



Optimale Nutzung von alternden Batterien

Ernst-Christoph Haß (MLS) und Peter J. Plath (MLS)

(Seddin und Lychen)

Veröffentlicht: 15. Dezember 2023

Abstract

In recent years, the problems of fast charging and battery reparability have come into the focus in the context of electromobility. In addition, social and environmental issues are being discussed to a greater extent due to the shortage of the raw materials required, such as lithium and cobalt, and the disposal of the used batteries. Already at the beginning of this century, we carried out extensive tests on the aging of lead acid batteries with regard to their optimal use. In particular, we were interested in the voltage responses of the battery's electrochemical system in reaction to the externally applied periodic current changes during charging and discharging throughout the entire life cycle of the battery. In conclusion, we propose an age-appropriate use of the battery, i.e., after its usage as a car battery further utilization as an energy storage device and finally – after its termination – an environmentally friendly recycling and recovery of the raw materials to avoid waste production and the associated entropy increase.

Keywords / Schlüsselwörter

Batteries: Diagnostics, aging and optimal age-appropriate use, life-time measurements of charging and discharging cycles, problems of raw material mining und waste treatment/recycling, environmental impact by entropy production

1 Einleitung – Batteriealterung

Nach vielen Jahren der Fokussierung auf Elektromobilität ist das Problem der Alterung von Speicherbatterien in das öffentliche Bewusstsein getreten. Lange Zeit wurde im Hinblick auf die Elektromobilität nur die Frage der Reichweite einer Ladung betrachtet sowie das Problem der Verfügbarkeit von Ladestationen, wobei die sogenannte Schnellladung als in Konkurrenz zur Betankung von Benzin- oder Diesel-getriebenen Autos in den Vordergrund trat. Die Problematik des Schnellladens gelangte erst vor kurzer Zeit in das Bewusstsein der Öffentlichkeit.

So lautet beispielsweise die Überschrift der BILD-Zeitung in einem Artikel vom 18. April 2023: „So sehr schadet Schnellladen dem E-Auto“ (Wildberg 2023). Sie bezieht sich dabei auf eine Pressemitteilung der österreichischen Firma Aviloo, die die Batteriedegradation in Abhängigkeit vom Schnellladeanteil gemessen hat:

„AVILOO Battery Diagnostics analysierte die Korrelation zwischen der Batteriegesundheit (State-of-Health, SoH) der Antriebsbatterien von Elektroautos und ihrem Schnellladeanteil. Die Analyse zeigt, dass die Batteriegesundheit bei Fahrzeugen mit einer Laufleistung von 180.000 bis 200.000 Kilometern in Abhängigkeit zu ihrem Schnellladeanteil um rund 17 Prozentpunkte stärker abnimmt, als dies bei Fahrzeugen ohne Schnellladeanteil der Fall ist.“ (AVILOO Battery Diagnostics 2023).

Auf ein weiteres Problem von E-Auto-Akkus weist der US-Autoingenieur Sandy Munro hin: „Null-reparabel“ nach einem Unfallschaden. Die Online-Ausgabe der Zeitung DIE WELT zitiert ihn folgendermaßen:

„Der US-Autoingenieur Sandy Munro, bekannt für Internet-Videos, in denen er Elektroautos zerlegt und analysiert, hält das neue Batteriepaket des aktuellen Tesla Model Y für „null reparabel“. Nach einem Unfall komme der Stromspeicher des Autos „direkt in die Mühle“, zitiert ihn die Nachrichtenagentur Reuters. Experte Munro ist wohlgehemmt ein bekennender Fan von Tesla. Die Frage, was mit dem teuersten Bauteil eines E-Autos nach einem Unfall passiert, beschäftigt zunehmend Kunden, Werkstätten und Versicherer.“ (Zwick 2023).

Seit dem Beginn dieses Jahrhunderts haben sich die Autoren der Frage der Alterung von Blei-Säure-Batterien¹ gewidmet, zu einer Zeit, da von Li-Ionen-Batterien noch kaum eine Rede war (Sydow et al. 2003; Ottensmeyer et al. 2003; Sydow et al. 2004). Das war, wie Sauer et al. (1998) es formulierten, zur damaligen Zeit allgemeiner Konsens:

„Bleiakkumulatoren sind im Bereich von Speichergrößen von einigen Ah (Ampère-Stunden, die Aut.) bis zu mehreren tausend Ah der marktbererschende elektrochemische Speicher. Den Vorteilen hoher Wirkungsgrade, guter Lade- und Entladeeigenschaften, günstiger Preise und weltweiter Verfügbarkeit, stehen die Nachteile des hohen Gewichtes und der schnellen Alterung gegenüber.“ (Sauer et al. 1998: 348)

Wir sind überzeugt, dass diese Aussage angesichts der großen Zahl an weltweit auf den Straßen sich befindlichen Automobilen nichts von ihrer Aktualität und Bedeutung verloren hat. Der globale Kfz-Bestand an Kraftfahrzeugen betrug im Jahr 2015 weltweit bereits 1,3 Milliarden Fahrzeuge (Statista 2023); 2022 wurden bereits 85,0 Millionen Fahrzeuge neu hergestellt (2010: 77,6 Millionen), wobei es sich hierbei weitgehend nur um Fahrzeuge handelt, die mit Öl oder Diesel betrieben wurden (Wikipedia, „Wirtschaftszahlen zum Automobil“, 2023). All diese Fahrzeuge werden noch viele Jahre auf den Straßen der Welt fahren und nahezu alle verwenden dabei Blei-Akkumulatoren als Starterbatterien.

