

# Interferometrisch genaue Messung der Zellausdehnung – eine Lösung für ein wachsendes Problem der Elektroauto-Industrie

Gunther Bohn\*, Sebastian Gielinger\*

\*Technologie Transferzentrum Elektromobilität, Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt

<mailto:gunther.bohn@thws.de>

Lithium-Ionen-Batteriezellen dehnen sich beim Laden aus, was die Lebensdauer reduzieren kann. Eine neue interferometrische Methode misst diese Ausdehnung mit 10nm Auflösung und ist für alle Zellchemien und Zellformate geeignet. Daher kann sie in der Elektroauto-Industrie Anwendung finden. Aktuell wird an der Detektion von Lithium-Plating durch Ausdehnungsmessung geforscht.

## 1 Einführung

Die fortschreitende Elektrifizierung von Fahrzeugen und Geräten erhöht die Nachfrage nach effizienten, leistungsfähigen und sicheren Energiespeichersystemen. Seit 1991 werden Lithium-Ionen-Batterien wegen ihrer hohen Energiedichte, Spannungsstabilität und langen Lebensdauer kommerziell genutzt [1]. Diese Batterien umfassen eine Vielzahl von Zellchemien, die sich hauptsächlich in ihrem Kathodenmaterial unterscheiden.

Lithium-Ionen-Zellen unterliegen während eines Lade- und Entladezyklus reversiblen Volumenänderungen, die Spannungen in den Zellkomponenten verursachen können [2]. Diese Spannungen können zu Schäden wie Mikrorissen führen, was den Innenwiderstand erhöht und die Leistung der Zelle verschlechtert. Besonders das Wachstum der Solid-Electrolyte-Interface (SEI) und das Lithium-Plating tragen zur Zellalterung bei [3].

Aktuelle Forschung zielt darauf ab, diese Volumenänderungen und die damit verbundenen Alterungsmechanismen zu messen und besser zu verstehen. Dabei kommen Techniken wie Laserinterferometrie zum Einsatz, die Änderungen im Subnanometerbereich messen können. Interferometrische Messsysteme [4] bieten hohe Genauigkeit und erlauben die Identifikation von Alterungseffekten wie Lithium-Plating durch kurze Strompulse.

Eine neu entwickelte Messmethode ermöglicht die Beobachtung von Zellveränderungen und Alterungseffekten mit hoher Präzision. Diese Interferometer-Technologie erfasst selbst kleinste Zellveränderungen und erlaubt so Einblicke in Phänomene

wie SEI-Wachstum und inhomogenen Einlagerungseffekten in die Graphitelektrode.

## 2 Materialien und Methoden

### 2.1 Interferometer

Ein homodynes Laserinterferometer wurde konstruiert, um Messungen in einer Klimakammer durchzuführen. Das Licht eines HeNe-Lasers (632,816nm) mit 45°-Polarisationsrichtung wird mithilfe eines polarisierenden Strahlteilers in Referenz- und Messarm aufgeteilt. Das Licht durchläuft Polarisationsplatten und Beam-Splitter, wird von Photodioden erfasst und in Spannungssignale umgewandelt. Ein Tiefpassfilter und digitale Korrekturen verbessern die Signalqualität, wobei eine Auflösung von etwa 10nm erreicht wird. Das Laserlicht wird dem Interferometer über eine Lichtleitfaser zugeführt. Damit kann der HeNe-Laser außerhalb der Klimakammer platziert werden und ist nicht der Belastung durch die unterschiedlichen Temperaturen in der Klimakammer ausgesetzt.

### 2.2 Ausdehnungsmessaufbau

Das vorgestellte Interferometer ist Teil eines Messaufbaus (Abb. 1), der die Messung von Batteriezellen unterschiedlicher Bauart und Chemie ermöglicht.

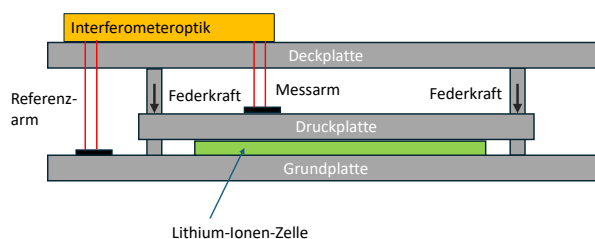


Abbildung 1: Struktur des Gesamtmessaufbaus: Die Zelle ist zwischen Druckplatte und Grundplatte eingespannt.

Der große Vorteil dieses Interferometer-Setups liegt in der sehr hohen Auflösung im Nanometerbereich und einem großen Messbereich, wodurch flexible Messungen verschiedener Proben möglich sind. Das gesamte System ist starr auf einer stabilen

Metallkonstruktion montiert, um den Einfluss von Vibrationen zu vermeiden. Eine AMP20M1HD-A Pouch-Zelle von A123, bestehend aus einer LFP-Kathode und einer Graphit-Anode, wird in dieser Studie hinsichtlich ihrer Ausdehnung untersucht. Die Zelle hat eine Nennkapazität von 20Ah und eine Strombelastbarkeit von bis zu 10C.

Mit Hilfe von 4 Federn wird ein Druck von 10psi auf die Zelle ausgeübt. Dies entspricht dem nach Datenblatt geforderten Druck für den Betrieb der Zelle

Der gesamte Messaufbau ist kompakt genug, um in einer Memmert IP 55 Klimakammer eingebaut zu werden.

