



Transformations-HUB
Wertschöpfungskette
Batterie

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wissenschaft hautnah

TraWeBa Summary Briefing Q3/2026

Ansprechpartner Projekt TraWeBa

ACOD GmbH
August-Bebel-Str. 73 | 04275 Leipzig
Tel.: +49 (0) 341 9939 3884
E-Mail: info@traweba.de

Ansprechpartner TraWeBa Summary Briefing

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Str. 48 | 76139 Karlsruhe
Ansprechpartner: Maximilian Stephan
E-Mail: maximilian.stephan@isi.fraunhofer.de

Disclaimer

Dieses Summary Briefing basiert auf Inhalten aus im Sommer 2026 durchgeführten Experteninterviews zu Themen entlang der Batterie-Wertschöpfungskette, insbesondere mit der Perspektive aus Forschung und Wissenschaft. Die Zusammenfassung dient der Kommunikation aktueller Trends und Entwicklungen der Batterieforschung sowie der Identifikation von Gelingensfaktoren (*Enabler*) für den Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie.

Die Aussagen und Meinungen in den Interviews spiegeln die Sicht der interviewten Experten wider. Wir bedanken uns bei den Experten sehr für ihre Zeit und die wertvollen Eindrücke.

Inhalt

Disclaimer	3
Zusammenfassung	5
Aktuelle Themen in der Batterieforschung	5
Spannende Themen für KMUs	6
Enabler für den Wissenstransfer	7
Perspektiven aus der Wissenschaft	8
Interview mit Prof. Dr. Simon Lux zum Status-Quo im Batterie-Ökosystem	8
Interview mit Prof. Dr.-Ing. Sabrina Zellmer zur Batterieproduktion und Transfer-Netzwerke	13
Interview mit Dr. Andreas Flegler zum Direct Recycling und einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft	19
Literatur	25

Zusammenfassung

Unsere „Wissenschaft Hautnah“-Einblicke zeigen eine industrienaher Batterieforschung, die sich immer stärker an konkreten Anwendungen, Kosten, Nachhaltigkeit und industrieller Umsetzbarkeit orientiert. Neben der Weiterentwicklung etablierter Lithium-Ionen-Technologien gewinnen neue Zellchemien, flexible Produktionsprozesse, Kreislaufwirtschaft sowie ein übergreifendes Daten- und Qualitätsmanagement an Bedeutung.

Für KMUs ergeben sich insbesondere dort Chancen, wo bestehende Kompetenzen aus Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Sensorik, Automatisierung oder Digitalisierung auf Herausforderungen der Batterieproduktion und des Recyclings übertragen werden können. Umso wichtiger ist es, dass Forschung und Industrie in ein Gespräch kommen und den Ideenaustausch gemeinsam forcieren, um diese Wissensbasis kontinuierlich auszubauen und auf neue Technologien und Entwicklungen zu übertragen.

Aktuelle Themen in der Batterieforschung

Eine zunehmende Diversifizierung der Batteriechemie und -technologie zeichnet sich ab. Je nach Anwendung und Einsatz werden unterschiedliche Chemien, Zellformate und damit Produktionsverfahren benötigt. Neben NMC- und LFP-Zellen rücken insbesondere Natrium-Ionen-Batterien in den Fokus der Forschung und dem industriellen Angebot. Aber auch Kalium-Ionen-Systeme werden bereits als weitere Entwicklungsoption untersucht, genauso wie Siliziumanoden bei der LIB und Festkörperbatterien für High-End-Anwendungen und deren Anforderungen.

Neben der Erhöhung der Energiedichte in der Forschung zur LIB zählen heute als zentrale KPI auch Kosten, Lebensdauer, Sicherheit und Nachhaltigkeit gleichermaßen. Die Produktion selbst wird zu einem wesentlichen Forschungsthema, besonders auch die Skalierung von FuE-Entwicklungen in die industrielle Umsetzung. Dazu gehören unter anderem Weiterentwicklungen bei der Beschichtung, Kalandrieren, im Materialhandling sowie bei der Sensorik und Automatisierung im Produktionsprozess.

Direct Recycling gewinnt insbesondere für Produktionsrückstände sowie für LFP- und perspektivisch Natrium-Ionen-Batterien, sogenannte low-value Batteriechemien, zunehmend an Relevanz. Bei End-of-Life-NMC-Batterien wird die Hydrometallurgie dagegen weiterhin als wichtiger Weg gesehen, auch hierzu laufen weiterhin Forschungsaktivitäten insbesondere mit Blick auf die Skalierung. Sehr wichtig wird dabei auch die systemische Betrachtung, also die Verbindung von Recycling, Produktentwicklung, und Produktion. Materialien, Binder, Klebstoffe und Zelldesign sollten künftig stärker so gestaltet werden, dass Batterien am Ende ihres Lebenszyklus besser zerlegt und hochwertige Materialien erneut genutzt werden können.

Wichtige Trends, die in den Interviews genannt wurden, sind u.a.

- **Diversifizierung der Zellchemien** statt einer singulären technologischen Disruption
- **Anwendungsbezogene Zellkonzepte** mit unterschiedlichen Anforderungen an Kosten, Leistung, Lebensdauer und Sicherheit, und dennoch mehreren zentralen KPIs
- **Produktivitätssteigerung in der Zellfertigung** durch energieeffiziente, flexible und robuste Prozesse mit wenig Ausschuss, kurzen Durchlaufzeiten
- **Direct Recycling und Design-for-Recycling** als zentrale Bausteine einer zirkulären Batterie-Wertschöpfung
- **Digitalisierung, Sensorik und Datenmanagement** für Qualitätskontrolle und Rückverfolgbarkeit
- **KI als Werkzeug** zur Erkennung von Abweichungen und Korrelationen, ergänzt durch Fachkräfte-Wissen.

Spannende Themen für KMUs

Besonders spannend für KMUs sind Beobachtungen der Batterieforschung zufolge spezialisierte Lösungen entlang der Wertschöpfungskette. Von einzelnen Produktionsschritten über Prüf- und Messtechnik bis hin zu Anlagen-Knowhow im Recycling, dem Datenmanagement und der Verbesserung der Energieeffizienz in Prozesstechnologien – Themen also, die generell in der verarbeitenden Industrie von hoher Relevanz sind. Viele Unternehmen verfügen bereits über Technologien, die sich auf Batterieanwendungen übertragen lassen, etwa aus dem Maschinenbau, der Partikeltechnik, der Pharmaindustrie, der Automobilzulieferindustrie oder der Prozessautomation.

Besonders relevant sind Lösungen, die die Batterieproduktion effizienter, flexibler und transparenter machen. Dazu zählen beispielsweise Anlagen- und Prozesslösungen für Beschichtung, Materialtransport, Reinigung und Entschichtung, Trockenraummanagement, Qualitätsprüfung, automatisierte Analytik oder die Sortierung von Batterien nach Zellchemie im Recyclingprozess. Auch mit Blick auf den Batteriepass und steigende Nachweis- und Zertifizierungspflichten entstehen Bedarfe beim Tracking, der Datenbereitstellung und einer Traceability von der Produktion bis zum End of Life.

Interessante Ansatzpunkte, die in den Interviews genannt wurden, sind u.a.

- **Prozess- und Produktionsoptimierung**, um Ausschuss zu minimieren, Durchlaufzeiten zu verkürzen, zum Energie sparen und Flächen effizienter zu nutzen
- **Flexibilität** bei Maschinen- und Anlagenkonzepten (insbesondere mit dem Verweis auf die zunehmende Diversifizierung der Batterietechnologie)
- **Sensorik, Testing und Qualitätskontrolle**, möglichst früh im Prozess erfassen und Abweichungen automatisiert erkennen
- **Digitalisierung und Batteriepass**, insbesondere Daten bereitstellen und nutzbar machen (z.B. im Re-X)
- **Recyclingtechnologien** und Lösungen für Demontage, Sortierung, Zellöffnung, Entschichtung, Stoffstromtrennung und die Aufbereitung von Produktionsrückständen
- **Nachhaltigkeit und Energieeffizienz** verbessern durch neue Technologielösungen etwa zu Prozesswärme, Materialverluste und CO₂-Emissionen
- **Übertragung bestehender Technologien**, bereits etablierte Maschinen, Technologiekonzepte oder Verfahren könn(t)en für Batterieanwendungen qualifiziert und entsprechend angepasst werden.

Ein belastbarer Wissensaufbau gilt als Voraussetzung für einen Einstieg in die Batterieindustrie. Unternehmen sollten das eigene Kompetenzprofil mit konkreten Anforderungen der Batteriebranche abgleichen, beispielsweise indem eine fachkundige Person im Team aufgebaut oder gewonnen wird sowie die eigene Differenzierung im Markt klar bestimmt wird. Investitionen allein auf Basis eines allgemeinen Batterie-Trends (z.B. Markthochlauf E-Mobilität) bergen dagegen Risiken, insbesondere im internationalen Wettbewerb.

Enabler für den Wissenstransfer

Wissenstransfer gelingt nach Einschätzung der Interviewten vor allem über Netzwerke, persönliche Kontakte und gemeinsame praktische Arbeit. KMUs benötigen Zugang zu Personen und Einrichtungen, die die technischen Zusammenhänge entlang der gesamten Prozesskette im Detail verstehen. Umgekehrt müssen Forschungseinrichtungen die konkreten Herausforderungen und Kompetenzen der Unternehmen kennen.

