

Lithium-Batterien für Nutzfahrzeuge

Die Arbeiter unter den Energiespeichern

Lithium-Ionen-Batterien für Nutzfahrzeuge müssen sich von Akkumulatoren für Pkw unterscheiden. Dies liegt an höheren Leistungen, längeren Lebensdauern und einer Vielzahl an kleineren Ladungshüben. Akasol zeigt weitere Unterschiede auf und erklärt die Vorteile einer Flüssigkühlung gegenüber passivem Konzept und aktiver Luftkühlung bei unterschiedlichen Stromraten.



Dr.-Ing. Björn Eberleh
ist Mitgründer und Leiter
Projektmanagement und Service bei
der Akasol GmbH in Darmstadt.



Dipl.-Ing. Stephen Raiser
ist Mitgesellschafter und
Entwicklungsleiter bei der
Akasol GmbH in Darmstadt.

NUTZFAHRZEUGE – DER OPTIMALE ANWENDUNGSFALL

Die Speicherung elektrischer Energie wird ein wichtiger Baustein der zukünftigen Energieversorgung sein. Die Formen, in denen diese Speicherung stattfinden kann, und die Anwendungen, die sich ihrer bedienen, sind dabei beliebig vielfältig. Ein wesentliches Mittel der Wahl zur Stromspeicherung ist die Lithium-Ionen-Batterie. Besonders spannend ist dabei ihre Anwendung in Nutzfahrzeugen. Deren Spektrum erstreckt sich vom Lkw (insbesondere für den Verteilerverkehr) über Busse bis hin zu Sonderfahrzeugen und Anwendungen abseits der Straßen, wie Land- und Baumaschinen.

Obwohl diese Fahrzeuge kaum im Fokus der allgemeinen Öffentlichkeit stehen, sind sie in der Regel für die Elektrifizierung beziehungsweise Hybridisierung prädestiniert. Dies liegt zum einen am Einsatzort, der oftmals innerstädtisch ist und damit sensibel hinsichtlich Abgas- und auch Lärmemissionen. Zum anderen sind die Nutzungsprofile meist klar definiert. Damit lässt sich ein eindeutiger Energie- und Leistungsbedarf ermitteln, mit dem sich wiederum der Energiespeicher optimal dimensionieren lässt. Auf dieser Basis können die Kosten über die gesamte Lebensdauer (Gesamtbetriebskosten; Total Cost of Ownership TCO), die in der Regel für die Anschaffungsentscheidung

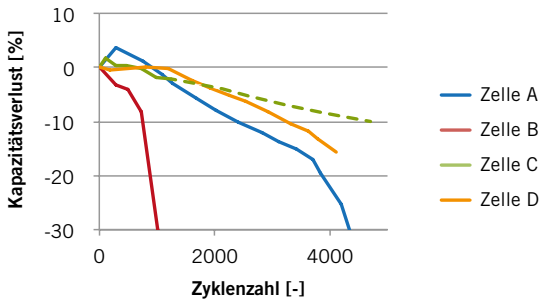


BILD 1 Kapazität verschiedener Lithium-Ionen-Zellen im Verlauf eines zyklischen Alterungstests (© Akasol)

bei Nutzfahrzeugen entscheidend sind, berechnet werden. Die Elektrifizierung von Nutzfahrzeugen ist daher in vielen Fällen bereits heute wirtschaftlich und wird es in Zukunft immer mehr werden.

„DIE“ LITHIUM-IONEN-BATTERIE – EINE FÜR ALLES?