Es war uns damals sofort klar, dass jede Batterie, z.B. Starterbatterien von PKWs und LKWs, einen eigenen Lebenszyklus hat, d.h. individuell altert und damit ihre Leistungsfähigkeit von dieser Alterung entsprechend abhängt. Wir haben diese Erkenntnisse später auch auf die Li-Ionen-Batterien verallgemeinern können (Plath/ Haß 2010). Zur selben Zeit wurde die Frage der Alterung von Blei-Säure-Batterien von Dirk Uwe Sauer in seiner Doktorarbeit „Optimierung des Einsatzes von Blei-Säure-Akkumulatoren in Photovoltaik-Hybrid-Systemen unter spezieller Berücksichtigung der Batteriealterung“ aufgegriffen (Sauer 2003). In den darauffolgenden Arbeiten zum Alterungsproblem der Blei-Akkumulatoren wandte er sich vor allem dem Problem der praktisch-technischen Bestimmung der Voraussage der Lebenszeit der Akkumulatoren zu (Sauer/ Wenzl 2008) sowie der theoretischen Beschreibung dieses hochkomplexen Systems (Huck/ Sauer 2020). Auch er befasste sich in den darauffolgenden Jahren mit Li-Ionen Batterien.

¹ Wir verwenden hier den in unserer Umgangssprache eingebürgerten Begriff der *Batterie* anstelle des Fachbegriffes *Akkumulator*, den man im englischen Sprachraum auch als *rechargeable battery* kennt im Gegensatz zum Begriff der nicht wieder aufladbaren *battery*. In den von uns untersuchten *Starter-Batterien* handelt es sich um wieder aufladbare elektrochemische Zellen, die zu einer Batterie (im Sinne des aus dem französischen Militärs -Artillerie - stammenden Begriffes einer Batterie) zusammengeschlossen sind.

Aber zu der Zeit, als sich herausstellte, dass die Li-Ionen-Batterien die entscheidenden Batterien für die Elektromobilität sein sollten, waren weder die großen Autohersteller (inklusive VW) noch die Deutsche Forschungsgemeinschaft an dem Problem der Alterung und der altersgerechten Behandlung von Batterien interessiert. Wenn es in der Batterieforschung überhaupt ein allgemeines Interesse gab, so bestand dieses vor allem in der Gewinnung von Lithium aus den Salzseen der Atacama-Wüste in Chile und seiner damit begrenzten Verfügbarkeit (Wasserknappheit, Austrocknung der Landschaft bei der Lithium-Gewinnung). Völlig außer Acht gelassen wurde die Frage der Alterung der Batterien und der Abhängigkeit der Batterien vom Fahrzyklus, vom Ladezustand und der Lademethode sowie dem Recycling der verbrauchten Batterien.

Neben den Li-Ionen-Batterien für die modernen E-Autos spielen aber im Weltmaßstab gesehen für den Verkehr nach wie vor Starter- und Traktions-Batterien auf der Basis von Blei-Säure und Lithium-Eisenphosphat-Akkus eine gewaltige Rolle. Sie außer Acht zu lassen – hinsichtlich ihres Gebrauchs und ihres Recyclings – ist unverzeihlich.

In einem sehr interessanten Kurzbeitrag „Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor – Ein Sargnagel für Deutschlands Industrie“ im Magazin Cicero Online unterzieht Kurt Lauk (Lauk 2023) die Entscheidung des EU-Parlamentes, dass aus umweltpolitischen Gründen ab 2035 kein neues Auto (PKW) mit Benzin- oder Dieselmotor mehr zugelassen werden darf, heftiger Kritik. Er führt zu dieser Entscheidung unter anderem aus:

„Die EU hat sich dazu entschieden, die Emissionen eines Autos allein am Auspuff zu messen. Die gesamte Wertschöpfungskette bei der Produktion blendet sie aus. Unter Nachhaltigkeitsaspekten ist diese Sichtweise nichts weniger als idiotisch. Ein moderner Dieselmotor ist gegenüber einem BEF (Battery Electric Vehicle; Batterie elektrisches Fahrzeug; die Autoren) bis zu einer Laufleistung von rund 80.000 Kilometer pro Jahr klimapolitisch im Vorteil, wenn die volle Wertschöpfungskette berücksichtigt wird.“ (Lauk 2023)

Am 23.09.2023 berichtet FOCUS online, dass die auf dem Gebiet des Handels mit synthetischen Kraftstoffen tätige Lühmann-Gruppe gegen die EU-Verordnung klagen will, die besagt, dass die ab 2035 neu zugelassenen Pkws emissionsfrei sein müssen. Der Chef der Lühmann-Gruppe, Herr Lorenz Kiene, begründet dieses Vorgehen interessanterweise fast wörtlich mit der von uns zitierten Argumentation von Kurt Lauk.