Um das „Batterie-Wissen“ in Deutschland gerade für KMUs greifbarer zu machen, gibt es unterschiedliche Angebote und Formate, die durch die Akteure genutzt werden können, u.a.

- Niedrigschwellige **Austausch**formate,
- **offene** Lern- und Testumgebungen,
- **Netzwerke** und Transferzentren,
- regionale sowie bundeslandübergreifende **Communities**,
- Batterielernfabriken, die „hands on“ **Lernen** ermöglichen,
- (Fach-) Konferenzen, die zunehmend auch **Industrie und Forschung zusammenbringen**.

Erfahrungen in der Batterieforschung zeigen, dass es Unternehmen durch gemeinsame Demonstratoren ermöglicht wird, Prozesse besser im Zusammenhang der Batterieproduktion oder im Recycling zu verstehen und eigene Technologien realitätsnah zu testen. Dazu braucht es aber immer beides – den Mut, Dinge einfach mal auszuprobieren, sowie eine Forschung und Infrastruktur, Technologien und Demonstratoren niedrigschwellig für den Einsatz evaluieren zu können.

Perspektiven aus der Wissenschaft

Interview mit Prof. Dr. Simon Lux zum Status-Quo im Batterie- Ökosystem

Bitte stellen Sie sich kurz vor. Wie sind Sie zur Batterieforschung gekommen?

Mein Name ist Simon Lux¹, ich bin Professor an der Universität Münster und einer der beiden Institutsleiter der Fraunhofer Forschungsfertigung Batteriezelle FFB hier in Münster. Mein Hintergrund in der Batterieforschung reicht bis 2004 mit dem Studium in Graz zurück. Daraus ergab sich, dass ich 2008 mit Professor Martin Winter nach Münster ging und dort promovierte. Nach der Promotion wechselte ich ans Lawrence Berkeley National Laboratory in den USA, wo ich in verschiedenen Projekten der US-Regierung an kobaltfreien Kathodenmaterialien arbeitete. Anschließend ging ich in die Industrie und war einige Jahre bei BMW North America, zunächst als Advanced Technology Scout. Dort baute ich eine kleine Gruppe auf, die Technologien von US-Start-ups für BMW erschloss und in die Hauptentwicklung nach München transferierte. Nach dreieinhalb Jahren war es an der Zeit, mein Wissen direkt in die Serienentwicklung nach München zu bringen. So kam ich selbst nach München und übernahm bei der BMW AG in Deutschland verschiedene Aufgaben; zuletzt war ich mitverantwortlich für die Sicherheitsentwicklung der Hochvoltspeicher bei mehreren Gen-4-Produkten und beschäftigte mich damit, wie man Hochenergiezellen sicher in Fahrzeuge und Fahrzeugspeicher integriert. Seit vier Jahren bin ich nun als Professor an der Universität und hier an der FFB in Münster.

Zur Batterieforschung bin ich gekommen, weil ich 2004 in Graz meine erste Batteriezelle auf Basis einer Varta-Technologie gebaut habe. Der iPod war damals neu und hatte eine Batteriezelle aus Ellwangen

verbaut; über eine Kooperation mit Varta konnten wir als Studenten solche Zellen selbst bauen. Mich hat fasziniert, wie man aus einfachen Materialien durch Beschichtung, Zellaufbau und Befüllung mit Elektrolyten tatsächlich zu einem funktionierenden System, einer Batterie, kommt. Die Batterie lässt mich also seit 2004 nicht mehr los.

Sie sind durch die Professur und der Rolle an der FFB sowohl in der Wissenschaft als auch in der anwendungsnahen Entwicklung unterwegs. Was sind in der jüngeren Vergangenheit spannende Entwicklungen bei der Batterietechnologie?

Ein wichtiger Punkt ist sicherlich; die Diversifizierung der Energiespeichertechnologien nimmt zu, das war vor einigen Jahren noch unvorstellbar. Früher dominierte NMC als Kathodenmaterial und etwas LFP, dann kam LFP stark auf, und jetzt wird die Natrium-Ionen-Technologie kommerzialisiert, wenn auch in frühem Stadium. Fast täglich erscheinen neue Ergebnisse zu Speichertechnologien wie etwa Kalium-Ionen. Diese Diversifizierung findet nicht nur auf akademischem Niveau statt, sondern klar mit Produktfokus - eine Entwicklung, die es vor fünf, sechs Jahren in der westlichen Welt allein so wahrscheinlich nicht gegeben hätte, nämlich Grundlagenforschung mit Fokus auf die nächste Generation von Speichertechnologien.

Gab es Ergebnisse oder Ereignisse in der Community, die besonderes Aufsehen erregt haben

Die starken Preisschwankungen von Lithiumcarbonat haben viele Forscher beobachtet. Es gibt zwar die wichtige Grundlagenforschung, um Dinge besser zu verstehen, aber gerade im Batteriebereich forschen viele Gruppen und Universitäten mit dem Ziel, ein neues Produkt zu entwickeln. Diese Preisschwankungen und die neuen Regulierungen aus China haben bei einigen zu einem

¹ Kontaktmöglichkeit siehe
<https://www.ffb.fraunhofer.de/de/ueber-uns/institutsleitung/simon-lux.html>

Umdenken oder zumindest zu einer leichten Änderung der Ausrichtung geführt.

Die Diversifizierung nimmt zu, gleichzeitig spielt die Kostenfrage eine Rolle, auch für das spätere Produkt am Ende des Entwicklungsprozesses. Sehen Sie erwartbare große Durchbrüche oder „Next Big Things“ in den nächsten Jahren, die eine starke Disruption für Forschung und Industrie auslösen könnten?

Ich glaube nicht an eine Disruption der Batteriewertschöpfungskette, da diese stark CAPEX-orientiert ist: Es wurde viel investiert, und bestehende Fabriken werden weiterbetrieben. Stattdessen erwarte ich eine starke Diversifikation. Früher war das „Next Big Thing“ immer die Energiedichte – inzwischen sind es gleichzeitig Kosten, Haltbarkeit und Energiedichte. Im High-End-Bereich rechne ich damit, dass Siliziumanoden und teilweise Festkörperbatterien signifikante Marktanteile übernehmen, allerdings nur im eher kleinen Nischensegment. Am anderen Ende der Wertschöpfungskette wird es starken Druck auf LFP geben: Gibt es etwas Günstigeres? Kann Natrium-Ionen mit LFP mithalten?

Ich glaube also nicht an eine singuläre Disruption, sondern an Druck an vielen Punkten auf bestehende Produkte und Wertschöpfungsketten. Ein Beispiel: In China wird NMC 811 zunehmend durch NMC 532 aus Recyclingquellen angegriffen, weil sich 532 einfacher herstellen lässt und die Prozesskosten niedriger sind. Das ist keine Disruption, kann aber trotzdem großen Impact haben – denn wenn alle von 811 auf 532 umsteigen, brauchen wir am Ende viel mehr Kobalt. Diese punktuellen Angriffe an allen Ecken und Enden werden sich gegenseitig ergänzen. Natrium-Ionen bei den günstigen Zellen, bei High-Power-Zellen ebenfalls Natrium-Ionen oder vielleicht Dual-Ionen-Zellen, und ganz oben Festkörperbatterien mit metallischen Lithiumanoden und Silizium. Es wird also keine singuläre Disruption geben, sondern für jedes Segment einen eigenen Wettbewerber. Spannend finde ich dabei, wo sich Segmente und Technologien überschneiden und wo dadurch wirklich neue Spieler in den Markt kommen.

... Sie sehen hier also auch Potenziale für neue Unternehmen, die durch diesen Druck entstehenden Marktverschiebungen zu nutzen?

Auf jeden Fall. 15 Jahre lang wurde die Lithium-Ionen-Zelle als Commodity diskutiert. Diese Diskussion ist inzwischen tot und existiert nur noch in einzelnen Einkaufsabteilungen. Jeder möchte heute seine eigene, auf seine Bedarfe zugeschnittene Zelle. Das bietet Potenziale für Newcomer. Gäbe es am Markt nur drei Zelltypen, alle von großen chinesischen Herstellern gefertigt, hättest man keine Chance einzusteigen. Bei 20 bis 25 Anwendungstypen mit unterschiedlichen Chemien, Größen und Zellgehäusen sind die Einstiegschancen dagegen deutlich größer. Das sehe ich als eine sehr spannende Entwicklung.

Absolut. Kommen wir zu Transferpotenziale für KMUs. Noch einmal mit Blick auf Ihre Rolle als Professor und Institutsleiter, also die Verbindung von Wissenschaft und angewandter Wissenschaft: An welchen Themen arbeiten Sie aktuell, die künftig eine industrielle Anwendung in Deutschland oder Europa finden könnten?

Die größte Chance für Transferpotenziale von KMUs sehe ich eher im Bereich der Produktivitätssteigerung. Das bedeutet nicht nur mehr Ausbringung, sondern vor allem effizienteres Arbeiten in der Batteriefertigung: weniger Ausschuss und weniger Zeit in der Linie. Das lässt sich kaum auf eine einzelne Technologie eingrenzen – es kann eine neue Befüllmethode sein, eine neue Bahnkanten-Messtechnik oder Kaskadenbeschichtung, um verschiedene Materialien in einem Prozess auf die Stromableiterfolie zu bringen.

