

# Forschung und Fachkräfte für zukunftsfähige Batteriefabriken

Interview mit Prof. Dr.-ing Arno Kwade zur Eröffnung des CircularLabs der Battery Labfactory in Braunschweig



## Keywords

- Interview, Batterien
- Battery Labfactory
- Batterierecycling
- CircularLabs
- Forschung

Ein Leuchtturm der Forschung zur Batterieproduktion und zum Batterierecycling ist die Battery Labfactory Braunschweig (BLB). Das Forschungszentrum wurde nun um ein drittes Technikum erweitert, das CircularLab, dessen Schwerpunkt das mechanische Recycling von wertvollen Batteriematerialien wie Kobalt, Lithium, Nickel und Kupfer ist. Im Interview mit CITplus stellt der Vorsitzende der BLB, Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, die wichtigen Forschungsaufgaben dar und betont dabei, dass in deutschen Forschungszentren wichtiges Know-how entsteht und unverzichtbare Fachkräfte für zukunftsfähige und im Wettbewerb überlegene Batteriefabriken ausgebildet werden.

**CITplus: Herr Prof. Kwade, der Forschungs-komplex Battery Labfactory Braunschweig (BLB) besteht mit der Eröffnung des CircularLab aus drei Einrichtungen. Welche Forschungsschwerpunkte verfolgen Sie mit der BLB, welchen Stellenwert hat das CircularLab und wie nah sind Sie mit Ihren Arbeiten an industriellen Lösung?**

**Prof. Dr. Arno Kwade:** Das Forschungszentrum BLB der TU Braunschweig bündelt die Kompetenzen und Ressourcen von Instituten der TU Braunschweig, der TU Clausthal, der Leibniz Universität Hannover, des Fraunhofer Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik sowie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Die Forschung in der BLB fokussiert auf die nachhaltige Kreislaufproduktion unterschiedlicher Batteriegenerationen, von aktuellen Lithium-Ionen-Batterien bis zu zukünftigen Batteriegenerationen wie Natrium-Ionen-, Festkörper- und Lithium-Schwefel-Batterien. Entlang des gesamten Kreislaufes werden skalierfähige Technologien erforscht, mit denen der CO<sub>2</sub>-Rucksack von Batterien erheblich reduziert werden kann. Im Zentrum der BLB stehen transdisziplinäre Forschungsplattformen für die Entwicklung von Produktions- und Recyclingprozessen sowie Diagnose- und Simulationsmethoden. Das Forschungsspektrum umfasst den gesamten Wertschöpfungskreislauf von der Material- und Elektrodenherstellung über die Zellfertigung und Systemintegration sowie das Nutzungsverhalten der Batteriezellen bis

zum Recycling von Produktionsausschuss und gealterten Batteriezellen sowie zur Resynthese der Aktivmaterialien, um die Wertstoffe in den Kreislauf zurückzuführen.

Mit dem neuen CircularLab, unser drittes JointLab neben dem ProductionLab mit großem Trockenraum und dem DiagnosisLab zur Post Mortem-Analyse von gealterten Batteriesystemen, das mechanische Recycling von Batteriemodulen und die erneute Verarbeitung der Batteriematerialien über Misch-, Beschichtungs-, Trocknungs- und Kalandrierprozesse zu Elektroden im kleinindustriellen Maßstab erforscht wird.

Herzstück des CircularLabs ist die neue innovative Pilotanlage zum mechanischen Recycling ganzer Batteriemodule (Chargen bis 200 kg), mit der entladene und kurzgeschlossene Batteriemodule aus gealterten Traktionsbatterien von E-Autos auch ohne weitere Vorbehand-

lung unter Wiedergewinnung von Elektrolytbestandteilen mechanisch aufbereitet werden können. Mit ihrer Hilfe werden in gemeinsamen

**Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade,**  
Institutsleiter IPAT,  
Vorstandssprecher der  
Battery LabFactory  
Braunschweig (BLB) und  
des Zentrums für Pharma-  
verfahrenstechnik (PVZ),  
TU Braunschweig





Bilder © TU Braunschweig

Insgesamt stehen in der BLB rund 1.250 m<sup>2</sup> Hauptnutzfläche zur Verfügung.

Projekten mit Industriepartnern bereits Batterien zu Schwarzmasse zerkleinert. Zudem wird der Einsatz sehr energieeffizienter neuer Trocknungsverfahren bis hin zur vollständig lösungsmittelfreien Elektrodenherstellung entwickelt und untersucht. Übergreifend forschen wir an der intelligenten Automatisierung von Batteriezell-, Produktions- und Recyclinglinien, an der Produktverfolgung entlang der Entstehungskette sowie der Qualitätssicherung.

