



© Wayhome Studio | stock.adobe.com

Ultraschnelles Laden städtischer Lieferfahrzeuge sicherstellen

Batterie-Design im Fokus

Appetit auf Pizza, Sushi oder Indisch und keine Lust selbst zu kochen? Lieferdienste sorgen für eine schnelle Zustellung des Essens. Um eine nachhaltige Zustellung mit Elektro-Mopeds zu ermöglichen, arbeiten Mahle Powertrain und Allotrope Energy an einem ultraschnellen Batteriesystem.

Dr. Michael Bassett, Jonathan Hall und Dr. Peter Wilson

Mit der On-Demand-Economy nahm die Lieferung von Mahlzeiten aus Restaurants und Fast-Food-Ketten erheblich zu. Die Lieferanten nutzen Fahrräder, Autos, Kleintransporter und vor allem Mopeds, die in der Regel mit Verbrennungsmotoren betrieben werden. Mopeds sind kostengünstig und technisch nicht anspruchsvoll, so dass sie in unverhältnismäßigem Maße zu einer schlechten Luftqualität in Städten beitragen. Die Liefertätigkeit im Mitnahmesektor besteht aus einer Reihe von kurzen Fahrten – in der Regel unter 4 km – bei denen jedoch nicht genügend Zeit zum Aufladen bleibt. Die einzige Möglichkeit zur Dekarbonisierung dieses Wirtschaftszweigs besteht bisher darin, Elektrofahrzeuge mit einer im Vergleich zum Bedarf zu großen Reichweite einzusetzen. Wenn sich die Ladezeit eines Fahrzeugs auf ein bis zwei Minuten für eine volle Ladung reduzieren lässt, dann ermöglicht das einen

kleineren Batteriesatz. Zwei wesentliche Herausforderungen im Zusammenhang mit ultraschnellen Ladezeiten sind die Fähigkeit der Zellen, sehr hohe Ladeleistungen über die volle Kapazität hinaus zu akzeptieren, und die Ladeinfrastruktur, die erforderlich ist, um diese Leistung mit der erforderlichen Spannung zu liefern.

Machbarkeitsstudie

Mahle Powertrain und Allotrope Energy haben gemeinsam ein Konzept für ein ultraschnelles Batteriesystem untersucht, das für ein E-Moped für den Stadtverkehr optimiert ist (**Bild 1**). Diese Studie wurde von Innovate UK mitfinanziert. Ziel ist es, ein E-Moped mit einer stark verkleinerten Batterie in die Lage zu versetzen, eine vollständige Aufladung der Batterie in etwa 1 bis 2 Minuten zu erreichen. Die Batterie basiert auf der Lithium-Kohlenstoff-Batte-

rietechnologie von Allotrope Energy, die Ähnlichkeiten mit Superkondensatoren aufweist, jedoch über eine größere Energiespeicherkapazität verfügt. Batterie-Superkondensator-Hybride (Battery-Supercapacitor Hybrid Devices, BSH), die in der Regel aus einer batterieartigen Elektrode mit hoher Kapazität und einer kapazitiven Elektrode mit hoher Rate bestehen, stoßen auf großes Interesse. Sie haben das Potenzial, die Fähigkeiten zukünftiger Elektrofahrzeuge und intelligenter Stromnetze erheblich zu verbessern. Mahle Powertrain hat auch die notwendige Lade-Hardware entwickelt, um eine Flotte von eMopeds schnell über das Stromnetz aufzuladen.

Neuartige Zelltechnologie

Allotrope Energy hat an neue Zellchemien gearbeitet, die auf der Verwendung von Kohlenstoff in einer Lithium-

lonen-Batterie basieren. Es wurden drei Zellderivate entwickelt: der elektrische Doppelschichtkondensator (Electric double layer capacitor, EDLC), die Lithium-Kohle-Zelle und der Lithium-Ionen-Kondensator.