Viele kleinere und mittelständische Unternehmen haben nicht die Kapazitäten, jede Woche Fachliteratur zu lesen oder aktuelle Diskussionen zu verfolgen. Wie kann man ihnen die Chance geben zu erkennen, dass gerade Entwicklungen passieren, die sie mit ihrer eigenen Technologie über Produktivitätssteigerung und effizientes Arbeiten für sich nutzen könnten?

Ich glaube, das funktioniert nur über den Netzwerkgedanken. Batterieproduktion ist so

komplex, dass eine Einzelberatung, wie sie oft angeboten wird, kaum ausreicht. Das geht nur, wenn sich KMUs wirklich mit Menschen austauschen, die sich seit Jahren mit Batteriezellfertigung beschäftigen, und dort gemeinsam Potenziale identifizieren. Umgekehrt kennen auch Batterieexperten nicht jede Technologie, die es gibt. Dieser Technologieaustausch, dieser Netzwerkgedanke, dieser Transfer muss stattfinden. KMUs müssen wissen, wo aktuell der Schuh drückt, und gleichzeitig einen 10-Jahres-Horizont im Blick behalten. Dieser Horizont ist aber noch so weit weg, dass nicht das einzelne wissenschaftliche Paper entscheidend ist, sondern eher eine Technologieweitsicht, so etwas wie ein klassisches Technologieradar. Das Netzwerk muss den Unternehmen zeigen, wo der Schuh drückt und wo sie ansetzen können. Das sind für mich die konkreten Marktchancen. Wie steigere ich die Produktivität? Wie verbrauche ich weniger Energie? Wie produziere ich weniger Ausschuss? Wie werde ich schneller und günstiger in der Fertigung? Oft wird unterschätzt, wie viel Platz und Energie wir eigentlich nur brauchen, weil ein Prozess nicht schnell genug ist oder eine gewisse Lagernotwendigkeit besteht.

Welche Rolle spielen dabei neue Themen, die KMUs umtreiben, also etwa Digitalisierung und insbesondere KI?

KI wird uns viel helfen, aber ich glaube, dass es gerade in der Batterieindustrie nicht ohne das menschliche Wissen über die Zusammenhänge funktionieren wird. Vielleicht ist KI in ein paar Jahren so schlau, dass sie jeden Zusammenhang zwischen Randkantenüberhöhung und Graphitpartikelaustrichtung beim Kalandrieren kennt. Aber im Moment sind wir da noch nicht. Aktuell kann KI extrem gut Daten korrelieren und Abweichungen erkennen, aber für die kausalen Zusammenhänge braucht man einen Experten, der den Prozess selbst erlebt und sich im Idealfall jahrelang damit beschäftigt hat. KI wird uns also weiterbringen, ist aber noch kein Allheilmittel – das kann nur der Mensch gemeinsam mit der KI leisten. Vielleicht sehe ich das in ein paar Jahren anders, aber im Moment gilt: KI-Startups helfen uns, Daten zu korrelieren, und wir Forschende müssen die kausalen

Zusammenhänge herstellen. Nur gemeinsam findet man die beste Lösung.

Am besten funktioniert es immer mit Produktdruck, wenn ich etwas leisten und in Serie bringen muss. In der Forschung geht das leider nicht immer. Generell muss dieses Zusammenarbeitsmodell – wie ich Ziele messe und ein gemeinsames Ziel erreiche – aber neu gedacht werden. In einem klassischen Verbundprojekt optimiert jeder seinen eigenen Parameter, und das große Ganze führt am Ende vielleicht der Konsortialführer zusammen. Ich glaube, wir müssen dahin kommen, dass das fertige Produkt viel stärker im Fokus steht als der Weg dorthin.

Sehen Sie in den besprochenen Themen Differenzierungspotenziale gegenüber asiatischen oder globalen Wettbewerbern?

Ich persönlich glaube an die stärkere Kreativität des deutschen Ingenieurs. Das klingt im ersten Moment vielleicht komisch. Aber dieser Erfindergeist ist in unserem System stärker ausgeprägt als etwa in China. Das Problem ist: Andere Länder gleichen das durch Masse aus. Hat man tausend weniger kreative Forscher, finden diese vielleicht trotzdem mehr Lösungen als zehn kreative Forscher. Unser Differenzierungsmerkmal muss also Kreativität und gute Ideen sein. Was uns manchmal fehlt, ist der Mut zur Umsetzung – wir haben mehr gute Ideen, als wir tatsächlich umsetzen. Diesen Mut zur Umsetzung müssen wir noch lernen. Wenn wir unsere Ingenieurskreativität behalten und uns gleichzeitig beim Mut zur Umsetzung etwas von den Amerikanern abschauen, können wir schnell aufholen.

Dazu ein einfaches Beispiel: Ich war bei einem kleinen, inhabergeführten Unternehmen mit unter 100 Mitarbeitenden. Dort hat man in der Fertigung kreative Lösungen mit bestehenden Bauteilen aus anderen Produkten und Prozessen entwickelt, sie einfach eingeführt und geschaut: Funktioniert das? Ist es da? Ist es schnell? Gehe ich dagegen zu einer Firma mit 10.000 Mitarbeitenden und möchte dort ein Bauteil in einer Maschine wechseln, gibt es sicher einen Prozess, eine Dokumentationsvorschrift, jemanden, der entscheidet, eine Risikoabwägung und

eine Berechnung – was durchaus notwendig sein kann, wenn das ganze Unternehmen an dieser Maschine hängt. Das ist aber äußerst selten der Fall. Oft würde es sich lohnen, einfach mal auszuprobieren und, wenn es funktioniert, umzusetzen. Genau das habe ich bei dieser kleinen Firma erlebt. Sie setzen sich zu dritt zusammen und sagen, das ist cool, wollen wir das probieren? Hat es nicht geklappt, muss eben ein Produktionsrückstand aufgeholt werden. Aber so haben sie viele Innovationen umgesetzt, die in einem großen, bürokratisch geprägten Unternehmen nicht umsetzbar gewesen wären.

Ein wesentlicher Aspekt einer Studie von Hemmelder et al., an der Sie mitgewirkt haben [1], ist, wie man von State-of-the-Art-Technologien zu neuen, aufkommenden Batteriechemien kommt. Und dabei zeigt sich, dass die Wissenschaft-Industrie-Kollaboration beim Übergang von LIB zu SIB sehr wichtig ist. In Deutschland haben wir die oft beschriebene Situation, exzellente Forschung, aber vergleichsweise wenig industrielle Umsetzung und Erfahrung zu haben. Haben wir da ein Problem, wenn wir jetzt zur Natrium-Ionen-Batterie kommen wollen?

Wir haben generell ein Problem in Deutschland und Europa, das nicht nur was mit Batterieforschung zu tun hat, das sich auf zwei Arten beschreiben lässt – die fehlende Incentivierung der Forschenden und die Bürokratie. Ein Forscher wird extrem selten dafür incentiviert, seine Technologie bis zur Marktreife zu entwickeln. Dafür bekommt er nämlich erstmal nichts. Das muss er also aus Eigenantrieb machen. Zugleich haben wir eine Bürokratie, die, aus guten Gründen, Compliance-Regeln vorschreibt, die Forschende teilweise davon abhalten, zu industrialisieren. Da muss man als Forscher wirklich aus Selbstmotivation sagen „Ich möchte das machen“, denn die Incentivierung dafür ist äußerst gering. Es gibt inzwischen einzelne Pilotbeispiele und Projekte, aber im normalen Wissenschaftsbetrieb sind viele Forschende nicht dazu incentiviert.

USA und China haben das explizit anders gelöst. Ich glaube, es ist schon ein deutsches, aber auch ein europäisches Problem, dass im Hintergrund immer die Angst mitschwingt, der Wissensvorsprung der

Universitäten könnte für unlautere Zwecke ausgenutzt werden – das ist eine große Hürde für Forschende. Die USA lösen das ganz anders: Auch dort gibt es Compliance-Richtlinien, aber an einer amerikanischen Elite-Universität kann ein Professor beispielsweise gemeinsam mit Investoren sein eigenes Patent aus der Universität herauskaufen. Er kann sagen: Das hat meine Arbeitsgruppe erfunden, es gehört der Universität, aber ich möchte es mit Investoren industrialisieren.

Hinzu kommt die Fragmentierung des Wissenschaftssystems. Jede Universität ist eine Landeseinrichtung, Fraunhofer ist ein Verein, Helmholtz ein Verein mit anderen Richtlinien, Max-Planck wieder eine andere Institution. Es gibt also gar kein einheitliches Muster, denn jedes Bundesland hat andere Regeln, hinzu kommen Bundesuniversitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, und jeder sieht das Thema etwas anders. Es müssten also erst strukturelle Probleme gelöst werden, damit dieser Wissenskanal überhaupt richtig funktionieren kann.