Als erstes ist es wichtig zu wissen, dass es schon auf Basis der verwendeten Werkstoffe nicht die „eine“ Lithium-Ionen-Batterie gibt. Die technologische Vielfalt im Bereich der Batteriechemie ist groß und beeinflusst die Zelleigenschaften maßgeblich. In erster Linie sind hierbei die Aktivmaterialien zu erwähnen. Diese bestehen zum einen aus den Elektroden, die für die Einlagerung von Lithiumionen zuständig sind – also die eigentliche Energiespeicherung. Zum anderen ist der Elektrolyt zu nennen, der die Ionenleitfähigkeit und somit den Stromfluss ermöglicht. Dazu benötigt man den Separator, der den Kurzschluss zwischen den Elektroden verhindert. Das Ganze muss mechanisch verpackt, mit Stromableitern versehen und gegebenenfalls mit Sicherheitselementen ergänzt werden. Alle Elemente in Kombination bestimmen die wesentlichen Eigenschaften Energiedichte, Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Sicherheit.

Neben diesen chemischen Einflüssen der Aktivmaterialien spiegeln sich auch die konstruktive Ausgestaltung von Zelle, Modul und System sowie deren Fertigungsprozesse in der Charakteristik wider. Bei Akasol werden seit über zehn Jahren verschiedene Lithium-Ionen-Zellen und -Module untersucht.

BILD 1 zeigt beispielsweise, wie unterschiedlich die Alterung verschiedener großformatiger Zellen, die auf den ersten Blick sogar die gleiche Chemie enthalten (Anode: Graphit, Kathode: Nickel-Mangan-Kobalt), im vergleichbaren Testzyklus ausfallen kann.

PKW-AKKU IST NICHT GLEICH LKW-BATTERIE

So gelangt man schließlich zu der Frage: Welche Eigenschaften sind eigentlich wichtig für die jeweilige Anwendung? Viele Nutzfahrzeughersteller verfolgen dabei die Strategie, die Batterien aus der Pkw-Sparte zu übernehmen. Der Grund: In diesem Segment werden sehr große Akkumulator-Stückzahlen gefertigt, sodass sich über diese Skalierung extrem günstige Herstellkosten realisieren lassen. Anforderungsseitig werden Pkw von privaten Endkunden unter variablen und rauen Umgebungsbedingungen individuell eingesetzt.

In den meisten Fällen sind allerdings die tatsächliche Zeit, in der der Pkw genutzt wird, wie auch die zurückgelegte Strecke vergleichsweise gering. So beträgt die durchschnittliche Weglänge pro Fahrt nur 14,7 km bei einer Fahrzeit von 21 min [1]. Im Durchschnitt muss also deutlich weniger als ein Zyklus pro

Tag absolviert werden. Beispielsweise reicht bei einem Pkw mit einer Reichweite von 400 km pro Batterieladung, was viele derzeitige Entwicklungen als Ziel haben, eine Zahl von 500 äquivalenten Vollzyklen völlig aus, um eine Fahrleistung von über 200.000 km zu erreichen. Teilzyklen wirken sich dabei positiv auf die Lebensdauer aus.

Im Gegensatz zum Pkw werden Nutzfahrzeuge meist sehr geplant über viele Stunden am Tag betrieben. Es kommt zu zahlreichen Brems- und Beschleunigungsvorgängen. Außerdem erfordern die schweren Fahrzeuge leistungsstarke Antriebe, die den Energiespeicher in diesem Profil entsprechend beanspruchen. Der typische Speicher in Nutzfahrzeugen wird daher quasi kontinuierlich mit hohen Leistungen in Lade- und Entladerichtung betrieben und ist dabei einer Vielzahl an kleineren Ladungshüben ausgesetzt, gegebenenfalls überlagert von großen Hüben über den Tag. Unter diesen harten Anforderungen reicht oftmals eine Auslegung-Lebensdauer von acht Jahren aus, um über den Lebenszyklus wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein. In diesem Zeitraum werden bis zu 20.000 äquivalente Vollzyklen abgerufen – also ein 40-Faches im Vergleich zur Pkw-Batterie.