Im Gegensatz zur elektrochemischen Natur herkömmlicher Batterien speichert der EDLC Energie durch die kapazitive Wechselwirkung gegensätzlicher Ladungen an der Grenzfläche von Kohlenstoff mit großer Oberfläche (2000m²/g) und den Ionen in einem organischen Elektrolyten. Diese Technologie ermöglicht Ladezeiten im einstelligen Sekundenbereich, einen Wirkungsgrad von annähernd 99 Prozent und eine Lebensdauer, die in Tausenden von Zyklen gemessen wird. Trotz dieser Eigenschaften haben die niedrige gravimetrische und volumetrische Energiedichte und der hohe Preis pro kWh die Marktattraktivität eingeschränkt, was zur Entwicklung der Lithium-Ionen-Hybridzelle führte.

Die Lithium-Kohlenstoff-Zellentechnologie, die aus einer Anode für eine Hochleistungsbatterie und einer EDLC-Kathode mit hoher Kapazität besteht, weist erhebliche Vorteile im Vergleich zur herkömmlichen Ultrakondensator- oder Hochleistungsbatterietechnologie auf. Sie bietet eine zehnfach höhere gravimetrische und volumetrische Energiedichte der EDLC, die 60Wh/kg und 80Wh/l erreicht, und gleichzeitig eine zehnfach höhere Leistungsdichte als Alternativen zu Hochleistungsbatterien, die 15 bis 20kW/kg erreichen, bei niedrigen Gleichstrom-Innenwiderstandswerten (Direct current internal resistance, DCIR). Im Vergleich zu herkömmlichen Hochleistungsbatterietechnologien



Bild 1: Lieferdienste setzen häufig auf Elektro-Mopeds, um das Essen zuzustellen.

© Mahle

nologien minimieren die Nanokohlenstoffkathode und der organische Elektrolyt mit hoher Leitfähigkeit nicht nur die parasitäre Wärmeerzeugung durch einen niedrigen äquivalenten Serienwiderstand (ESR), sondern auch die schädlichen Auswirkungen des Wärmestaus. Grund: Es treten keine der thermischen Degradationseffekte auf, die bei lithiumhaltigen Metalloxidkathoden üblich sind. In Kombination ermöglichen diese Eigenschaften der Zelle einen kontinuierlichen Betrieb bei über 100 C für den vollen Ladezustand (null bis 100 Prozent), sowohl beim Laden als auch beim Entladen, abhängig von der genauen chemischen Formulierung der Zelle. Für diese Anwendung hat Allotrope Energy eine 6,5-Ah-Lithium-Carbon-Zelle vorgeschlagen, die zwischen 3,2 und 1,6V arbeitet und einen Form-

faktor von 150 x 70 x 8 mm aufweist. Die Zelle hat ein Gewicht von 132 g und kann Laderaten von bis zu 40 C handhaben.

E-Moped-Akkupack

Auf der Grundlage einer Analyse typischer Nutzungsmuster von Elektromopeds für Lieferdienste wurde festgestellt, dass eine maximale Reichweite von 25 km angemessen ist. Der typische Energieverbrauch eines E-Mopeds liegt bei etwa 20Wh/km, sodass für eine Reichweite von 25 km etwa 500Wh an nutzbarer Energie erforderlich sind. Eine Batterie dieser Größe müsste während einer typischen Schicht irgendwann einmal vollständig aufgeladen werden. Die Lithium-Kohlenstoff-Zelle von Allotrope Energy eignet sich sehr gut für diese Art von Anwendung. Eine Kapazität von 0,5kWh ist innerhalb des typischerweise verfügbaren Bauraums eines E-Moped-Batterie-Packs realisierbar, und die Batteriezelle kann in sehr kurzer Zeit wieder aufgeladen werden. Das Aufladen mit 20kW erfordert beispielsweise eine Lade-C-Rate von 40 C, was im Rahmen der Möglichkeiten dieser Zellen liegt und eine Aufladezeit von 90 s ergibt. Ein Akkupack dieser Größe muss möglicherweise alle zwei bis drei Stunden oder alle zehn Fahrten aufgeladen werden, sollte aber aufgrund der kurzen Ladedauer keine Aktivitäten verzögern.