Es ist völlig richtig, dass man bei der eigentlich entscheidenden Nachhaltigkeitsfrage die gesamte Wertschöpfungskette berücksichtigen muss, aber das allein reicht nicht aus. Die Wertschöpfungskette muss um die Wertminderung des Produktes ergänzt werden, die nicht nur dessen Gebrauch, sondern auch sein Recyceln miteinschließt. Diese Problematik wird bislang nicht einmal ansatzweise im politischen Rahmen diskutiert.

2 Probleme der bisherigen Rohstoffgewinnung und Entsorgung

Sowohl die Gewinnung der Rohstoffe für die Batterien als auch die Entsorgung bzw. das Recycling der Akkus bringt große Probleme für die Umwelt mit sich, abgesehen von den sozialen Missständen in den betroffenen Ländern.

- Chile verfügt über eines der größten Lithium-Vorkommens der Welt, des Rohstoffs, der für die Produktion der Lithium-Batterien zentraler Bestandteil ist. Er wird aus den Salzseen der Atacama Wüste mit einer der höchsten Lithiumkonzentrationen der Welt gewonnen, wobei das stark mineralhaltige Grundwasser (die Sole), in riesige Becken gepumpt wird, wo es bei starker Sonneneinstrahlung verdunstet; die verbleibende Salzkruste wird anschließend in einer Raffinerie zu Lithiumcarbonat verarbeitet. Für die Reinigung und die Umfällung werden neben der Sole große Mengen an Frischwasser

benötigt. Das führt dazu, dass der Grundwasserspiegel sinkt und Flussläufe und Feuchtgebiete austrocknen, und erzeugt eine Wasserkrise in den höher gelegenen Flusstälern, wo das indigene Volk der Licanatay lebt und seit Jahrhunderten Landwirtschaft betreibt (Röckerath 2022).

- In der Demokratischen Volksrepublik Kongo findet ca. 65 – 70 Prozent der weltweiten Kobaltproduktion statt. Zum einen gibt es viele kleine familiäre Einzelbetriebe, die unter frühkapitalistischen Bedingungen mit hohen gesundheitlichen Risiken Kobalterze schürfen, die bis zu 15 % Kobaltanteil enthalten können. Andererseits wird der für die Langlebigkeit und Sicherheit der für die Elektromobilität benötigten Batterien strategisch wichtige Rohstoff Kobalt zu ca. 80 % mit modernen Methoden von großen Profit-orientierten Bergwerksbetrieben im großflächigen Tagebau (vergleichbar mit dem Braunkohleabbau in Deutschland) abgebaut. Durch den Staub, der von den Halden kommt, und durch das aus den Wasserbecken überlaufende säurehaltige Wasser werden die umliegenden Felder verseucht und es gibt Einbrüche in der Oberflächenstruktur. Rechtsanwalt und Menschenrechtsaktivist Donatien Kambola führt dazu aus: „Die Menschen verlieren ihr Ackerland, die Dörfer werden vergiftet und die Bewohner müssen ihre traditionelle Lebensweise aufgeben“ (Noirfalisie/ Zajman 2022).
- In Nigeria wird ein Teil der weltweiten Nachfrage nach Blei für Bleibatterien durch Recyceln von nach Afrika entsorgten Altbatterien bedient. Unter der Überschrift „Tödliches Geschäft mit alten Batterien“ beschreibt die Journalistin Petra Sorge die Art und Weise, wie dort mit ‚vorsintflutlichen Methoden‘ recycelt wird, wodurch die Umwelt und die Gesundheit der Arbeitskräfte sowie der Nachbarschaft massiv geschädigt werden: „Anstatt die besten Recyclingmethoden anzuwenden, gibt es hier nur diesen rudimentären Ansatz: Sie brechen die Batterien, um das Blei in Form von Barren zu exportieren. Alte Bleisäurebatterien sind ein Boom-Geschäft, besonders für die Mittelklasse.“ (Sorge/Anyaoqu 2019). Arbeiter, zum Teil Jugendliche, schlagen ungeschützt mit einem rostigen Messer auf eine Batterie ein, aus der seitlich die Schwefelsäure ausfließt. In Orten bei Bleihütten und privaten Kleinstbetrieben im Großraum Lagos laufen die Schwefelsäure-haltigen Abwässer offen über Dorfstraßen und auf Felder und Äcker. Die Blutproben bei Beschäftigten und Anwohnern, insbesondere auch bei Kindern, zeigen massive Bleivergiftungen.

3 Versuche zur Alterung von Starterbatterien

Aufgrund ihrer großen Bedeutung für den individuellen Straßenverkehr, auch in den nächsten Jahrzehnten, wollen wir hier das Prinzip der Alterung von Akkumulatoren am Beispiel der Starterbatterien auf Blei-Säure-Basis erläutern. Dabei geht es darum, Bedingungen herauszufinden, wie die Batterien von ihrem frischen Stadium bis ins hohe Alter für die Nutzung in Fahrzeugen und als Energiespeicher effektiv eingesetzt werden können (Anishchenko et al. 2022).

Abb. 1 zeigt ein Foto einer uns allseits bekannten Blei-Säure Starterbatterie mit eingebauten Mess-Sonden, wie wir sie für die Messungen der internen Batteriespannungen verwendet haben.