Zum zweiten Teil der ursprünglichen Frage: Ja, wir können Forschung in Europa umsetzen, aber das Problem ist, und das zeigt auch unsere Publikation, ohne Basis kann man nicht wachsen. Man muss zuerst die Basis einer Produktion schaffen, zumindest im kleinen Maßstab, um darauf aufzubauen. Das ist das ganze Leapfrogging-Thema. Wenn man eine bestehende Industrie mit mehreren hundert Milliarden Euro Umsatz disruptiv umkrempeln möchte, muss man verstehen, was diese Industrie eigentlich macht. Es hilft nicht, einfach irgendein Produkt auf den Markt zu bringen, das vielleicht irgendwann besser ist. Man muss die Bedürfnisse verstehen und wissen, wie man das umsetzt. Gerade bei Natrium-Ionen ist die Wissensbasis aus Lithium-Ionen-Forschung so groß, dass man das Wissen aus diesen Produktionsprozessen braucht.

Blicken wir auf den politischen Rahmen bzw. das Forschungsökosystem: In den letzten Jahren gab es – teils durch Gerichtsurteile bedingt – Förderstopps, die meiner Meinung nach zu Recht kritisiert wurden, weil dadurch auch der Wissensfluss über Forschungsgruppen unterbrochen wird. Wie schätzen

Sie das Zusammenspiel der Forschungsprogramme aktuell ein? Sind wir gewappnet, oder braucht es mehr?

Nicht mehr, sondern mehr Kontinuität ist nötig. Dreijährige Forschungsprogramme sind für den notwendigen kontinuierlichen Wissensaufbau nicht ideal. Die Hightech-Agenda Deutschland geht mit einer stärkeren Fokussierung schon in eine gute Richtung, aber auch einzelne Institute müssen sich auf Kernthemen konzentrieren, statt alles selbst abdecken zu wollen. Diesen Fokussierungs- und Leuchtturm-Gedanken sollte man noch stärker vorantreiben, etwa über Leistungs- bzw. Technologiezentren mit klarem Mandat für einzelne Technologien. Das funktioniert dann wie ein Trichter. Je näher man an die Industrie kommt, desto enger muss er werden, weil mehr Detailwissen nötig ist. Regionale Zentren braucht man, um die verschiedenen Wirtschaftskluster in Deutschland zu bedienen. Aber je höher der Technology Readiness Level, desto mehr Wissen, Maschinen und Investment sind erforderlich, und genau dieses Zusammenspiel im Trichter lässt sich noch deutlich verbessern. Flächendeckend lokale Akteure, die das regionale Netzwerk bespielen, halte ich für zwingend notwendig.

In Deutschland funktioniert die Unabhängigkeit der Wissenschaft gut – ein hohes Gut, das Freiheit, aber auch Verpflichtung mit sich bringt. In den USA denken Forschende die Industrialisierung dagegen oft schon mit, gerade in der angewandten Forschung, etwa im Hinblick auf Ausgründungen. Etwa in Stanford, Berkeley, der Bay Area, an der East Coast oder um Chicago ist dieses Mindset deutlich stärker ausgeprägt, ohne dass man das verallgemeinern sollte. Die Forschung in China wiederum wird dort viel stärker über staatliche Programme gesteuert als bei uns, auch wenn es über die Projektforschung ähnliche Ansätze gibt, nur deutlich schwächer ausgeprägt. Es entsteht ein Brückenschlag zwischen politischen Vorgaben, dem, was Forschung leisten soll, und dem, was Industrieunternehmen umsetzen sollen. Das ist aber keine reine Einwegstraße. Die Politik gibt nichts vor, was die Unternehmen nicht mittragen. Aus meiner begrenzten Außensicht ist das eher ein Verhandlungsprozess zwischen Politik, Forschung und Industrie, der letztlich politisch

entschieden wird. Forschung und Entwicklung hat dort einen ähnlich hohen Stellenwert wie bei uns, aber über die Masse wird sehr intensiv an neuen Entwicklungen gearbeitet.

Zum Abschluss: Wenn Sie einer KMU-Geschäftsführung, die überlegt, in die Batteriebranche einzusteigen, einen einzigen Rat geben könnten – welcher wäre das?

Ich würde ihr raten, zunächst zu überlegen, in welchem Bereich das Unternehmen einsteigen möchte, und die Batterietechnologie zumindest im Groben zu verstehen, bevor Entscheidungen getroffen werden. Die Geschäftsführung braucht ein grobes Verständnis und jemanden im Team, der die Details kennt. Nur aufgrund des Schlagworts „Batterie“ oder nach ein, zwei Vorträgen zu investieren, wäre riskant – genauso riskant ist es aber, kein Budget für einen soliden Wissensaufbau einzuplanen. Ich würde also einen fundierten Wissensaufbau empfehlen, um klar zu bestimmen, wo das eigene Produkt eine Chance hat und wie man sich vom Markt differenziert.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Interview mit Prof. Dr.-Ing. Sabrina Zellmer zur Batterieproduktion und Transfer-Netzwerke

Bitte stellen Sie sich kurz vor. Wie sind Sie zur Batterieforschung gekommen?

Mein Name ist Sabrina Zellmer², ich bin einerseits Professorin an der TU Braunschweig am Institut für Partikeltechnik iPAT. Mein Hintergrund liegt in der mechanischen Verfahrenstechnik, da ich Maschinenbau studiert habe. Im Rahmen der Universität bin ich außerdem im Vorstand des Zentrums für zirkuläre Produktion sowie der Battery LabFactory Braunschweig (BLB). Zum anderen bin ich stellvertretende Institutsleiterin des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST hier in Braunschweig und in diesem Rahmen gemeinsam mit Kollegen vom Fraunhofer IKTS und vom Fraunhofer IFAM für das Fraunhofer-Projektzentrum für Festkörperbatterien ZESS in Braunschweig zuständig, das sich der großskaligen Produktion von Festkörperbatterien widmet.

Unsere Schwerpunkte, ausgehend von der mechanischen Verfahrenstechnik, sind zum Beispiel: mechanisch-chemische Synthese von Elektrolyten, Synthese von Kathodenaktivmaterialien insbesondere aus Recyclingströmen, Elektrodenproduktion auf Basis von Dünnschichttechnologien vom Fraunhofer-Institut aus sowie über Nass- und Trockenbeschichtungsverfahren vom iPAT aus. In Braunschweig ist es uns gemeinsam relativ gut gelungen, den gesamten Kreislauf zu schließen – von der Materialherstellung über die Produktion bis zur vollständigen Rückführung, je nach Batterietechnologie auf relativ hohem Technologiereifegrad. Bei der Lithium-Ionen-Batterie ist dieser Reifegrad schon hoch; beim Festkörperzentrum ZESS (Anmerkung: Die Eröffnung fand am 05.10.2026 in

Braunschweig statt), ist ebenfalls geplant, bis TRL 7 zu gehen.

Ich habe an Sprühtrocknungsprozessen für eher pharmazeutische Produkte gearbeitet und bin irgendwann zur Batterie gewechselt. In meinem „zweiten Leben“ mache ich außerdem Wasserstoffforschung, denn ob ich nun Batterien produziere oder Brennstoffzellen, Elektrolyse und das entsprechende Recycling betreibe – die Produktionsprozesse sind am Ende relativ ähnlich. Durch die gemeinsame Ansiedlung mit meinem Kollegen, der aus der Produktionstechnik kommt, sind wir an unserem Fraunhofer-Institut zudem relativ stark im Bereich Nachhaltigkeitsbewertung, sodass wir die Produktionsprozesse entsprechend bewerten können.

Mechanische Grundoperationen in der Verfahrenstechnik lassen sich gut in unterschiedlichen Produkten einsetzen. Ich hatte damals die Möglichkeit, eine Nachwuchsgruppe im Bereich Festkörperbatterien aufzubauen, angebunden an eine Luftfahrtaktivität – darüber bin ich zur Batterie gekommen. Als Standort haben wir uns aber schon seit 2007 aus verschiedenen Gründen, sowohl Kosten- als auch Nachhaltigkeitsaspekten, mit Batteriezellproduktion und Recycling beschäftigt.

Was würden Sie sagen, sind die spannendsten Entwicklungen im wissenschaftlichen Umfeld, die Sie im letzten Jahr erlebt oder mitbekommen haben?

Technologisch gesehen ist auf jeden Fall spannend, wie schnelllebig bestimmte Themen sind – und man muss sich der Realität stellen, dass Deutschland dabei auch von Entwicklungen in anderen Ländern getrieben wird. Als Partikeltechnikerin freut es mich, dass unsere grundlegenden Verfahren immer wieder gute Anwendungen finden: Wer die Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen versteht, kann sich in ganz unterschiedlichen Bereichen einbringen.

² Kontaktmöglichkeit siehe <https://www.tu-braunschweig.de/ipat/institut-1/team/prof-dr-ing-sabrina-zellmer>

Auf übergeordneter Ebene hat es mich persönlich gefreut, dass unsere Netzwerke trotz der angespannten wirtschaftlichen Lage im vergangenen Jahr noch stärker zusammengedrückt sind und sich gegenseitig stärker unterstützen, um Prozesse voranzutreiben. Und ganz regional bin ich froh, dass wir noch etliche Unternehmen haben, die sich getraut haben, große Investitionen in Deutschland zu tätigen und diese auch konsequent weiterverfolgen – das ist heute nicht mehr selbstverständlich und gibt auch unseren Mitarbeitenden eine wichtige Perspektive.