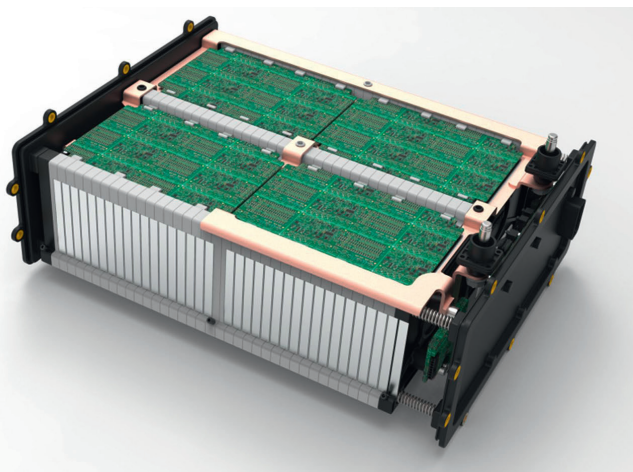


Bild 2: Gerendertes Bild des finalen Akkupacks © Mahle

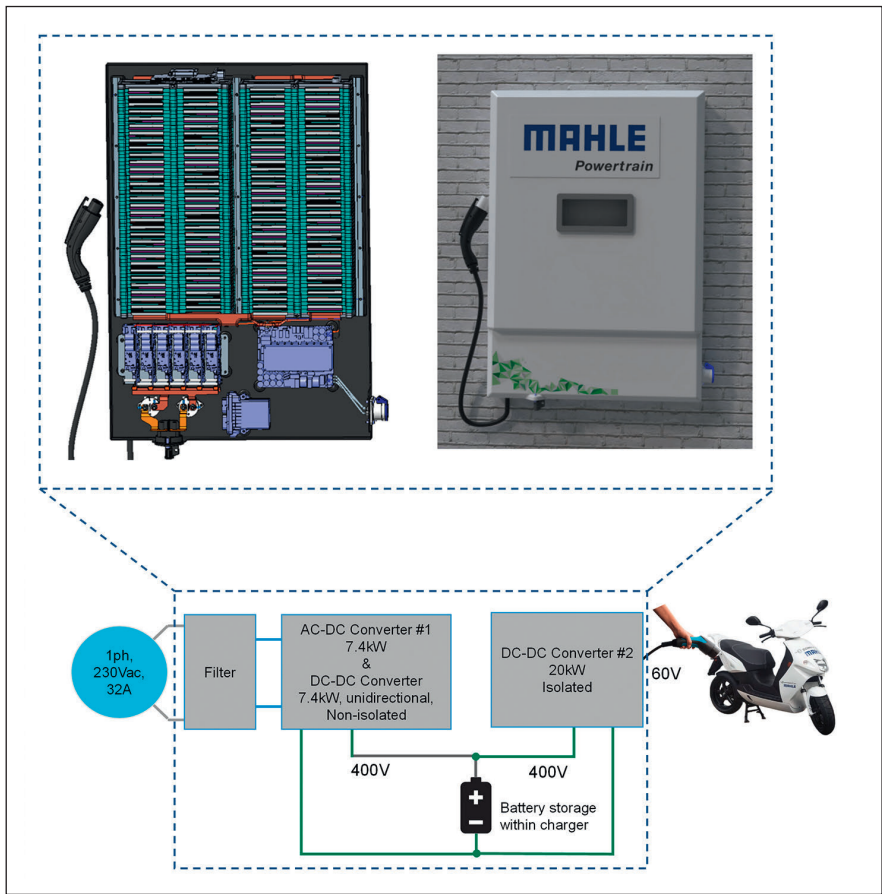


Bild 3: Schematische Darstellung des elektrischen Aufbaus des Elektro-Moped-Ladegeräts