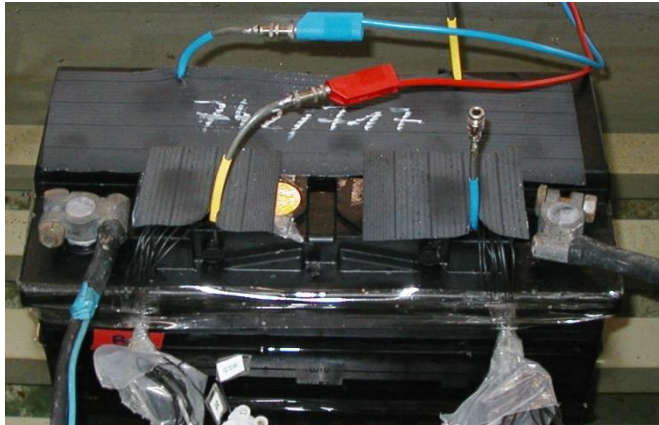


Abb. 1 Blei-Säure Starterbatterie mit eingebauten Mess-Sonden.

In Abb. 2 sind die Anordnung der 6 Batteriezellen (Stacks) der betrachteten Batterie schematisch dargestellt. Die für den Einbau der Sonden ausgewählten Zellen 2 und 5 sind besonders hervorgehoben.

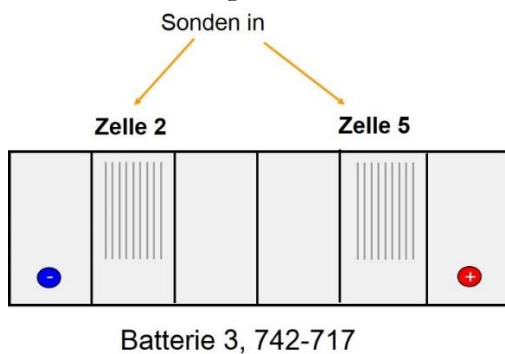


Abb. 2 Skizze der Batteriezellen mit den für den Einbau der Mess-Sonden ausgewählten Stacks.

Abb. 3 veranschaulicht beispielhaft die Positionen der Mess-Sonden in einer Batteriezelle. Zwischen jeweils 2 Bleiplatten in der Mitte und am hinteren Ende der Zelle sind je 5 Mess-Sonden positioniert, davon je zwei rechts und links an der Oberseite (rot) und an der Unterseite (blau) sowie eine im mittleren Bereich (grün). An diesen Positionen zwischen den Plattenpaaren haben wir jeweils die Spannung zwischen der positiven und der negativen Elektrode gemessen.

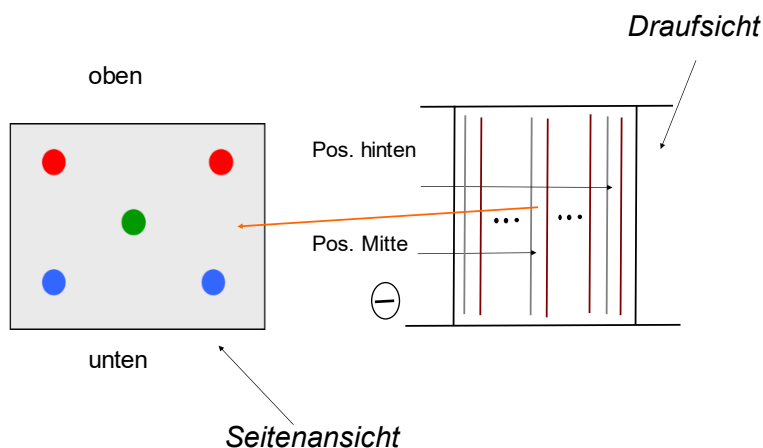


Abb. 3 Positionen der Mess-Sonden in Zelle 2 bzw. 5.

In den Industrielaboren wird die Alterung einer Batterie experimentell simuliert durch ständiges Entladen und Wiederaufladen. Dabei werden z.B. 100 Zyklen in ca. einer Woche durchgeführt. Dies entspricht in der Realität der Alterung einer Batterie von ungefähr einem Jahr. Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen den Verlauf der gesamten Batteriespannung an den äußeren Polen der Batterie sowie den Spannungsverlauf der Messung einer Sonde innerhalb der elektrochemischen Zelle zwischen den beiden Elektroden eines Plattenpaares.

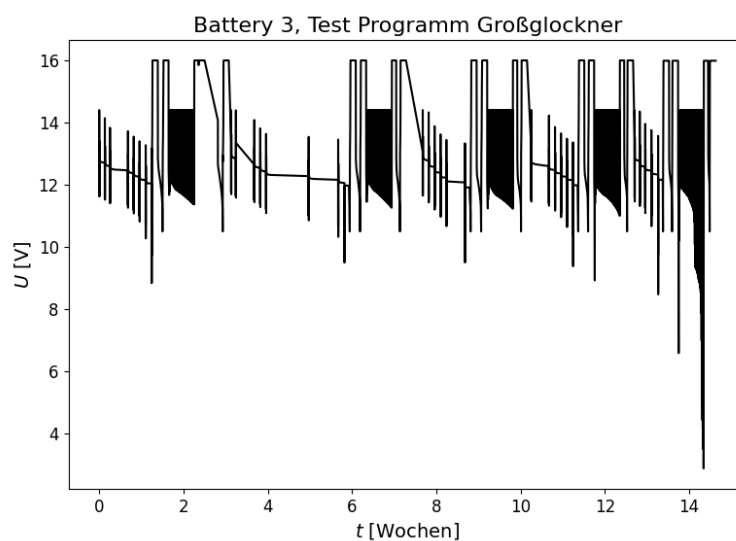


Abb. 4 Verlauf der gesamten Batteriespannung an den äußeren Polen der Batterie beim „Großglockner-Testprogramm“ der Firma Varta.