Seit einigen Jahren veranstalten wir, initiiert durch unsere Innovationsgesellschaft im Rahmen des Netzwerks „Allianz der Region“, die sogenannte „Transfernale“: Wir besuchen von wissenschaftlicher Seite verschiedene Unternehmen und laden dazu die Öffentlichkeit und interessierte Menschen aus der Region ein. Die Unternehmen öffnen ihre Türen und erklären, was sie Neues machen, und wir Wissenschaftler unterstützen das von unserer Seite. Ende August war ich mit Kollegen bei H.C. Starck, die sich im Bereich Recycling weiterentwickeln. Gerade für gesellschaftliche Vertreter außerhalb des Fachpublikums ist es toll, wenn solche Türen geöffnet werden. Davon bräuchte es noch mehr, das würde viele Fragen beantworten.

Ein weiteres Highlight, das die Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft verbinden, war die Eröffnung unserer Batterielernfabrik hier in Braunschweig. Wir nutzen sie besonders für unsere neuen Studiengänge, gestalten sie aber auch gemeinsam mit regionalen Unternehmen. Das ist gerade für KMUs interessant. Die großen OEMs haben ja ihre eigenen Batterielinien, aber für ein KMU, das zuliefert oder nur eine Anlage herstellt, ist es spannend, den Gesamtprozess einmal erleben und abdecken zu können.

Welche weiteren Themen aus Ihrem Umfeld stehen kurz vor der Kommerzialisierung oder bieten Potenzial, das KMUs sich genauer ansehen sollten?

Im Bereich Recycling geht es viel um Anlagenentwicklung und -anpassung sowie Überwachungs- und Tracking-Systeme, besonders wenn man direktes oder indirektes Recycling auf

unterschiedliche Zelltechnologien überträgt, um Wertschöpfungskreisläufe zu schließen. Entlang der Prozesskette ist Trockenbeschichtung zwar derzeit in aller Munde, aber auch die vorgelagerten Prozessschritte rücken wieder stärker in den Fokus: Wie kommt das Schüttgut sauber auf den Kalandertisch? Wie lassen sich sensorische Eigenschaften bereits während der Produktion erfassen? Wir haben hier in der Region etwa ein kleines Start-up, das sich mit Energieeffizienz und Steuerung in Trockenräumen beschäftigt. Auch das hat großes Potenzial, insbesondere im Hinblick auf Partikelbelastung und Umgebungsbedingungen, etwa bei künftigen Technologien wie Festkörperbatterien. Wir sehen zudem viele Unternehmen, die sich neu im Bereich Testing aufstellen. Mit dem kommenden Batterie-Produktpass werden entlang der Prozesskette deutlich mehr Informationen benötigt, um Transparenz sicherzustellen. Und schließlich entstehen ganz neue Handhabungs- und Automatisierungskonzepte, sobald sich Produkteigenschaften ändern.

Sind das bei Themen wie Qualität, Nachhaltigkeit oder Traceability dann klassische Transferpotenziale für KMUs, die sich aus anderen Bereichen zur Batterieproduktion übertragen lassen?

Beides, in beide Richtungen. Gerade in unserem Fachbereich sind Partikeleigenschaften unabhängig davon, ob das Produkt schwarz oder weiß (Anm.: Pharmazie) ist. Prozesse, Tracking-Systeme oder Materialcharakterisierungsansätze lassen sich daher sehr gut auf den pharmazeutischen Bereich, die Baustoffindustrie oder andere Branchen übertragen und schlagen eine gute Brücke. Wichtig ist heute, nicht nur Experte für ein einzelnes Produkt zu sein, das man irgendjemandem zuliefert. Am Ende ist jeder zunehmend darauf angewiesen, möglichst viele Informationen über sein Produkt und die Supply Chain zu haben – wir müssen immer mehr nachweisen, was letztlich Kosten- und CO₂-Einsparpotenzial bringt.

Zum Thema Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung, das wir kurz angesprochen haben: Wie hat sich das in den letzten Jahren verändert, und was bedeutet die zunehmende Relevanz in der Forschung für

die Weiterbildung von KMUs und den Transfergedanken zwischen Forschung und Industrie?

Nachhaltigkeit und Digitalisierung sind für KMUs ein etwas zweischneidiges Thema. Aus unserer Perspektive als Standort stehen wir schon lange dafür, daher freuen wir uns, dass diese Themen breiter genutzt und eingebracht werden. Für kleinere Unternehmen sehe ich aber Herausforderungen, das im eigenen Betrieb umzusetzen und nutzbar zu machen. Das ist zugleich eine Chance für uns aus der Wissenschaft, sie zu unterstützen und die in den letzten Jahren entwickelten Blaupausen entsprechend auszurollen.

Ich glaube, wir alle müssen den Mittelstand und kleinere Unternehmen hier noch stärker unterstützen: Angesichts der vielen Nachweispflichten und Zertifizierungen, die auch kleinere Unternehmen durchlaufen müssen, brauchen sie wirklich Hilfe – man kann ja nicht für alles eigene Stellen aufbauen und die gesamte Belegschaft ad hoc schulen. Wir haben viele Interaktionen mit KMUs, die gerne mit der Forschung zusammenarbeiten und das für sich nutzbar machen wollen – dabei konnten wir in den letzten Jahren auch viel Erfahrung mit größeren Unternehmen sammeln. Und bei neuen Forschungsanträgen werden diese Themen ohnehin immer relevanter.

Im Bereich Nachhaltigkeit ist der Transferfluss unterschiedlich. Die kleinen Unternehmen müssen es in der Supply Chain zu den großen umsetzen, während die Großen dafür eigene Bereiche haben. Genau da liegt unser Ansatzpunkt in der Forschung: Wir können einerseits Mitarbeitende direkt in den Transfer überführen, andererseits die Unternehmen mit Modellen und Informationen versorgen, um ihnen die Arbeit zu erleichtern. Es ist ein Geben und Nehmen. Am Ende sind wir alle Teil dieser Kette, und es gibt nicht nur eine Richtung, sondern auch Quervernetzungen, die das Ganze besonders spannend machen.

Noch ein Blick auf technologische Differenzierungspotenziale: Kürzlich erschien eine Studie von strategy& zur Wettbewerbsfähigkeit der Automobilzulieferindustrie [2], die nicht besonders optimistisch in die Zukunft blickt. Im Vergleich zu

asiatischen oder amerikanischen Wettbewerbern – wo sehen Sie noch Differenzierungspotenziale, oder müssen wir uns anders anstrengen, um Anschluss zu finden und Marktanteile in der Zulieferindustrie zu halten oder auszubauen?

Ich glaube, es ist nicht schwarz-weiß. Wir haben eine Reihe guter Technologien, die wir viel stärker nach außen tragen und im Markt platzieren sollten – gerade viele kleine Unternehmen haben coole Nischen gefunden, die man deutlich sichtbarer machen müsste. Was uns von anderen unterscheidet: Wir müssten vielleicht stärker zusammenrücken, um unsere Stärken gemeinsam auszuspielen, und mehr zu einer Gemeinschaftsmentalität übergehen. Eine „Kopf-in-den-Sand“-Strategie ergibt daher wenig Sinn.

In unseren eigenen Laboren und bei den Unternehmen um uns herum sehe ich viele Potenziale, tolle Recyclingstrategien und innovative Prozessansätze, mit denen sich hohe Kosten- und CO₂-Einsparungen erzielen lassen – das wird uns dabei helfen, Marktanteile wieder zu steigern. Davon bin ich fest überzeugt. Und wir bilden gute Köpfe aus, die das in Zukunft auch umsetzen werden.

Stichwort Wissenstransfer: Sie haben hier in Niedersachsen ein heterogenes Ökosystem aus Industrie, Forschung und Wissenschaft. Welchen Hürden begegnen Sie beim Wissenstransfer?

Es ist immer eine Frage, wie man Informationen in die Gesellschaft trägt. Man trifft immer wieder Menschen mit einer Frage, bei der man denkt: Damit habe ich mich schon beschäftigt, schade, dass das Unternehmen quasi auf der gleichen Straßenseite ähnliche Fragestellungen hat. Wir müssen also noch besser werden, Erkenntnisse – „niederschwellig“ klingt immer negativ, aber genau das meine ich – so aufzubereiten, dass sie gerade für kleine und mittelständische Unternehmen leichter greifbar sind.

Wir brauchen mehr solcher wissensvermittelnden Veranstaltungen, zu denen man einfach hinkommen und alle Fragen stellen kann, ohne die Sorge, dass alle anderen es schon wissen, nur man selbst nicht. Diese niedrigschwellige Wissensvermittlung und Informationsbereitstellung, davon kann man aus

meiner Erfahrung nie genug haben. Wir alle treffen ständig Menschen und denken in etwa: Spannend, du wohnst nur einen Kilometer von mir entfernt, aber wir wussten nichts voneinander und hätten uns gegenseitig helfen können. Dabei sind es oft wiederkehrende Fragestellungen, die Unternehmen umtreiben, beispielsweise Wie implementiere ich KI-Methoden in mein System? Wie erfülle ich neue Nachhaltigkeitsvorgaben? Wie schaffe ich die ISO-50001-Zertifizierung? Am Ende haben wir alle ähnliche Herausforderungen, müssen sie nur etwas unterschiedlich umsetzen. Solche Blaupausen transparenter zu machen, auch bundesland-übergreifend, da gibt es sicher noch Verbesserungspotenzial.