© Mahle

Ein Konzeptentwurf für das E-Moped-Batteriepaket wurde fertiggestellt und das Konzeptpaket wurde in die geplante E-Moped-Anwendung integriert. Die Batterie besteht aus 72 Zellen, um die erforderliche Kapazität von 0,5 kWh zu erreichen und verwendet eine Konfiguration von 18 Zellen in Reihe, um die erforderliche Spannung zu erreichen. Hierbei sind vier Stränge der 18 Zellen parallelgeschaltet, um die Zielkapazität zu erreichen (18S-4P). Um Größe, Gewicht und Komplexität zu minimieren, wurden diese parallelen Strings in eine einzige Baugruppe integriert. Die Spezifikation für das Paket ist in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Beim Konzeptentwurf sind die Zellen in Polymerrahmen montiert, die sowohl den Schutz der Zellen als auch die strukturelle Steifigkeit und die Kontrolle der auf die Zelle wirkenden Lasten während ihrer Lebensdauer gewährleisten. Innerhalb des Rahmens werden Trennplatten und thermische Schnittstellenmaterialien verwendet, um die elektrische Isolierung zwischen den Zellen, die Komprimierung der

Pouch-Zelle und die Wärmeabfuhr aus der Zelle während des Betriebs zu ermöglichen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Druckkraft gelegt, die während der gesamten Lebensdauer auf die Zellen einwirkt, von der anfänglichen Kompression bei der Montage bis zum Ende der Lebensdauer, wo die Schwellung der Zellen die Druckbelastung auf die Zellen erhöhen wird. Die Schwellung wird durch ein komprimierbares thermisches Grenzflächenmaterial zwischen den Zellen und einer lastverteilenden Kühlplatte aufgefangen.

Zusätzlich zu den Druckbelastungen, die auf die Zellen einwirken, wurden

auch die Kräfte, die während der Nutzung auf die Zellbaugruppe einwirken, sowie extreme Stoßbelastungen mithilfe der Finite-Elemente-Analyse (FEA) analysiert. Damit ein Batteriesatz versandt oder in einem Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr zum Einsatz kommen kann, muss nachgewiesen werden, dass er den einschlägigen geltenden Normen entspricht. Der Transport von Batterien fällt unter Artikel 38.3 von Teil 3 des UN-Handbuchs der Transportprüfungen und -normen für gefährliche Güter. In Europa müssen Elektrofahrzeuge auch der UNECE-Regelung 100 entsprechen. Beide Vorschriften verlangen, dass die Batterie mechanischen Schock- und Vibrations-tests unterzogen wird. Der Akku wurde im Rahmen der FEA-Analyse diesen Vibrationsprofilen unterzogen. Auf der Grundlage der Analyseergebnisse für die Belastung der Zellenbaugruppe, das Aufquellen der Zellen, das modale Verhalten, das Schwingungsverhalten und das Schockverhalten wurde das Design des Akkus optimiert.

Die endgültige Batteriebaugruppe ist in **Bild 2** dargestellt und zeigt die integrierten Zellsensorplatinen und die Materialsteuerplatine des Batteriemanagementsystems (BMS). Die gesamte Batteriebaugruppe ist in einem Aluminiumgehäuse untergebracht, das die Zellenbaugruppe sicher aufnimmt und vor eindringendem Wasser schützt. Ein Be- und Entlüftungsventil mit Doppelfunktion ist eingebaut, um Änderungen des Umgebungsdrucks auszugleichen und das Entweichen von Gasen im Falle einer Entlüftung der Zellen zu ermöglichen. Die Zellen sollten aufgrund des fehlenden Metalloxids an der Kathode nicht thermisch durchgehen können. Wenn der Elektrolyt jedoch überhitzt wird, kann er verdampfen, was ein Entlüftungsventil erforderlich macht.