Die Spannungen, die bei diesen Tests gemessen werden, sind das Antwortverhalten des Batteriesystems auf die ihm aufgeprägten Zwänge durch die äußeren, angelegten, periodischen Stromwechsel zwischen dem Laden bzw. Entladen der Batterie. Damit sind unterschiedliche chemische Prozesse an den Elektrodenoberflächen verbunden, die zudem auch noch auf eigenen Zeitskalen ablaufen. Ändern wir die äußeren Bedingungen, dann ändert sich auch das Antwortverhalten. Auch im Normalbetrieb, also nicht unter

Testbedingungen, werden dem Batteriesystem durch seinen Gebrauch äußere Zwänge auferlegt, auf die das System antwortet und dadurch altert.

Unter dem Altern des Systems verstehen wir dabei die Änderung des Antwortverhaltens durch die Veränderung des elektrochemischen Systems, d.h. des antwortenden Systems selbst. Das führt uns dazu, die elektrochemischen Prozesse zwischen den einzelnen Elektrodenpaaren einer Batterie bzw. eines Stacks genauer zu untersuchen.

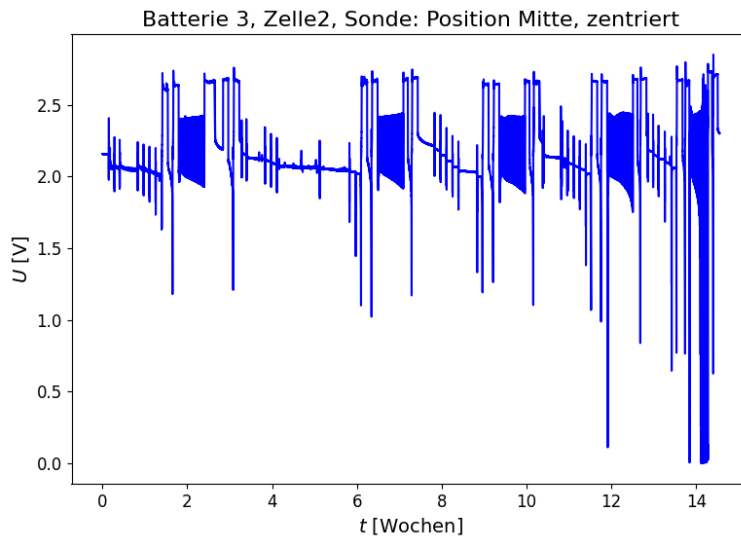


Abb. 5 Spannungsverlauf der Messung einer Sonde innerhalb der elektrochemischen Zelle zwischen den beiden Elektroden eines Plattenpaares beim „Großglockner-Testprogramm“ der Firma Varta.

Vergleicht man die lokalen Potentiale zweier Sonden innerhalb eines Plattenpaares der elektrochemischen Zelle, so lässt sich z. B. im Bereich der ersten experimentellen Alterungssimulation eine Musterbildung erkennen, die in hoher Auflösung ein Schwebungsverhalten zeigt (s. Abb. 6).