Diese Überlegungen lassen sich auch analog zu stationären Speichersystemen anstellen, die aktuell in der Diskussion beziehungsweise auf dem Markt sind. Hier sind auf der einen Seite vor allem die kleineren Speicher für den privaten Haushalt zu nennen, auf der anderen



BILD 2 Anwendungen von Lithium-Ionen-Batteriesystemen mit ihren typischen Randbedingungen je nach den Segmenten Mobil für Pkw/Nfz (Nutzfahrzeug) sowie Stationär für Privat/Industriell (© Akasol)

Seite kommen gewerbliche genutzte und netzdienliche Speicher zum Einsatz. Eine vertiefende Darstellung hierzu findet sich in [2].

BILD 2 veranschaulicht die unterschiedlichen Randbedingungen in den Segmenten Mobil für Pkw/Nfz sowie Stationär für Privat/Industriell noch einmal schematisch, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszustellen. Vergleicht man auf dieser Basis die in der jeweiligen Anwendung benötigten Eigenschaften miteinander, so ergibt sich **BILD 3**. Hier sind die wichtigsten Anforderungen an das Batteriesystem für die vier verschiedenen Segmente in einem Spinnendiagramm aufgetragen. Die Einstufung geht dabei von 0 (völlig unwichtig) bis zu 100 (sehr wichtig).

Bei der Einstufung der Kostenrelevanz wird von einer Situation ausgegangen, in der die Segmente „Mobil Pkw“ und „Stationär privat“ bereits voll etabliert sind und eine Großserienproduktion aufgesetzt ist. In diesem Fall sind die Herstellkosten entscheidend für den Preis des Produkts. Anders verhält es sich bei den Systemen, die in kleineren Stückzahlen eingesetzt werden, was für die Nutzfahrzeuge und die stationären Großspeicher

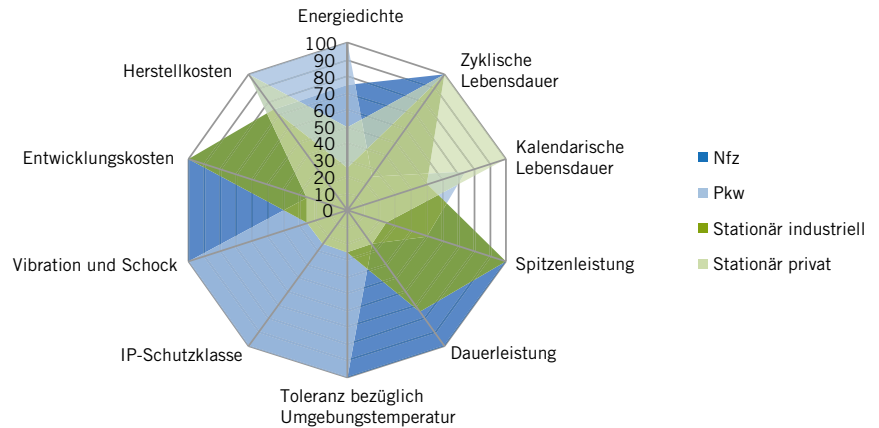


BILD 3 Gewichtung der Anforderungen in unterschiedlichen Anwendungen (© Akasol)

zutrifft. Hier müssen die Entwicklungskosten auf kleinere Stückzahlen umgelegt werden, sodass sie sich im Produktpreis deutlich widerspiegeln und entsprechend gering gehalten werden müssen.

Es ist zu erkennen, dass es relativ viele Gemeinsamkeiten zwischen dem Pkw-Segment und dem privaten Photovoltaik-Batteriemarkt gibt. Gleiches gilt für die kommerziellen Anwendungen im mobilen und stationären Segment. Im Wesentli-

chen sind es die anspruchsvollen Umgebungsbedingungen, die den mobilen Markt vom stationären abheben. Die entscheidenden Unterschiede zwischen Pkw- und Nutzfahrzeugbatterie liegen in der Leistungsfähigkeit und zyklischen Lebensdauer. Genau diese Eigenschaften werden aber wie zuvor beschrieben durch die Zellchemie und die konstruktive Ausführung von Zelle und System entscheidend geprägt.