Zurück zur positiven Analyse: Haben Sie eine Erfahrung, die Sie teilen möchten, bei der Forschungsergebnisse, vielleicht aus Projekten entwickelt, in eine industrielle Anwendung oder ein Produkt überführt wurden?

Wir haben etwa aus der Universität bzw. unserem Universitätsinstitut Start-ups und Ausgründungen hervorgebracht, auf die man natürlich stolz ist, wenn sie ihren Weg erfolgreich weitergehen. Besonders im Recyclingbereich sehen wir, dass die Infrastrukturen und Technologien, die wir in den vergangenen Jahren aufgebaut haben, zunehmend Einzug in unser regionales Ökosystem entlang der Prozesskette halten – das freut uns natürlich besonders.

Mit Blick auf das Potential von Ausgründungen aus der Wissenschaft: Die Ausgründungsstrategien an Universitäten und beispielsweise bei Fraunhofer unterscheiden sich schon etwas. Viele Ausgründungen gehen von unseren Doktorandinnen und Doktoranden aus, auch aus unseren Fraunhofer-Instituten. Interessanterweise haben wir auch viele Mitarbeitende, die zunächst in die Industrie gegangen sind und sich nach zwei, drei Jahren gedacht haben: Ich mache es doch lieber selbst, statt in der Mühle eines Großkonzerns zu stecken. Es ist also ganz unterschiedlich. Es gibt gute Modelle wie beispielsweise die EXIST-Förderung, aber am Ende ist es in erster Linie durch die Menschen getrieben. Man braucht eine gewisse intrinsische Motivation für diesen Schritt, trotz guter Unterstützungsmöglichkeiten. Selbstständigkeit ist meist eine sehr

intensive Zeit. Ich glaube, wir als Forschungseinrichtungen sind mit Start-up-Inkubatoren, die immer mehr entstehen, und Flächen, die Städte oder Universitäten bereitstellen, um gemeinsam mit anderen Gründerinnen und Gründern zu wachsen, schon auf einem guten Weg. Vielleicht brauchen wir noch etwas mehr von dieser Investorenmentalität, die Ländern wie den USA im Vergleich zu uns oft stärker zugeschrieben wird. Aber auch diese Hürde werden wir in den nächsten Jahren nehmen, glaube ich.

Blicken wir noch etwas stärker auf das wissenschaftliche Ökosystem in Deutschland, speziell die F&E-Förderkulisse. Was ist aus F&E-Perspektive am wichtigsten, um den Wissensfluss in Industrie und Gesellschaft bei einem so wichtigen Thema wie der Batterietechnologie sicherzustellen?

Die Herausforderungen der Förderkontinuität lässt sich nicht schönreden, sie ist bislang nicht wirklich gelöst. Die aktuelle Förderkulisse läuft zwar langsam wieder an, aber viele Vorhaben haben Verzögerungen. Wir sehen, dass Mitarbeitende das System bereits verlassen haben oder sich anderweitig orientiert haben – das werden Sie an Ihrem Institut ähnlich beobachten. Diese Kontinuität muss sich also wieder einstellen, um einen vernünftigen Wissenstransfer zu ermöglichen. Wichtig sind dabei vor allem die Forschungscluster. Auf der anderen Seite brauchen wir verstärkt Förderung gemeinsam mit Unternehmen, um den direkten Transfer schon innerhalb des Projekts zu erzeugen. Ich glaube, das wünschen sich alle Batterieforschenden in Deutschland, und nicht nur dort, dass sich die Förderkulisse wieder anpasst und konstantere Bedingungen einstellen. Es wäre schade, wenn das mühsam wieder aufgebaute Wissen und die geschaffenen Leuchttürme durch eine längere Durststrecke den erarbeiteten Vorsprung wieder verlieren.

Was sind Erfolgsfaktoren für Wissenstransfer in Verbundprojekten? Und warum lohnt sich für ein KMU mit vergleichsweise wenigen Mitarbeitenden die Teilnahme an solchen Projekten trotz des organisatorischen Aufwands?

Für KMUs gibt es viele Vorteile. Einerseits kann man mit der Forschung bestimmte Aspekte ausprobieren und testen. Andererseits lernt man im Verbundprojekt seine industriellen Partner noch einmal neu oder anders kennen, eine gute Basis für künftige, engere Zusammenarbeit. Man setzt sich mit dem eigenen Produkt oder Prozess zudem ganz anders auseinander, wenn man aus der wissenschaftlichen Perspektive in einem größeren Verbund mitarbeitet. Dabei sollten wir die Menschen nicht vergessen, die in solchen Projekten arbeiten. Es gibt kaum etwas Besseres, als in einem Forschungsprojekt gemeinsam mit Unternehmen zu promovieren und danach eine direkte Perspektive in genau diesem Unternehmen zu haben. Das erlernte Wissen lässt sich so realitätsnah umsetzen. Das ist eigentlich der perfekte Technologietransfer über die Köpfe der Menschen, gerade in kleine und mittelständische Unternehmen. Genau das ist durch den Einbruch der Förderbedingungen etwas verloren gegangen: Man bekommt durchaus die Rückfrage von Mitarbeitenden, ob man auf das richtige Pferd gesetzt hat und wie die eigene Perspektive in Deutschland aussieht. Wir brauchen diese Konstanz an hochqualifiziertem Personal, das stetig in die Unternehmen kommt, denn am Ende entscheiden genau diese Menschen darüber, wie erfolgreich wir als Technologieland Deutschland sind.

Und unterscheiden sich solche Projekte je nach Stufe der Wertschöpfungskette?

Vieles wird stärker durch regulatorische oder äußere Vorgaben getrieben ist. Es gibt für fast alles Regularien, die schon greifen oder in den nächsten Jahren greifen werden. Danach richtet man sich zunehmend aus, und das unterscheidet sich je nach Stufe der Wertschöpfungskette. Beim Recycling gibt es bestimmte Quoten zu erfüllen, beim Battery Passport bestimmte Vorgaben. Ich sehe zunehmend, und halte das für den richtigen Weg, dass wieder stärker auf die Flexibilität von Prozessen geachtet wird. Wir werden schließlich nicht die nächsten 100 Jahre dieselbe Zellchemie produzieren. Hier kann gerade der deutsche Maschinen- und Anlagenbau punkten, da er grundsätzlich in der Lage ist, flexibel auf Produktänderungen oder Prozessvariationen zu reagieren. Das Know-how dafür ist vorhanden. Positiv

nehme ich wahr, dass diese Flexibilität zunehmend mitgedacht wird.

Können Sie einschätzen, was in anderen Regionen der Welt anders funktioniert oder wo wir in Deutschland eine bewusste Stärke haben?

Bestimmte Länder verfolgen aufgrund ihrer Historie bestimmte Themen langfristiger und strategischer. Andererseits kommt es uns in Deutschland oft zugute, dass wir dazu angehalten sind, über den Tellerrand zu schauen. Dadurch eröffnen sich neue Möglichkeiten, auf die man nicht gezielt hingearbeitet hat, die aber im nächsten Schritt wieder Innovation mit sich bringen.

Ich glaube, wir sollten davon wegkommen, uns ständig mit anderen Ländern zu vergleichen und Pro-Kontra-Listen zu erstellen, wer was besser macht. Und uns stattdessen einfach auf das konzentrieren, was wir können. In Diskussionen wird oft darüber gesprochen, was schlecht läuft oder was andere besser können. Stattdessen sollten wir uns mehr mit dem beschäftigen, was wir bereits gut können, das mit mehr Stolz nach außen tragen und besser nutzbar machen. Wir haben viele gute Patente und verstecken sie manchmal etwas. Wenn man im Ausland einen Vortrag hält, braucht man beispielsweise oft Folien, die zeigen, mit wem man schon zusammengearbeitet hat und wie gut man ist – das ist vielleicht nicht ganz unsere Mentalität, aber an der einen oder anderen Stelle sollten wir das stärker tun. Wir können sicher von anderen Ländern lernen, aber die haben in den vergangenen Jahren auch viel von uns gelernt. Das sollte man sich ebenfalls vor Augen führen. Wir müssen alle mehr miteinander als übereinander reden. Ein gesunder Wettbewerb ist wichtig, ja. Gleichzeitig sieht man, dass man in manchen Bereichen erfolgreicher ist, wenn man Kompetenzen stärker bündelt. Dafür gibt es gute Beispiele, auch wenn wir das an manchen Stellen noch besser machen könnten. Deshalb sind bundeslandübergreifende Netzwerke sehr wichtig.

Zum Abschluss: Wenn Sie einer KMU-Geschäftsführung, die überlegt, in die Batteriebranche einzusteigen, einen einzigen Rat geben könnten – welcher wäre das?