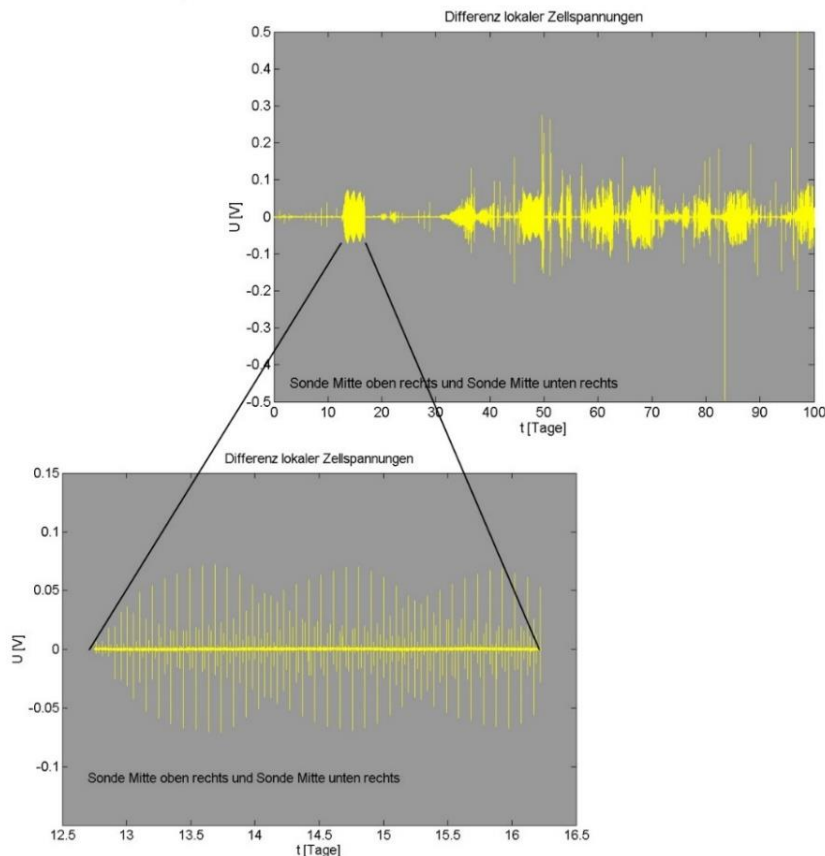


Abb. 6 Differenz der lokalen Zellspannungen zweier Sonden: rechts oben und rechts unten in der mittleren Position in Zelle 2 der Batterie 3; oben: Experimentelle Alterungssimulation der Batteriealterung über 100 Tage, unten: vergrößerter Ausschnitt, gemessen über 4 Tage für eine frische Batterie.

Die Alterung von Batterien muss, wie dieses Beispiel zeigt (Abb. 6), als ein Strukturbildungsprozess innerhalb der elektrochemischen Zellen verstanden werden. Die Elektrodenplatten reagieren hierbei nicht als unstrukturierte, homogene Elektrodenflächen, sondern selbst als komplexe Teilsysteme der Batterie bzw. der Stacks (Sydow et al. 2004).

In unseren Untersuchungen konnten wir zeigen, dass sich durch Messung des Spannungsverhaltens aufgrund kurzzeitiger (im Minutenbereich) äußerer Anregungen durch Ladungs- bzw. Entladungsströme der Alterungszustand einer Batterie und ihre Leistungsfähigkeit ermitteln lässt. (Haß et al. 2018) Dies gilt nicht nur für Starterbatterien, sondern lässt sich grundsätzlich auch auf andere elektrochemische Systeme übertragen, die als Speichersysteme genutzt werden, z.B. für die Speicherung von Sonnenenergie mittels Photovoltaik- oder von Windkraftanlagen.

4 Altersgerechte und umweltfreundliche Behandlung von Batterien

Kann eine Autobatterie nach mehrjähriger Nutzung für den Verkehr nicht weiterverwendet werden, so muss sie aufgrund ihrer Restkapazität nicht zwangsläufig ausgemustert und verschrottet werden. Stattdessen bietet sich eine altersgerechte Nutzung entsprechend ihrer restlichen Leistungsfähigkeit an. Sie kann beispielsweise weiterhin als Pufferspeicher für Speicheranlagen verwendet werden. So wurde bereits im Sommer 2018 für ein Fußballstadion ein solcher Energiespeicher in Amsterdam eingeweiht. Das Fußballstadion

hat einen 2,8 Megawatt-Speicher aus 148 neuen und gebrauchten Autobatterien von Nissan erhalten (Enkhardt 2018). Eine interessante Anwendung könnte auch der Einsatz der Autobatterie als Stromspeicher für zu Hause sein, wie in einem Beitrag des Deutschlandfunks vom 1. Juni 2023 berichtet wird (Rüsberg 2019). Als erster Autohersteller plant Mitsubishi, ein solches Ladesystem für Endkunden anzubieten, und zwar bis Mitte dieses Jahres.

Doch auch nach jeder altersgerechten Behandlung kommt die Batterie einmal zu ihrem Ende. Als umweltfreundliche Maßnahme kommen dann nur das Recyceln und eine Wiedergewinnung der Rohstoffe in Frage. Dazu muss zunächst das Problem der Entnahme der Batterieteile aus dem Batteriegehäuse gelöst werden, d.h. die Batterie muss – auf möglichst schonende Weise – mechanisch zerstört werden. Dann bietet sich das elektrochemische Recyceln mit Hilfe von grünem Strom als eine Möglichkeit an, die eingesetzten (strategischen) Rohstoffe (Lithium, Kobalt, seltene Erden usw.) wiederzugewinnen.

Ein solches Verfahren lässt sich durchaus mit hoher Effektivität in geschlossenen Anlagen durchführen. Dies könnte durch einen modifizierten und weiterentwickelten Batenus-Prozess realisiert werden, wie er bereits von der Mimir GbR in verschiedenen Angeboten vorgeschlagen wurde. Der Batenus Prozess dient der Wiederaufbereitung (Recycling) von Batterien und wurde 1994 von der Pira GmbH in Stühlingen in fünfjähriger Arbeit entwickelt und von der Batenus Umwelt- und Recyclingtechnologie GmbH & Co. KG patentiert (Veröffentlichungsdatum: 3. Februar 1994; WO1994002265A1).