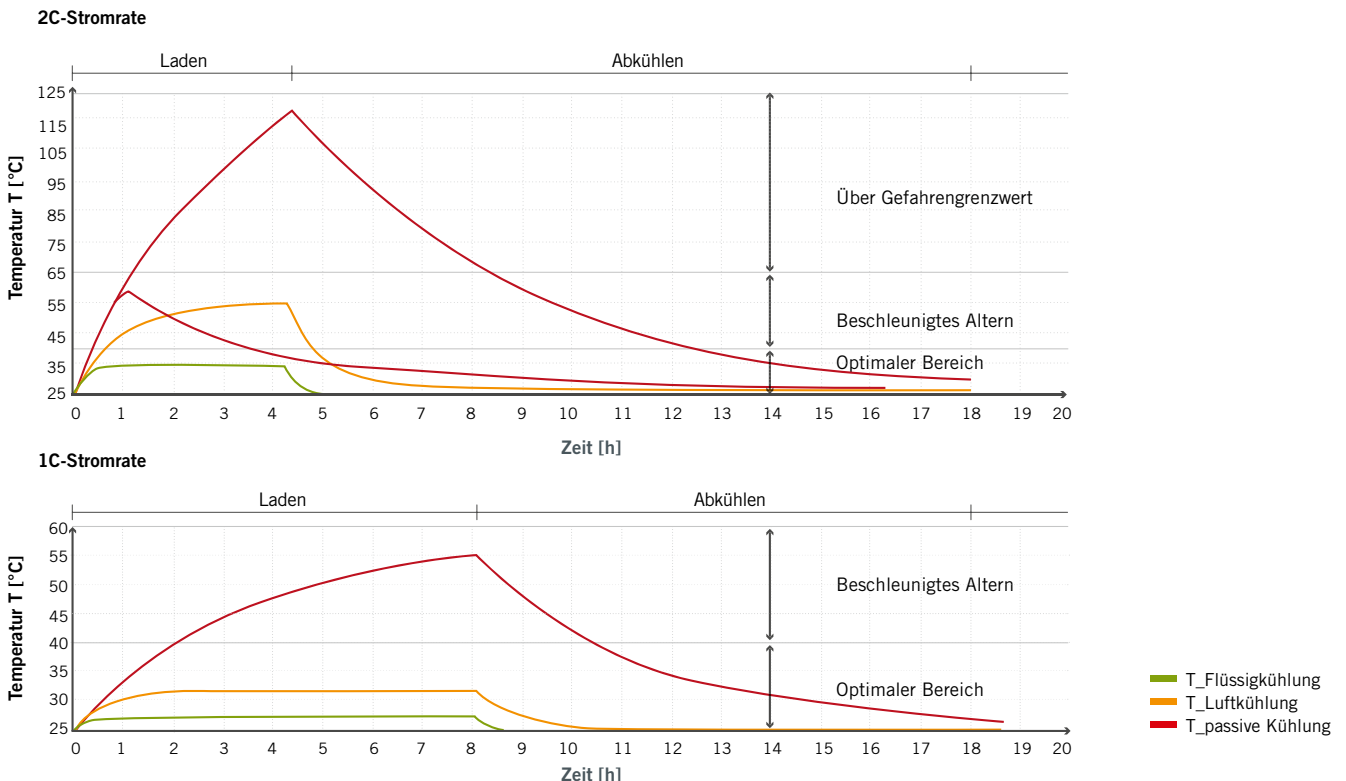


BILD 4 Typische Temperaturgänge für Lithium-Ionen-Batteriesysteme bei unterschiedlichen Belastungen (Stromrate von 1C und 2C) und drei Arten von Kühlauslegung (© Akasol)