Parameter	Einheiten	Elektromoped
Kapazität des Packs	kWh	0,5
Spannung max.	V	58
Spannung min.	V	38
Ausgangsleistung	kW	1,5
Ladeleistung	kW	20
Ladezeit	s	90
Gewicht der Zelle	kg	9,5
Konfiguration	–	18S-4P

Tabelle 1: Spezifikationen des E-Moped-Akkupacks

© Mahle

Konzept für ein E-Moped-Ladesystem

Zur Ergänzung der Batteriespezifikation der 60-V-E-Moped-Anwendung wurde das Ladesystem untersucht, das erforderlich ist, um das schnelle Aufladen einer kleinen Fahrzeugflotte über eine Haushaltssteckdose zu ermöglichen. Das Ladesystem enthält einen eingebauten Energiespeicher, der die Lithium-Ionen-Kondensator-Technologie von Allotrope für eine außerordentlich lange Lebensdauer nutzt. Dadurch kann das Fahrzeug mit einer Leistung von bis zu 20 kW aufgeladen werden, die erforderlich ist, um die angestrebte Ladezeit von 90 s zu erreichen, und zwar mit einer Haushaltsstromversorgung von 7 kW.

Damit eine kleine Fahrzeugflotte in angemessenen Abständen aufgeladen werden kann, wurde ein 3-kWh-Energiespeicher in das Design des Ladesystems integriert. Dadurch ist eine kostenintensive Aufrüstung des Stromnetz-

systems überflüssig. Das System sollte mit einem typischen einphasigen 7-kW-Anschluss betrieben werden können, der in den meisten Gewerbe- und Industriegebäuden üblich und in den Hausnetzen verfügbar ist. Die elektrische Konfiguration des Ladegeräts wurde auf einem hohen Niveau analysiert. Das daraus resultierende Konzept ist in **Bild 3** dargestellt und bietet die Möglichkeit, die Ladung sowohl von der internen Batterie im Ladegerät als auch vom Stromnetz zu beziehen.

Kleinere Batteriepacks

Mahle Powertrain hat einen potenziell wertvollen technologischen Ansatz für das Batteriedesign im städtischen Lieferverkehr untersucht. Der Einsatz einer ultraschnellen Batteriezellentechnologie, wie sie von Allotrope Energy vorgeschlagen wird, ermöglicht ein erhebliches Downsizing von Batteriepacks durch schnelles und häufiges nutzenoptimiertes Aufladen, wodurch kleinere

und billigere Batteriepacks möglich werden, die den Einsatz seltener Materialien minimieren und gleichzeitig eine schnellere Einführung sauberer Technologien in Stadtzentren ermöglichen. ■ (eck)

www.mahle.com



Dr. Michael Bassett leitet die Forschungsabteilung bei Mahle Powertrain in Northampton, Großbritannien. © Mahle



Jonathan Hall ist seit 2000 bei Mahle Powertrain, wo er im Bereich Antriebsstrangs und Forschung & Entwicklung tätig ist. © Mahle



Dr. Peter Wilson ist Technical Director bei Allotrope Energy. © Allotrope Energy

PFLITSCH
Passion for the best solution

Sehen Sie bei unsicheren Hochvolt-Bordnetzen rot?

Elektromagnetische Felder und mangelnde Stromtragfähigkeit sind eine ernste Gefahr für Hochvolt-Bordnetze in Nutzfahrzeugen mit alternativem Antrieb. **PFLITSCH** bietet hierfür einen sicheren lückenlosen Schutz: Mit der speziellen EMV Lösung, wie der **blueglobe TRI Kabelverschraubung**.

Darauf geben wir Ihnen unser PFLITSCH GUARD Versprechen!

Mehr Infos über unsere Lösungen, die die E-Mobilität sicher auf Touren bringen, unter www.emobility-pflitsch.com