**Wie schätzen Sie den Forschungsstandort im internationalen Wettbewerb ein? Und wird die Forschung in Deutschland einen signifikanten Beitrag leisten können, um aus den Ergebnissen Wettbewerbsvorteile für industrielle Anlagen aus Produktionsketten in Europa und Deutschland zu ziehen?**

**A. Kwade:** In den mittlerweile 15 Jahren, in denen ich im Batteriebereich aktiv bin, ist in Deutschland und Europa sehr viel passiert und wir haben auf der Forschungsseite zu bislang führenden Nationen aufgeschlossen. Sichtbare Kennzeichen dieses Erfolgs sind, dass deutsche Batterieforscher- und Forscherinnen zu den weltweit am meisten zitierten Autoren gehören und zu hochkarätigen Artikeln in Nature-Journals eingeladen werden sowie asiatische wie amerikanische Unternehmen signifikante Kooperationen mit deutschen und europäischen Instituten aufbauen wollen.

Weltweit einzigartig ist die Batterie-Produktionsforschung an deutschen Universitäten – während in anderen Ländern diese Forschung nahezu ausschließlich von einer oder

zwei großen staatlichen Forschungseinrichtungen getragen wird, haben wir in Deutschland ein einzigartiges universitäres Ökosystem im Bereich der Batteriezellproduktion geschaffen. Dieses Ökosystem bringt nicht nur zahlreiche zukunftssträchtige Innovationen hervor, sondern in erheblichem Maße Fachkräfte, die heute schon das Rückgrat der sich dynamisch entwickelnden deutschen und europäischen Batterieindustrie einschließlich Materialproduktion, Maschinen- und Anlagenbau sowie Recycling sind. Durch diese konsequente Forschungsförderung, die auch mindestens bis zum Ende dieses Jahrzehnts sehr zentral sein wird, sind wir heute in der Lage, wettbewerbsfähig Batteriezellen zu produzieren und Anlagen mit geringen operating expenses (OpEx) zu bauen. Was uns derzeit fehlt, ist die Erfahrung mit der Massenproduktion – es ist die zentrale Aufgabe der kommenden Jahre, durch die ausgezeichnete Forschungslandschaft und Fachkräfteausbildung auch hierin industrielle Maßstäbe zu setzen. Parallel entwickeln wir in den deutschen Forschungseinrichtungen die Technologien für morgen, um Wettbewerbsvorteile bei der Produktion von Festkörperbatterien oder anderen neuen Batteriegenerationen aufzubauen.

**Um welche Rohstoffe geht es beim Batterierecycling und was sind die wichtigsten Forschungsaufträge für das CircularLab?**

**A. Kwade:** Aus Sicht der Resilienz der Lieferketten und damit einer hinsichtlich der Versorgungssicherheit stabilen deutschen Batterie-

industrie sind nahezu alle in den Batterien enthaltenen Materialien und Rohstoffe relevant. Dies wird auch durch die europäische Batterieverordnung gestützt, nachdem mindestens 70 % der Materialien eines Batteriesystems zurückgewonnen werden müssen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf Lithium und den Übergangsmetallen Nickel, Kobalt und Kupfer – gerade letztere sollen nach der neuen EU-Verordnung zu 95 % wiedergewonnen werden und besitzen auch heute schon ein hohes wirtschaftliches Potenzial. Um unabhängiger von China und anderen Rohstoffproduzenten zu werden und die insgesamt hohen Rückgewinnungsquoten zu erzielen, sollte aber auch Graphit energieeffizient recycelt werden. Zudem rückt vermehrt auch die Rückgewinnung der Elektrolytbestandteile in den Fokus.

Im CircularLab erforschen wir daher insbesondere, wie neben den genannten Übergangsmetallen Lithium, Graphit und Elektrolytbestandteile möglichst energieeffizient mit hohen Recyclingquoten zurückgewonnen werden können. Ein besonderer Fokus ist hierbei das direkte Recycling, das heißt die Wiedergewinnung der Aktivmaterialien ohne deren Zerlegung in die einzelnen Elemente wie Lithium, Nickel und Kobalt. Bei allen Recyclingprozessen richten wir ein besonderes Augenmerk auf mögliche Verunreinigungen – bislang ist wenig darüber bekannt, wie mit dem Recycling verbundene Verunreinigungen die Rekonditionierung und Resynthese der Aktivmaterialien und schließlich deren Performance in neuen Batteriezellen bestimmen, insbesondere auch

bei mehrfacher Kreislaufführung. Hier besteht größere Unsicherheit in der Industrie, sodass dies eine wichtige Forschungsfrage im CircularLab ist.