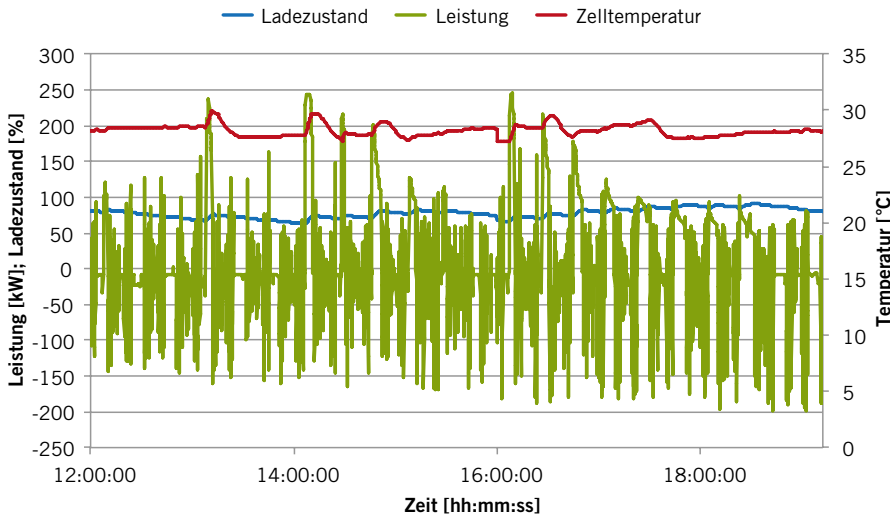


BILD 5 Verläufe von Ladezustand, Leistung und Zelltemperatur über ein Lastprofil aus einer Stadtbusanwendung (© Akasol)

DER WEG VON DER ZELLE BIS ZUR ANWENDUNG

Das prinzipiell sehr unterschiedliche Verhalten, das sich allein auf Basis der Zellausführung einstellen kann, wurde bereits im vorherigen Abschnitt betrachtet. Reicht es nun, die richtige Zelle auszuwählen? Wenn man sich noch einmal verdeutlicht, dass die Temperatur einen sehr großen Einfluss auf das Reaktionsverhalten chemischer Prozesse hat, dann wird schnell klar, dass dies nicht so ist. Als Faustformel gilt, dass die Alterung einer Batterie pro 10 K Temperaturerhöhung doppelt so schnell abläuft. Dieses Verhalten konnte bei Messungen durch Akasol an verschiedenen Zellen in dem relevanten Bereich zwischen 35 und 65 °C grundsätzlich nachvoll-

zogen werden. Umgekehrt führen auch zu niedrige Temperaturen zu Problemen, da die Leistungsfähigkeit generell stark abnimmt und insbesondere die Ladeströme oftmals erheblich limitiert werden müssen. Die richtige Temperierung der Zellen ist also eine wesentliche Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb über viele Jahre.

Da die Verluste, die zur Erwärmung innerhalb der Batterie beitragen, quadratisch mit dem Strom ansteigen, ist eine effiziente Kühlung bei hoch ausgenutzten Batterien eine mehr als lohnenswerte Investition. **BILD 4** zeigt die Erwärmung innerhalb eines Batteriesystems für drei Kühlkonzepte bei zwei unterschiedlichen Stromraten (Verhältnis C aus dem Strom in Ampere zur Nennkapazität in Amperestunden). Für die Kühlungen wurden ein

rein passives Konzept, eine aktive Luftkühlung und eine Flüssigkühlung angenommen. Zu erkennen ist, dass bei einer Stromrate von 1C – dies entspricht zum Beispiel einem Strom von 100 A bei einer Batterie mit einer Nennkapazität von 100 Ah – der Temperaturanstieg noch einigermaßen beherrschbar ist. Wird allerdings die Stromrate auf 2C verdoppelt – in diesem Beispiel also auf 200 A –, so wird eine effiziente Kühlung unerlässlich.