### 3 Ergebnisse

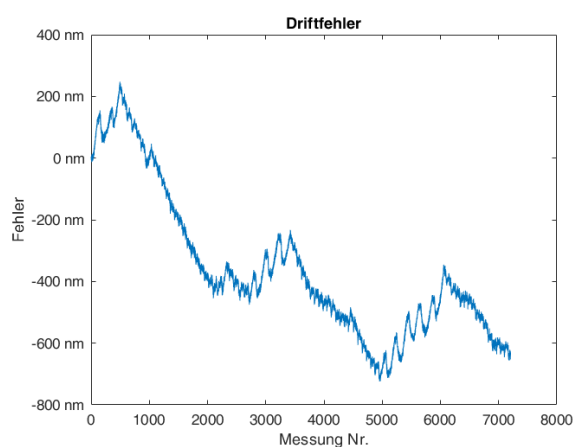


Abbildung 2: Verlauf des Driftfehlers über 7200 Messwerten innerhalb von 72 Stunden

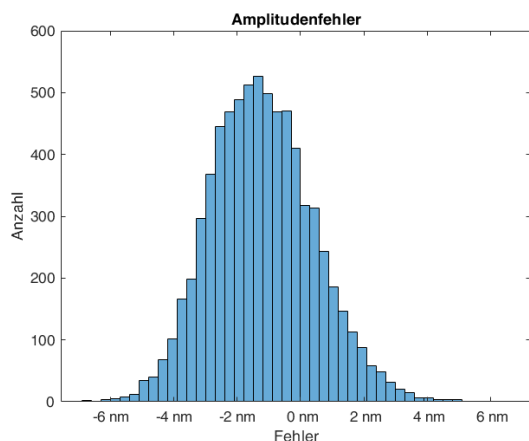


Abbildung 3: Statistische Analyse des Amplitudenfehlers als Abweichung von der idealen Sinuskurve

Mit Hilfe der Klimakammer können Ausdehnungsmessungen bei unterschiedlichen Temperaturen zwischen 5°C und 70°C durchgeführt werden. An der A123-Pouch-Zelle wurde eine Ausdehnung von 42µm beim Ladevorgang gemessen. Aufgrund der hohen Auflösung der Messmethode ist Zellausdehnung von 0,7µm dabei schon nach 20 Sekunden messbar.

Diese Messungen wurden dabei im Betrieb der Klimakammer mit laufendem Lüftermotor durchgeführt. Das Messrauschen (Standardabweichung der Höhenmesswerte) des Interferometers lag bei ausgeschaltetem Lüfter bei 1,636nm. Durch den Lüfter wurde es etwa auf 10nm erhöht.

Die Drift des Aufbaus liegt bei 1µm in 24 Stunden (Abb. 2).

Mit Hilfe eines Piezoaktuators wurde eine sinusförmige Höhenänderung mit Amplitude 1,2µm im Messarm des Interferometers erzeugt. Dann wurde die Abweichung der Messwerte vom Sollverlauf gemessen. Sie liegt bei maximal 6nm (Abb. 3).

### 4 Ausblick

Wenn beim Schnellladen einer Lithium-Ionen-Zelle Plating auftritt, dann werden in der Zelle reine Lithium Metallschichten gebildet. Dies führt zu einer erhöhten Ausdehnungsrate, da metallisches Lithium als 4-mal mehr Volumen [6] einnimmt als in Grafit eingelagertes Lithium. Lithium-Plating ist mit Hilfe hochenergetischer Röntgenstrahlung nachweisbar [7]. Anfang September 2025 werden Messreihen am Deutschen Elektronen Synchrotron durchgeführt, bei dem das in diesem Paper hochauflösende Messverfahren eingesetzt wird.

### Literatur

- [1] M. Li et al., "30 years of lithium-ion batteries", Adv. Mater., vol. 30, no. 33, Aug. 2018, Art. no. 1800561.
- [2] S. Schweidler et al., "Volume changes of graphite anodes revisited: A combined operando X-ray diffraction and in situ pressure analysis study", J. Phys. Chem. C, vol. 122, no. 16, pp. 8829-8835, Apr. 2018.
- [3] David Oeser et al., "Age-related development of cell-to-cell variation under various operating conditions in commercial NMC/graphite lithium-ion cells", Journal of Energy Storage, Volume 101, Part A, 2024, 113787, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113787>.
- [4] G. Bohn et al., "Fast and High Resolution Expansion Measurement at an Audi e-tron Battery Cell", 2022 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Merced, CA, USA, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC55846.2022.10003340.
- [5] S. Gieler et al., "A Short Time Expansion Measurement Method for the Detection of Aging Effect of Lithium Ion Cells Using a High Resolution Laser Interferometric Setup", in IEEE Access, vol. 11, pp. 139924-139934, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3341505.
- [6] B. Bitzer and A. Gruhle, "A new method for detecting lithium plating by measuring the cell thickness", J. Power Sources, vol. 262, pp. 297-302, Sep. 2014.
- [7] K. Sato et al., "Non-destructive observation of plated lithium distribution in a large-scale automobile Li-ion battery using synchrotron X-ray diffraction", Journal of Power Sources, Volume 535, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231399>.