Persönlich halte ich bei heutigen Batteriezellen mit höherem Kobaltanteil das sofortige Recycling für am sinnvollsten, während Batteriezellen ohne Kobalt und Nickel einer Zweitanwendung zugeführt werden sollten. Mit dem zurückgewonnenen Kobalt und Nickel können dann Aktivmaterialien synthetisiert werden, die eine um bis zu über 50 % höhere Energiedichte aufweisen als die ursprünglichen Aktivmaterialien, sodass mit weniger Material deutlich höhere Energiemengen gespeichert werden können. Die aktuell in den Markt kommenden Kathodenmaterialien sind jetzt aber schon soweit ausentwickelt, dass nur noch wenig Verbesserungspotential besteht und der Einsatz in einer Zweitanwendung vor dem Recycling im Sinne der Nachhaltigkeit geboten erscheint, insbesondere auch in Fahrzeugen.

**Ist das Recycling nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch sinnvoll? Wird es Leistungseinschränkungen zum Beispiel auch bei der Performance und der Lebensdauer der Rezyklat-Batterien geben und wo werden diese wieder eingesetzt? Welche Voraussetzungen müssen für das Recycling geschaffen werden und welches sind die technischen Hürden?**

**A. Kwade:** Das Recycling ist bei hohen Anteilen insbesondere von Kobalt, aber auch Nickel und Kupfer heute schon ökonomisch interessant – schließlich ist es viel einfacher, diese Metalle aus den Altbatterien zurückzugewinnen als aus Erzen, die aufwendig abgebaut und aufbereitet werden müssen, um schließlich die nur in sehr geringen Anteilen im Erz vorliegenden Metalle zu erhalten.

Bei vollständiger Aufbereitung der Altbatterien bis auf Elementebene und entsprechender Aufreinigung der Metalle wie bei heutigen Primärmaterialien wird es keinerlei Einschränkungen bei der Performance und Lebensdauer geben. Dementsprechend stehen diesen Batteriezellen alle Anwendungen offen. Noch unklar ist aber, inwieweit sich bei nicht vollständiger Zerlegung und Aufreinigung bis zum im Extremfall direkten Recycling und damit deutlich reduzierten apparativem und energetischem Aufwand Einschränkungen in der Performance und Lebensdauer einstellen. Genau dies ist eine zentrale Fragestellung, der wir im CircularLab nachgehen.

Wichtige Voraussetzung für das Recycling sind ein effizientes Sammelsystem, fortschrittliche Trenn- und Verarbeitungstechnologien sowie Methoden zur Qualitätskontrolle der recycelten Materialien. Das Einsammeln aller Lithium-Ionen-Batterien nach dem Nut-



„*Was uns derzeit fehlt, ist die Erfahrung mit der Massenproduktion – es ist die zentrale Aufgabe der kommenden Jahre, durch die ausgezeichnete Forschungslandschaft und Fachkräfteausbildung auch hierin industrielle Maßstäbe zu setzen.*“

zungsende hört sich trivial an, ist aber durchaus eine große Herausforderung. Während es bei Traktionsbatterien von E-Fahrzeugen noch vergleichsweise gut machbar ist – wobei hier der Export alter Fahrzeuge eine größere Herausforderung darstellt – ist dies für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrokleingeräten schon deutlich schwieriger. Fatal ist es, wenn Lithium-Ionen-Batterien mit dem Hausmüll entsorgt werden – dadurch gehen nicht nur wertvolle Ressourcen verloren, sondern die Batterien bilden auch ein großes Gefährdungspotenzial für die Hausmüllaufbereitung. In den letzten Jahren sind schon mehrere schwere Brände in Hausmüllaufbereitungsanlagen durch Lithium-Ionen-Batterien verursacht worden. Zudem ist es für ein effizientes Recycling wichtig, dass die Inhaltsstoffe der Batteriezellen bei der Annahme im Recyclingbetrieb bekannt sind. Hierfür wird auf europäischer Ebene mit starker Unterstützung deutscher Organisationen derzeit der elektronische Batteriepass entwickelt. Mittel- bis langfristig sollten die Recyclingprozesse auf die unterschiedlichen Batteriechemien maßgeschneidert werden, um bestmögliche Recyclingquoten bei minimalem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu erhalten. Dies gilt umso mehr, wenn auch zukünftige Batteriegenerationen ohne Flüssigelektrolyt in das Recycling gelangen.