Diese Anforderungen finden sich in Nutzfahrzeugen wieder, da aus Gründen der Verfügbarkeit in der Regel entweder Schnelllade- oder Hybridkonzepte umgesetzt werden. Ein beispielhafter Verlauf von Ladezustand, Leistung und Zelltemperatur in der zweiten Tageshälfte ist für einen Stadtbus in **BILD 5** dargestellt: Die

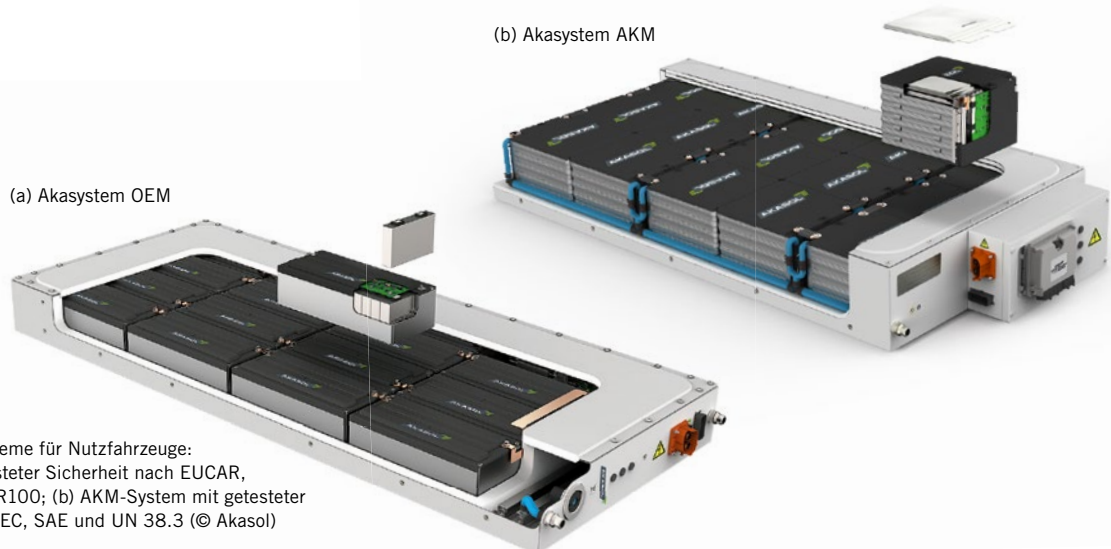


BILD 6 Mobile Batteriesysteme für Nutzfahrzeuge: (a) OEM-System mit getesteter Sicherheit nach EUCAR, GB/T, UN 38.3 und ECE R100; (b) AKM-System mit getesteter Sicherheit nach USABC, IEC, SAE und UN 38.3 (© Akasol)

Kühlung hält die Zelltemperatur trotz des kontinuierlichen Betriebs in einem optimalen Band zwischen 25 und 30 °C.

Eine weitere Hürde stellt sich beim konstruktiven Weg von der Zelle zum System in den Weg: Durch die mechanische Kopplung der Zelle mit der Umgebung kann sich das Alterungs- und das Sicherheitsverhalten ebenfalls verändern. Eine korrekte mechanische Anbindung der Zellen ist also ein weiterer wichtiger Baustein, damit es später keine Überraschungen in der Anwendung gibt. Beispielsweise konnten bei ungeeigneter konstruktiver Ausführung Abweichungen um den Faktor 2 bei der Lebensdauer auf Zell- und Systemebene beobachtet werden. Auch die statistische Streuung bei der Zellalterung spielt auf Systemebene eine große Rolle, weil die Zelle, die am schnellsten altert, das Verhalten der gesamten Batterie bestimmt. Diesem Phänomen kann prinzipiell durch Parallelschaltung der Zellen entgegengewirkt werden, wie zum Beispiel in [3] gezeigt wird. Untersuchungen, wie groß die Streuung der individuellen Alterung bei großformatigen Zellen ist, sind allerdings sehr zeit- und kostenaufwendig. Entscheidend ist eine hochwertige, stabile Zellproduktion und eine lückenlose Überwachung der Prozessgüte inklusive der vorhergehenden Materialaufbereitung.