5 Folgen für die Umwelt

Es ist also möglich, Batterien in ihrem gesamten Lebenszyklus bis zu ihrem Ende bzw. ihrer „Wiedergeburt“ altersgerecht und umweltschonend zu behandeln, wird aber heute meist außer Acht gelassen. Wir halten diese Fragen, insbesondere des Recyclings und der Wiedergewinnung der Rohstoffe, für essentiell im Hinblick auf einen neuen, umweltgerechten Umgang mit der Elektromobilität. Andernfalls schaffen wir uns mit dem Elektroschrott wie mit dem Plastikmüll ein ernsthaftes Umweltproblem, das einerseits zur Verknappung wertvoller Rohstoffe führt und andererseits mit einer riesigen Entropieerzeugung, also einer enormen, völlig überflüssigen und verantwortungslosen Vernichtung wertvoller Energie verbunden ist (Ebeling et al. 2023).

Mit der bisherigen Art der Müllproduktion haben wir ein ähnliches Problem wie mit der Wärmeproduktion bei der Energieumwandlung. Der oben beschriebenen Entwertung von Energie durch die irreversible Entropie- (Wärme-) Produktion entspricht auf der Basis der Warenproduktion die unvermeidbare Entwertung der Produkte bzw. Waren und die damit letztlich verbundene Anhäufung von Müll bzw. Schrott. Der Gebrauchs- und Tauschwert geht gegen Null, wenn wir die gebrauchten Waren zu Müll erklären und nicht recyceln (s. dazu auch Ebeling 2018).

Mit der Müllproduktion ist also ganz im Sinne der Thermodynamik eine Entropieproduktion verbunden. Wir erzeugen Entropie nicht nur durch die Wärmeproduktion bei der Energieumwandlung, sondern eben auch aufgrund der Massenproduktion von Müll durch den Gebrauch. Für den Bestand einer Gesellschaft muss diese mit der Müllproduktion verbundene Entropie aus dem System herausgenommen werden oder zumindest durch Recyceln so weit wie möglich vermindert werden. Ersteres geschieht entgegen jeglicher wortreichen, politischen Beteuerungen durch die Hinnahme einer Aufteilung der Welt in eine bewohnbare Welt und eine immer weiterwachsende unbewohnbare Umwelt riesiger Müllhalden und Meeresgründe. Wir sind entschieden dafür, dass das Reparieren oder wenn nicht anders möglich das Recyceln essentieller Bestandteil jeglicher nachhaltigen Industrieproduktion von Gütern und Waren werden muss.

Bibliographie

- Anishchenko, Vadim/ Ebeling, Werner/ Hass, Ernst-Christoph/ Plath, Peter/Schimansky-Geier, Lutz/ Strelkova, Galina (2022): "Modeling battery systems – problems of nonlinearity, efficiency, aging, coupling, and network setup". *Izvestiya of Saratov University. Physics*, 22.4, 288–309.
- AVILOO Battery Diagnostics (29.03.2023): „Erstmalige Messung der Batteriedegradation in Abhängigkeit zum Schnellladeanteil“. Pressemitteilung, <https://aviloo.com/newsreader/erstmalige-messung-der-batteriedegradation-in-abhaengigkeit-zum-schnellladeanteil.html> (31.08.2023).
- Ebeling, Werner (28.09.2018): „Der Marxsche Wertbegriff und seine stimulierende und integrative Rolle in der Wissenschaft“. Vortrag auf der Konferenz „Lebendiges Denken: Marx als Anreger“ der Rosa Luxemburg Stiftung an der Humboldt-Universität zu Berlin.
- Ebeling, Werner/ Feistel, Rainer/ Haß, Ernst-Christoph/ Plath, Peter (2023): „Zu Problemen der mechanisch – chemisch – elektrischen Energiewandlung und des Transports hochwertiger Energie im Kontext des Klimawandels“. *Leibniz Online*, Nr. 50. <http://leibnizsozietat.de/category/publikationen/leibniz-online>.
- Enkhardt, Sandra (29.06.2018): „Neuer Energiespeicher in Amsterdam eingeweiht“. *pv magazine*, <https://www.pv-magazine.de/2018/06/29/neuer-energiespeicher-in-amsterdam-eingeweiht/> (04.09.2023).
- FOCUS online (23.09.2023): „Erste deutsche Firma klagt gegen ‚von Ideologie getriebenes‘ Verbrenner-Aus“. https://m.focus.de/politik/ausland/luhmann-gruppe-erste-deutsche-firma-klagt-gegen-von-ideologie-getriebenes-verbrenner-aus_id_211265223.html?gaa_at=la&gaa_n=AYRtylaEJgzaTupYisprLpmGQRG-fXNf2t8-AOTiOGwO8DDhrpEDvVTld5flGUaG-ZxAs%3D&utm_source=newsshowcase&utm_medium=discover&utm_campaign=CCwQoI6lww7496C8ARiiovGDsIegrrgB-KikIMBCvn9mWvZ2a5QEY3rf55ejkvPi7ASoQCAAqBwgKMJzVgAs-wrPqMAw&utm_content=related&gaa_ts=650ee5bd&gaa_sig=WTAs3Dj7EFdwLF-VoByTtnGQ6T93nNuNxmt6eDGhFL4tYOIpdCXpnNyqxHvxnm4xywr8l7Yr-RSNijgaRuOVZQ%3D%3D.
- Haß, Ernst-Christoph/Knicker, Katharina/Sydow, Uwe/Schulz, Matthias/Plath, Peter J. (2018): "Battery – determination and forecast via Synergetics". *Complexity and Synergetics*, hrsg. von Stefan C. Müller et al. Berlin: Springer, 139–153.
- Huck, Moritz/ Sauer, Dirk Uwe (2020): "Modeling transient processes in lead-acid batteries in the time domain". *J. Energy Storage*, 29, 101430. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101430>.
- Lauk, Kurt (07.03.2023): „Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor. Ein Sargnagel für Deutschlands Industrie“. *Cicero*, <https://www.cicero.de/wirtschaft/ausstieg-aus-dem-verbrennermotor-gastbeitrag-industrie> (30.09.2023).
- Noirfalisse, Quentin/Zajman, Arnaud 2022: „Kobalt, Die dunkle Seite der Energiewende“. ARTE TV, <https://www.arte.tv/de/videos/093032-000-A/kobalt-die-dunkle-seite-der-energie-wende/> (31.08.2023).
- Ottensmeyer, Ralph/ Haß, Ernst-Christoph/ Sydow, Uwe/ Buhlert, Magnus/ Plath, Peter J. (2003): "Determination of the State-Of-Charge and the State-Of-Health of Lead-Acid Batteries". *Proceedings of the Third International AABC Advanced Automotive Battery Conference, Nice, France (2003)*, 57–60.
- Plath, Peter J. / Haß, Ernst-Christoph (2010): „Versuche Sprungantwort Li-Ionen Zellen“. Expertise der MIMIR Chemie-Informatik GbR, Lychen, für Daimler, Stuttgart.