**Wo sehen Sie in der industriellen Produktion der Elektroden und Zellen am meisten Optimierungspotenzial? Welches sind**

**die energieintensivsten Schritte? Sind hohe Energiepreise ein Standortnachteil für Deutschland für den Aufbau von Zell- und Batteriefabriken?**

**A. Kwade:** Größere Optimierungspotenziale bestehen noch bei der Materialeffizienz, insbesondere der Reduzierung von Produktionsausschuss und von Hilfsstoffmengen, sowie der Energieeffizienz. In einer heutigen Massenproduktion von Batteriezellen machen die Materialien über 70 % der Kosten und auch über 70 % des CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der produzierten Zelle aus. Dies unterstreicht die große Bedeutung, durch eine hohe Automatisierung, in- und online Messungen sowie robuste Prozesstechniken den Produktionsausschuss auf wenige Prozent zu senken, nachdem heute mitunter von Ausschussraten in Höhe von deutlich über 10 % berichtet wird.

Ein hinsichtlich Material- und Energieeffizienz kritischer Prozess ist die Herstellung der aktiven Elektroden-schichten. Heute wird dies über nasse Beschichtungsverfahren mit anschließend über 50 m, meist über 80 m langen Trocknern erreicht, mit denen die eingesetzten und häufig wieder zurückzugewinnenden Lösungsmittel unter Einsatz beträchtlicher Energiemengen aus den Partikelschichten entfernt werden müssen. Untersuchungen zeigen, dass etwa 40 % des Energieeinsatzes bei der Zellproduktion der Elektroden-trocknung zuzuordnen ist. Durch die Reduzierung des Lösungsmittelanteils über die Verarbeitung hochkonzentrierter Elektrodenpasten oder Entwicklung sogenannter Semi-Trockenbeschichtungsverfahren kann der Hilfsstoff- und Energieeinsatz schon deutlich gesenkt werden. Eine Minimierung des Material- und Energieaufwandes versprechen Trockenbeschichtungsverfahren, die heute allerdings noch deutliche Einschränkungen bei der Wahl des Binders zur Realisierung ausreichend stabiler Elektroden-schichten aufweisen und prozesstechnisch für eine stabile Massenproduktion noch weiter zu entwickeln sind. Neben der Trocknung ist die Bereitstellung trockener Luft für die Zellassemblierung ein weiterer wichtiger Optimierungsbereich – hier kann vor allem durch wasserunempfindliches Materialdesign und simulationsbasierte Auslegung von Trockenräumen höheren Energieaufwänden entgegengesteuert werden. Aus dem Wechselspiel zwischen neuen Materialien und Prozessen ergeben sich zudem an vielen Stellen neue Herausforderungen. Der Trend zu Kathodenaktivmaterialien mit steigendem Nickelanteil, die empfindlicher gegenüber Feuchtigkeit sind, oder die zunehmende Integration von Silizium als Anodenmaterial sind hier aktuelle Beispiele.

Grundsätzlich sind hohe Energiekosten nicht von Vorteil für den Batterieproduktionsstandort Deutschland. Allerdings machen die

Energiekosten nur etwa 5 % der Gesamtkosten aus, nach Abzug der Materialkosten aber etwa 20 % der verbleibenden und vom Batteriezellhersteller direkt beeinflussbaren Kosten. Entscheidend ist daher, dass zum einen die Materialeffizienz durch im weltweiten Vergleich geringen Ausschuss und effizientes direktes Recycling des verbleibenden Ausschusses vergleichsweise hoch ist, um Nachteile bei den Energiekosten zu kompensieren. Hierfür ist ein fachkundiges Personal und die zukunftsweisende Auslegung der Zellfabriken erforderlich, insbesondere durch Einsatz überlegener europäischer Technologie. Auf der anderen Seite kann diesem Nachteil auch durch Einsatz der schon oben beschriebenen energieeffizienten Verfahren entgegengewirkt werden. Nicht zuletzt sollten die Zellfabriken eigenen Strom aus langfristig gesehen günstigen nachhaltigen Energiequellen wie Wind und Sonne nutzen.

**Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit sind wichtige Ziele der industriellen Produktion. Welche anderen Forschungsfragen stellen Sie sich neben dem Recycling in der Battery Labfactory noch, um diesen Zielen näher zu kommen?**

**A. Kwade:** Ein wichtiges Forschungsthema ist neben den geschlossenen Materialkreisläufen wie vorher schon erläutert die signifikante Steigerung der Material- und Energieeffizienz, unter anderem durch die Minimierung des Produktionsausschusses. Hierfür ist eine weitgehende Digitalisierung der Produktionsanlagen und ein sehr tiefes und genaues Verständnis der Wirkung der unterschiedlichen Prozess- und Materialparameter erforderlich. Entsprechend arbeiten wir mit Partnern an Industrie 4.0-Lösungen

für die Batteriezellproduktion, insbesondere auch neuartigen in- und on-line Messverfahren sowie simulationsgestützten Anlagensteuerungen. Über die Simulation der kompletten Prozesskette und der unter den eingestellten Bedingungen jeweils hergestellten Batteriezellen können virtuell die besten Prozesseinstellungen identifiziert und auch in Realtime die Prozesse optimal geregelt werden. Daneben ist die Entwicklung von neuen Prozesstechnologien wie der Semi-trocken- und der Trockenbeschichtung und neuen kontinuierlichen Assemblierungsverfahren ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschung an der BLB. Wichtig ist hierbei immer, dass wir die Technologien am Ende auch in einem industrienahen Maßstab – mindestens TRL 5, möglichst aber TRL 6 bis 7 – demonstrieren.

Ein weiterer Fokus liegt auf der immer stärkeren Diversifizierung von Batterien für verschiedene Anforderungen. In Zukunft sind Batteriezellen für die verschiedenen Anwendungen hinsichtlich Material- und Prozessdesign zunehmend maß zu schneiden – zum Beispiel über den Einsatz von Festelektrolyten – und gleichzeitig die Kosten gering zu halten.

Auf der anderen Seite geht es heute nicht mehr allein darum, Zellen mit bestmöglicher Performance zu entwickeln und zu produzieren, sondern insbesondere auch kostengünstige und sehr sichere Zellen mit minimalen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Wenn diese Zellen dann noch sehr schnell aufgeladen werden können und damit bei E-Fahrzeugen längere Reichweiten über kurze Ladezeiten akzeptabel ermöglicht werden, werden insgesamt Ressourcen geschont und die Nachhaltigkeit gesteigert. Damit rücken heute insbesondere Lithium-Ionen-Batteriezellen

„*Fachkundiges Personal und die zukunftsweisende Auslegung der Zellfabriken, insbesondere durch Einsatz überlegener europäischer Technologie, kann den Standort wettbewerbsfähig machen.*“

auf Basis von Lithiumeisenphosphat oder auch Natrium-Ionen-Batterien in den Fokus.

**Im Zentrum der Forschung steht das Lithium-Ionen-Batterie-System. Arbeiten Sie auch an anderen Batteriesystemen und Anwendungen außerhalb der E-Mobilität, zum Beispiel stationäre Energiespeichersysteme?**

**A. Kwade:** Zunehmend werden an der BLB und dem im Aufbau befindlichen Schwesterzentrum für die zirkuläre Produktion der nächsten Batterie- und Brennstoffzellengenerationen (CPC) auch Batterietechnologien betrachtet, die vor allem bei Anwendungen außerhalb der E-Mobilität zum Einsatz kommen dürften. Bei preisgünstigen Batterien sind dies Natrium-Ionen-Batterien und auch Metall-Schwefel-Batterien. Während Natrium-Ionen-Batterien wegen ihrer geringen gravimetrischen wie volumetrischen Energiedichte vor allem auch für stationäre Energiespeicher und Anwendungen in Flurförderfahrzeugen oder auch Lastkraftwagen und Lokomotiven interessant sind, besitzen Lithium-Schwefel-Batterien aufgrund ihrer potenziell großen spezifischen Energie, also Energie pro Gewicht, hohe Relevanz für die Luftfahrt. Aber wir arbeiten auch an Energiespeichern wie Redox-Flow-Batterien und Metall-Luft-Batterien, die auf ganz anderen Rohstoffen wie Zink beruhen oder Elektrolytlösungen besitzen, die auf Wasser basieren und kaum entflammbar sind. Redox-Flow-Batterien besitzen bei stationären Anwendungen den Vorteil, dass elektrische Leistung und Energiespeicherkapazität voneinander entkoppelt sind, da bei gleicher elektrischer Leistung die Energiemenge durch die Vergrößerung der Tanks sehr kosteneffizient vergrößert werden kann.

Das Interview führte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Wiley Online Library



Technische Universität Braunschweig  
Battery LabFactory Braunschweig, Braunschweig  
Tel.: +49 531 391-94663 · blb@tu-braunschweig.de  
www.tu-braunschweig.de/blb



© Christian Bierwagen/TU Braunschweig

Das Forschungsspektrum umfasst den gesamten Wertschöpfungskreislauf von der Material- und Elektrodenherstellung über die Zellfertigung bis hin zur Systemintegration und zum Recycling zur Schließung des Materialkreislaufes.