Um die beschriebenen Anwendungen so gut wie möglich bedienen zu können, hat Akasol seine Batteriesysteme in den letzten Jahren kontinuierlich auf diesen Einsatz hin optimiert. Mittlerweile sind

zwei Produktbaureihen für Nutzfahrzeuge entstanden, um die erwähnten variablen Anforderungen je nach Schwerpunkt bestmöglich bedienen zu können, **BILD 6**. Beiden Baureihen OEM und AKM gemeinsam ist jedoch die kompakte Bauweise mit Flüssigkühlung, um im Segment der Nutzfahrzeuge optimale Kosten-Nutzen-Verhältnisse zu erzeugen. Die Systemarchitektur besteht generell aus soliden Grundmodulen mit typischerweise 12 Zellen, einem Edelstahlgehäuse mit definierten Brandschutzeigenschaften sowie dem Batteriemanagementsystem samt Sensorik und Aktorik.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Anforderungen an Nutzfahrzeugbatterien sind in entscheidenden Bereichen deutlich höher als in anderen Segmenten und insbesondere im Pkw. Auf Basis verschiedener Zellen und Systemarchitekturen lassen sich Lithium-Ionen-Batterien entwickeln, die sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen und so auf bestimmte Einsatzzwecke optimiert werden können. Daraus ergibt sich, dass ein Einsatz von Systemen, die für den Pkw entwickelt wurden, im Nutzfahrzeug nur zu unbefriedigenden Ergebnissen führen kann. Sonderentwicklungen oder zumindest Anpassungsentwicklungen sind nötig und gerechtfertigt, da über eine gesteigerte Lebensdauer die höheren Initialkosten deutlich aufgewogen werden.

Lithium-Ionen-Batterien haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung hinter sich und stehen an der Schwelle zum entscheidenden Durchbruch in allen relevanten Anwendungen. Nach einer letzten Phase der technischen Reifung durch Felderfahrung im großen Maßstab sowie durch skalierungsbedingte Kostensenkungen wird diese Schwelle in den kommenden Jahren bis spätestens 2020 überschritten werden. Es bleibt jedoch ein großes Entwicklungspotenzial, um die Eigenschaften der Lithium-Ionen-Batterien weiter zu verbessern. Ob und wann revolutionär neue Batterietechnologien, die sogenannten Post-Lithium-Ionen-Batterien, wirklich einsatzfähig sind, ist zurzeit noch nicht seriös absehbar. Für die flächendeckende Einführung der Elektromobilität ist dies allerdings kein Hindernis, da die existierende Technik auch evolutionär weiterentwickelt alle benötigten Eigenschaften aufweist.

LITERATURHINWEISE

- [1] Infas/DLR: Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht. Bonn und Berlin, 2010
- [2] Fahlbusch, E.: Batterien als Energiespeicher: Beispiele, Strategien, Lösungen. Berlin: Beuth, 2015
- [3] Lehner, S.: Reliability assessment of lithium-ion battery systems with special emphasis on cell performance distribution. Aachen: Shaker-Verlag, 2017



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com

igus® dry-tech® ... schmierfrei Lagern leicht gemacht ...

Wechseln Sie jetzt das Lager

Hochleistungskunststoff-Gleitlager mit berechenbarer Lebensdauer
Online passendes Gleitlager finden und berechnen: igus.de/iglidur-Experte

und sparen Sie 40% Kosten

Ob Bronze- oder Sinterlager, beschichtete Metallbuchsen oder Nadellager: mit iglidur® Polymer-Gleitlagern Kosten reduzieren und die Technik verbessern. Schmiermittelfrei, leicht und verschleißfest für Ihre bewegte Anwendung. Entdecken Sie jetzt das ganze Austauschpotenzial unter: igus.de/lagerwechsel

Besuchen Sie uns: Formnext, Frankfurt – Halle 3.1 Stand C80

plastics for longer life®
igus.de
igus GmbH Tel. 02203-9649-145 info@igus.de