- Röckerath, Christoph (12.11.2022). „Lithiumproduktion in Chile – Der umstrittene Abbau des weißen Goldes“. ZDF-heute, <https://www.zdf.de/nachrichten/panorama/umwelt-lithium-abbau-chile-100.html> (31.08.2023).
- Rüsberg, Kai (05.03.2019): „Die Autobatterie als Stromspeicher für zu Hause“. Deutschlandfunk, <https://www.deutschlandfunk.de/e-mobilitaet-die-autobatterie-als-stromspeicher-fuer-zu-100.html> (04.09.2023).
- Sauer, Dirk Uwe/ Garcke, Jürgen/ Döring, Harry/ Harnisch, Peter (1998): „Alterungerscheinungen an Bleiakkumulatoren unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes in Photovoltaik-Systemen - Darstellung, Simulation, Systemoptimierung“. Entwicklerforum Design&Elektronik – Batterien, Ladekonzepte & Stromversorgungsdesign, München, 348–372.
- Sauer, Dirk Uwe (2003): „Optimierung des Einsatzes von Blei-Säure-Akkumulatoren in Photovoltaik-Hybrid-Systemen unter spezieller Berücksichtigung der Batteriealterung“. PhD Thesis, Universität Ulm. <http://dx.doi.org/10.18725/OPARU-1816>.
- Sauer, Dirk Uwe/ Wenzl, Heinz (2008): “Comparison of different approaches for lifetime prediction of electrochemical systems—Using lead-acid batteries as example“. *J. Power Sources*, 176.2, 534–546. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.08.057>.
- Sorge, Petra/ Anyaogu, Isaac (14.02.2019): „Blei-Recycling in Nigeria – Tödliches Geschäft mit alten Batterien“. Archiv Deutschlandfunk Kultur, <https://www.deutschlandfunkkultur.de/blei-recycling-in-nigeria-toedliches-geschaeft-mit-alten-100.html> (31.08.2023).
- Statista (2023): „Anzahl der Kraftfahrzeuge weltweit in den Jahren 2005 bis 2015“. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244999/umfrage/weltweiter-pkw-und-nutzfahrzeugbestand/>.
- Sydow, Uwe/ Haß, Ernst-Christoph/ Ottensmeyer, Ralph/ Plath, Peter J. (2003): “Measuring Spatio-Temporal Inhomogeneity in Electrochemical Systems”. Tagungsband der Sensor, Nürnberg, 13.–15. Mai 2003.
- Sydow, Uwe/ Buhlert, Magnus/ Haß, Ernst-Christoph/ Plath, Peter J. (2004): “Spatial Inhomogeneity in Lead Acid Batteries”. *Nonlinear Dynamics of Production Systems*, hrsg. von Günter Radons und Reimund Neugebauer. Wiley-VCH Verlag, Berlin, 593–605.
- Wikipedia: „Wirtschaftszahlen zum Automobil“. Abgerufen: 30.09.2023, https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wirtschaftszahlen_zum_Automobil&oldid=237037347.
- Wildberg, Roland (18.04.2023): „So sehr schadet Schnellladen dem E-Auto“. Bild.de, <https://www.bild.de/bild-plus/auto/auto-news/auto-news/elektroauto-experte-warnt-vor-akku-schaeden-durch-schnellladen-83590266.bild.html> (30.08.2023).
- Zwick, Daniel (17.04.2023): „Null reparabel – das unterschätzte Akku-Problem der Elektroautos“. WELT.de, <https://www.welt.de/wirtschaft/plus244572124/Elektroauto-Null-reparabel-Das-unterschaeetze-Akku-Problem-bei-E-Autos.html> (31.08.2023).