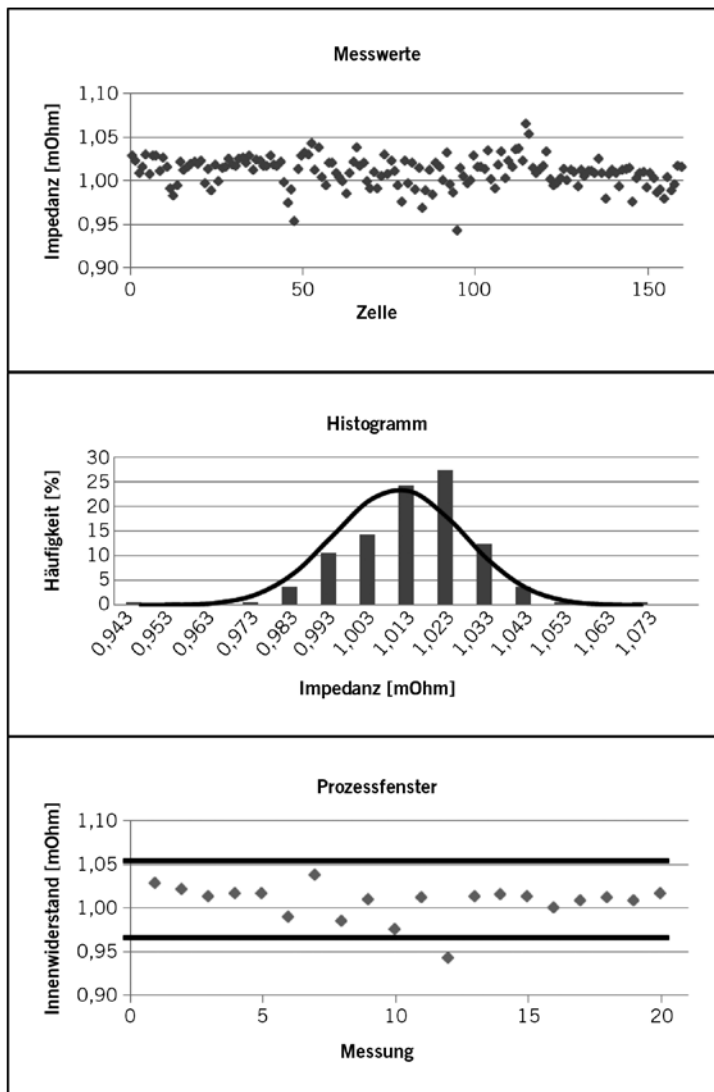
Gl. 1	$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_n$
Gl. 2	$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2$
Gl. 3	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}$
Gl. 4	$KI = [\bar{x} - z_p \cdot \sigma, \bar{x} + z_p \cdot \sigma]$

Zur Definition des Prozessfensters wird der Vertrauensbereich KI nach Gl. 4 herangezogen. Dazu wird das Quantil z_p der Standardnormalverteilung für eine entsprechende Wahrscheinlichkeit nach der Quantiltabelle für die Standardnormalverteilung verwendet. Somit befinden sich die Messwerte bei einer Normalverteilung mit einer entsprechend gewählten Wahrscheinlichkeit im Bereich $KI = \bar{x} \pm z_p \cdot \sigma$. Messwerte außerhalb des Prozessfensters können als fehlerhafte Zellen gedeutet werden und können zum Beispiel durch eine zu starke Oxidschicht oder einen zu dünnen Korrosionsschutz hervorgerufen worden sein, sodass eine Analyse im Anschluss sinnvoll wäre. In 5 ist der Ablauf von der Aufnahme der Messwerte bis zur Erstellung des Protokolls schematisch dargestellt.

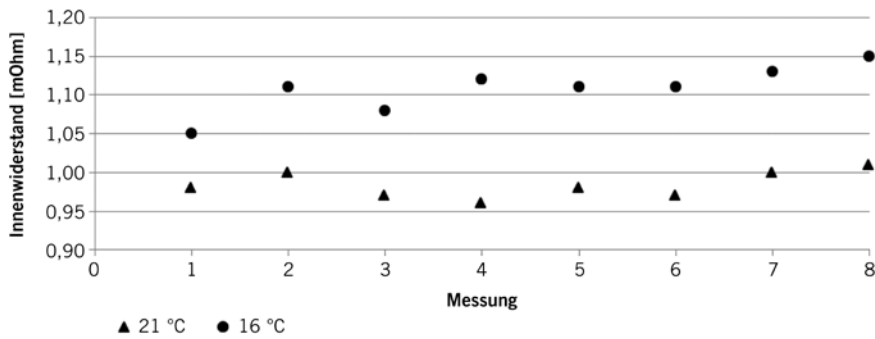
Weiterhin ist auf gleichbleibende Umgebungsbedingungen zu achten, da bereits geringe Temperaturunterschiede eine Auswirkung auf die sehr empfindliche Impedanzmessung haben. Dazu wurde eine Messreihe bei $\Delta\vartheta = 5 \text{ °C}$ ($T_1 = 21 \text{ °C}$; $T_2 = 16 \text{ °C}$) aufgenommen mit dem Ergebnis, dass eine mittlere Abweichung von 11 % aufgetreten ist, wie in 6 zu sehen ist.

FAZIT

Mithilfe des entwickelten Messsystems zur Eingangsprüfung von Batteriezellen kann eine Verkürzung der Produktionszeiten im Vergleich zur manuellen Vermessung erreicht werden. Durch Anpassungen an die jeweiligen Produktionslinien sind vollautomatisierte Abläufe sowie eine statistische Analyse der Zellparameter reali-



Freigabe	
Prüfprotokoll	
Zelle1	i.O.
Zelle2	i.O.
Zelle3	i.O.
.	.
.	.
Zelle118	n.i.O.
.	.
Zelle159	i.O.
Zelle160	i.O.



6 Temperatureinfluss auf die Impedanzmessung

sierbar. Außerdem ist durch die Automatisierung eine Vermeidung von Fehlern möglich, die zum Beispiel durch Unachtsamkeit oder Ermüdung entstehen könnten. Die Beherrschbarkeit dieser Faktoren resultiert schließlich in einer Einsparung von hohen Folgekosten, welche durch die nachträgliche Fehlerbehebung, entstanden durch den Einbau defekter Zellen, entstehen können. Um eine Erweiterbarkeit auf verschiedene Zelltypen zu ermöglichen, sind


weitere Konzepte erforderlich. Insbesondere die Kontaktierung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Hinsichtlich einer Integration eines Einzelzellenprüfstands in die Produktionslinie von Batterieherstellern sind weitere produktionsrelevante Maßnahmen zu treffen, wie zum Beispiel eine automatisierte Zu- und Abführung der zu prüfenden Zellstacks sowie arbeitssicherheitstechnische Maßnahmen. Speziell die rechtzeitige Temperierung der Zel-

len sollte ebenfalls berücksichtigt werden, da bereits relativ kleine Temperaturschwankungen eine deutliche Auswirkung auf den Innenwiderstand haben.

LITERATURHINWEIS

[1] Oestreich, M.; Romberg, O.: Keine Panik vor Statistik! Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2. überarbeitete Auflage 2009

 **DOWNLOAD DES BEITRAGS**
www.ATZonline.de

 **READ THE ENGLISH E-MAGAZINE**
 order your test issue now:
SAM-service@springer.com

Füller