Je nach Fachbereich würde ich empfehlen, sich möglichst schnell in die entsprechende Community einzubringen – vernetzen Sie sich mit anderen KMUs und OEMs aus Ihrem Bereich; in den einzelnen Bundesländern gibt es dafür gute Communities. Und vernetzen Sie sich mit einer zielführenden Forschungseinrichtung in Ihrer Region – nicht, damit alle zu mir kommen, sondern um den Fachkräftetransfer zu stärken. Wer eine neue Branche erschließen will, profitiert davon, Fachkräfte zu haben, die sich in diesem Bereich bereits auskennen.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Interview mit Dr. Andreas Flegler zum Direct Recycling und einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft

Bitte stellen Sie sich kurz vor. Wie sind Sie zur Batterieforschung gekommen?

Mein Name ist Andreas Flegler³, ich habe Chemieingenieur in Karlsruhe studiert und bin seit 13 Jahren am Fraunhofer ISC in Würzburg. Ich habe dort verschiedene Bereiche der Batterieforschung durchlaufen. Los ging es mit klassischen Lithium-Ionen-Batterien und dem Aufbau der Prozessgruppe, also wie man Lithium-Ionen-Zellen, insbesondere Pouch-Zellen, überhaupt herstellt. Danach gab es einen Schwenk zu Festkörperbatterien, und seit sieben Jahren ist mein Hauptthema das Recycling, insbesondere Direct Recycling – das ist auch der Bereich, in dem bei uns in Würzburg aktuell am intensivsten geforscht wird.

Wir betreiben Direct Recycling, keine Hydro- oder Pyrometallurgie, und das nicht nur für Lithium-Ionen-Batterien, sondern auch für neuere Generationen wie Festkörper- und Natrium-Ionen-Batterien sowie zukünftige Systeme, etwa Kalium-Ionen-Batterien. Wir untersuchen, wie sich diese Verfahren auf neue Batteriegenerationen übertragen lassen, und schauen zudem, ob sich die Technologien auch auf andere batterie-nahe Bereiche wie Brennstoffzellen oder Elektrolyseure übertragen lassen, das ist aber eher ein Randthema. Der Hauptfokus liegt klar auf Direct Recycling für Lithium-Ionen- und Natrium-Ionen-Batterien.

Ein wichtiger Aspekt noch: Wir versuchen, den Kreislauf zu schließen, indem wir nicht nur aktuelle Batterien recyceln, sondern aus den dabei erkannten Schwierigkeiten neue Designhinweise ableiten. Wir geben Industrie und Wissenschaft also Hinweise, etwa, wenn man den Binder in neuen Generationen ändert, lässt sich die Batterie deutlich einfacher

recyclen. Das gehört für uns dazu, um den Kreislauf zu schließen.

Zur Batterieforschung bin ich eigentlich eher hineingerutscht, das war ursprünglich nicht so geplant. Durch mein Studium der Verfahrenstechnik im Chemieingenieurwesen hat mir die Prozesstechnik sehr gefallen, also beispielsweise wie baut man überhaupt eine Zelle auf? Dabei spielen viele Aspekte eine Rolle, etwa die Eigenschaften von Slurries für die Beschichtung. Gereizt hat mich vor allem die Interdisziplinarität zwischen Chemie, Physik und Ingenieurwissenschaft. Aufgegangen ist mir das Herz dann beim Recycling. Das ist mir auch persönlich ein Anliegen: dass die Branche nachhaltiger wird und der Fokus nicht nur darauf liegt, das beste Produkt zu entwickeln, sondern auch darauf, woher die Materialien kommen und wie man sie wiederverwenden kann. Ich reise außerdem gern, und wenn man sich Minen oder Abbaugelände ansieht, erkennt man den enormen Raubbau an der Erde, das sollte man so weit wie möglich begrenzen.

Wir sprechen heute primär über Batterierecycling und Direct Recycling in der Produktion. Was waren aus Ihrer Sicht die spannendsten wissenschaftlichen Entwicklungen der letzten Monate bzw. Jahre? Gab es Forschungsergebnisse, die in der Community besonderes Aufsehen erregt haben?

Seit sieben Jahren beschäftigen wir uns mit dem Thema, angefangen mit einem Zentrifugen-Projekt. Recycling wurde bei uns zu einem Querschnittsthema. Partikeltechnologie, Klassifizierungs- und Entschichtungsverfahren ließen sich gut aus dem breiten, nicht batterie-spezifischen Portfolio des Instituts nutzen.

Anfangs wurde Direct Recycling auf Konferenzen als „wichtig, aber nicht wirklich relevant“ abgetan. Hydro- und Pyrometallurgie galten als die eigentlichen Wege. Das hat sich in den letzten anderthalb bis zwei Jahren deutlich geändert, unterstützt durch die Batterieverordnung mit

³ Kontaktmöglichkeit siehe
<https://www.isc.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer-isc/organisation.html>

höheren, anspruchsvolleren Rückgewinnungsquoten sowie durch wachsendes Industrieinteresse. Beispielhaft zu nennen ist hier BMW, die das früh erkannt haben und bereits Ende letzten Jahres ein Zentrum für Direct Recycling von Produktionsrückständen in Betrieb genommen haben. Bei unserer Konferenz zum Direct Recycling, das erstmals 2024, dann wieder im Februar dieses Jahres, stattgefunden hat, war die Stimmung und das Industrieinteresse spürbar hoch.

Ein weiterer inhaltlicher Punkt: Für End-of-Life-NMC-Batterien wird Hydrometallurgie die bevorzugte Methode bleiben. Direct Recycling ist kein Allheilmittel, sondern für bestimmte Chemien besonders geeignet. Durch die Renaissance von LFP und den zunehmenden Markteintritt von Natrium-Ionen-Batterien, beides sogenannte Low-Cost-Chemistries, wird Direct Recycling deutlich attraktiver, weil hydrometallurgische Verfahren hier wirtschaftlich weniger interessant sind, da kein Nickel oder Kobalt zurückgewonnen werden kann. LFP-Renaissance und Natrium-Ionen-Markteintritt befeuern Direct Recycling also erheblich.

Zur Industrial Readiness von Direct Recycling heißt es oft, man stehe kurz davor, sei aber noch nicht ganz da. Sehen Sie in den nächsten Jahren konkrete Durchbrüche? Und falls ja: Ist die Hauptmotivation eher die Nachhaltigkeit oder ein Kostenthema, gerade bei den Low-Cost-Chemien?

Wirtschaftlich zuerst durchsetzen wird sich Direct Recycling für Produktionsrückstände. Hier ist es das Mittel der Wahl, und alle großen Zellhersteller und OEMs haben Interesse daran. Für OEMs kommen hier Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit zusammen. Können teure Aktivmaterialien mit einem gewissen Anteil direkt wiedereingesetzt werden, ist das sehr attraktiv. Der Ausschuss in Gigafactories liegt Schätzungen zufolge bei 10 bis 30 Prozent [3], entsprechend hoch sind die möglichen Einsparungen. Durchsetzen werden sich daher zunächst Facilities, die von OEMs oder Zellherstellern selbst betrieben werden, oder exklusive Recycler für Produktionsrückstände am Standort.

Bei End-of-Life-Batterien wird sich erst noch zeigen, ob Direct Recycling abbildbar ist. Das größte Potenzial sehe ich bei LFP- und Natrium-Ionen-Batterien. Bei NMC ehrlicherweise weniger, da bleibt Hydrometallurgie im Vorteil. Ein Nachteil von Direct Recycling ist zudem die geringere Prozessrobustheit. Vereinfacht gesagt: bei der Hydrometallurgie geht alles zuerst in den Schredder und danach in die Säure, bei Direct Recycling ist der Prozess sehr individuell; bei LFP anders als bei NMC, wo eher Lösemittel- oder Trockenprozesse nötig sind. Das erschwert die Skalierbarkeit, dürfte sich aber für einzelne, spezifische Batterietypen gut abbilden lassen.

Wichtig wird zudem künftig die Kombination verschiedener Prozesse sein. Direct Recycling bedeutet per Definition nur, dass die Aktivmaterialien ihre Struktur behalten. Wie man vorher dorthin kommt, z.B. Schreddern und Auftrennen oder Öffnen der Zellen, ist zunächst zweitrangig. Die für Direct Recycling entwickelten Vorprozesse könnten auch für die Hydrometallurgie genutzt werden, um reinere Inputströme und damit weniger Verunreinigung und höhere Effizienz zu erzielen.

Das wäre dann quasi eine Vorstufe zur Schwarzmassenproduktion?

Genau – warum nicht auch Schwarzmasse produzieren, wenn man das gut kann, und diese anschließend so auftrennen, dass man über Direct Recycling weitermachen kann? Das untersucht aktuell auch ein Projekt. Ein durchaus gangbarer Weg. Der beste, aber auch anspruchsvollste Weg wäre, die Zellen zu öffnen und Kathoden und Anoden direkt zu trennen.

Kommen wir zu den Transferpotenzialen für KMUs. Was sind die Marktchancen bzw. künftigen industriellen Anwendungen speziell für KMUs?

Besonders spannend ist für uns die Zusammenarbeit mit Unternehmen, die bereits fertig entwickelte Geräte für Teilbereiche des Recyclingprozesses haben, diese aber nicht qualifizieren können. Ein Beispiel: Firma aus Stuttgart, die Reinigungsmaschinen baut, um Bauteile von Fetten, Ölen und Spanresten zu befreien. Diese Maschinen ließen sich

hervorragend zur Entschichtung von Elektroden nutzen. Die Firma weiß aber nicht, wie sie mit Batteriematerialien - Stichwort Toxizität, Elektrolyt handling- umgehen soll oder ob das Ergebnis am Ende noch brauchbar ist.

Es gibt viele solche Unternehmen, die Teilbereiche der Prozesskette abdecken könnten, dies aber nicht validieren können. Genau hier setzen wir jetzt an. Wir möchten solche Geräte in einer Art Innovations- bzw. Transferzentrum testen, um verlässlich einschätzen zu können, was gut funktioniert und was nicht, und ob das Material danach noch nutzbar ist. Es gibt viele Firmen mit passenden Geräten, deren Technologien man zusammenführen muss, gerade im Maschinenbau in Süddeutschland, genau das sehen wir als unsere Aufgabe.

Es geht also weniger um Neuentwicklung, sondern darum, bestehende Kompetenzen auf den Anwendungsfall Batterie zu übertragen?

Exakt. Neben dem – naheliegenden – Interesse der Zellhersteller sehen wir zunehmend Interesse aus der klassischen Automobilzulieferbranche: Da die Prozessketten des Verbrenners zunehmend wegbrechen, suchen diese Unternehmen nach neuen Geschäftsfeldern. Hier geht es dann eher darum, einen ganzen Prozess abzubilden – allerdings meist bei größeren Unternehmen.

Welche Rolle spielen Zukunftsthemen wie KI und Digitalisierung?

Sensorik und Digitalisierung stehen hier noch relativ am Anfang. Der Batteriepass spielt eine Rolle, da für das Recycling sortenreine Stoffströme essentiell sind. Ein Beispiel: ein Unternehmen in Würzburg, das Batterien zunächst aus Abfallströmen herausortiert und anschließend per Röntgenanalyse die Zellchemie bestimmt, um sortenrein vorsortieren zu können. Das ist sozusagen der Ausgangspunkt.

Bei neueren Batterien liefert der Batteriepass die Daten, die der Recyclingprozess benötigt; wir versuchen darüber hinaus, prädiktiv zu modellieren, welcher Recyclingprozess für ein bestimmtes Material ideal wäre. Auch automatisierte Analytik zur direkten Erkennung von Verunreinigungen in den Stoffströmen ist relevant. Insgesamt würde ich

sagen: nicht mehr und nicht weniger als in der Batterieproduktion selbst.

Blickt man nach Asien oder Richtung USA: Haben wir in Deutschland bzw. Europa ein Differenzierungspotenzial beim Direct Recycling?

Schaut man auf den Entwicklungsstand der Prozesse, waren wir Deutschen beim Direct Recycling zunächst später dran als andere EU-Länder. Deutschland zieht inzwischen aber deutlich nach.

Auch in Asien ist Direct Recycling ein großes Thema, gerade in Korea und Japan; was China konkret macht, ist schwerer einzuschätzen, aber an Veröffentlichungen sieht man, dass dort ebenfalls daran gearbeitet wird. Die USA sind ebenfalls eher undurchsichtig – dort gibt es etwa Steve Sloop, der zusammen mit dem Argonne National Laboratory zu den Urvätern des Direct Recycling zählt, bisher aber ohne große Firmen, die das industriell umsetzen. Kanada sehe ich als strategisch wichtigen Partner, der Direct Recycling ebenfalls vorantreiben will.

Das größte Manko in Europa ist: wenig Zellproduktion und, für das Recycling noch wichtiger, kaum Materialhersteller. Umso wichtiger ist es, dass IBUTec hier mit LFP eine größere Produktion aufbaut. Denn beim Direct Recycling erhalten wir das Aktivmaterial zurück, das anschließend chemisch aufgearbeitet werden muss – dafür braucht man Abnehmer vor Ort. LFP direkt recyceln und mit möglichst wenig Energieaufwand wieder zu hochwertigem LFP verarbeiten, das wäre ideal. Das ist generell das große Manko beim Recycling. Stellt man Nickel-, Kobalt- oder Lithium-Precursor her, muss man sie doch wieder nach Asien verkaufen, um sie zu Aktivmaterial weiterverarbeiten zu lassen, und schifft sie danach zurück.

Die öffentlich kommunizierte Bekanntmachung von IBUTec als LFP-Supplier von PowerCo, dürfte enorm helfen. Damit schließt sich der Kreislauf. Man hat feste Abnahmemengen, muss nicht für unterschiedliche Zellproduzenten verschiedene Zusammensetzungen oder Qualitätsstufen liefern, sondern hat ein qualifiziertes Material, recycelt es und führt es direkt wieder in die Kette ein. Ist das nicht ein Paradebeispiel, wie es funktionieren muss?

Exakt. Gerade für Direct Recycling ist LFP der perfekte Kandidat. Bei NMC-Recycling gibt es zwar unter anderem Umicore und BASF; wie aktiv die dort aktuell sind, ist unklar. Solche Unternehmen braucht man aber auch, wobei Europa bei Arbeits- und Energiekosten im Vergleich zu Asien klar im Nachteil ist.

Sie hatten die Direct-Recycling-Konferenz in Würzburg schon erwähnt. Wie gelingt hier Wissenstransfer und Ideenaustausch? Und was sind Erfolgsfaktoren, damit daraus nicht nur Gespräche, sondern auch konkrete Umsetzung wird?

Wir arbeiten nach dem Motto, gemeinsam etwas voranzubringen, statt uns abzuschotten. Wir sprechen offen über unsere Arbeit und kooperieren statt zu konkurrieren – national wie europäisch – und knüpfen gezielt kleinere strategische Partnerschaften. So haben wir ein sehr gutes Verhältnis zur Universität Birmingham, zu Emma Kendrick und Rob Sommerville, die in UK viel im Bereich Direct Recycling machen, sowie gute Kontakte nach Kanada, Spanien und Frankreich. Wir versuchen, unterschiedliche Perspektiven über Konferenzen sowie EU- und nationale Projekte zu bündeln.

National tauschen wir uns eng mit Partnern in Münster, Aachen und Braunschweig aus. Unsere Strategie ist, Stärken sinnvoll zu verteilen, statt alles selbst zu machen. Wir könnten zwar sagen, wir sind ein chemisches Institut und machen auch Hydrometallurgie – aber warum, wenn das etwa in Aachen oder in Münster bereits sehr gut abgedeckt wird? Wir setzen erst ab der geöffneten Zelle an. Die Zellöffnung ist die Schnittmenge mit anderen Partnern. Dort hat jede Seite ihre eigene Methode, ergänzt sich aber gut, weil wir die Materialseite verstehen und die andere Seite eher auf Pack-Ebene ansetzt, z.B. beim Shredding. Auch Pack-Demontage machen wir selbst nicht, dafür gibt es wieder andere Partner. Solche Kompetenzen zu bündeln, halte ich für zentral.

Etwas schade finde ich, dass es kein eigenes Forschungscluster mehr speziell für Recycling gibt. Das ist inzwischen eher in einem allgemeineren Material- bzw. Produktionscluster aufgegangen.

Austauschplattformen finde ich aber durchaus wertvoll, denn ich glaube, Recycling hat in Deutschland und Europa weiterhin enormes Potenzial. Während bei der Zellproduktion mit Blick auf die Meldungen von Morrow und Varta gerade eher gedämpfte Stimmung herrscht, gibt es beim Recycling noch echte Aufbruchsstimmung. Das ist das Schöne daran: Da ist noch viel Potenzial.

Sie haben das Thema Forschungsökosystem mit den Clustern ja schon kurz vorweggenommen, die wurden von der Community damals als sehr positiv wahrgenommen. Mit Blick auf Ihre siebenjährige Erfahrung im Batterierecycling. Was waren die Erfolgsfaktoren, was fehlt aktuell, und was würden Sie sich wünschen?

Recycling wurde anfangs eher stiefmütterlich behandelt, gewinnt in Ausschreibungen aber zunehmend an Bedeutung. Auch Direct Recycling wird inzwischen explizit in den vorläufigen Cluster-Ausschreibungen genannt. Die EU war hier schon vor einigen Jahren weiter, Deutschland zieht aber nach, was ich positiv finde. Auch in der Community hat Direct Recycling mittlerweile einen ganz anderen Stellenwert.

Ebenfalls erfreulich ist, das Design-for-Recycling-Konzepte in der Forschungslandschaft mehr Anklang finden, da Kreislaufwirtschaft und Produktdesign zusammengehören. Ganz im Sinne des R9-Frameworks (Anm.: die erweiterte Kreislaufwirtschafts-Hierarchie von "Rethink" bis "Recover") sollte man die Batterie selbst überdenken. Nimmt man etwa einen bestimmten Binder, wird das Recycling deutlich einfacher, auch wenn das 1–2 % weniger Kapazität für die Zelle bedeutet.

Schwierig ist aber die Akzeptanz dafür, weil die Batteriebranche in Deutschland sehr automobillastig ist – und die Automobilbranche ist ein besonders anspruchsvolles Umfeld, in dem Leistungs-KPI sehr stark im Fokus stehen. Würde ein E-Auto durch eine grüne Batterie 5.000 Euro teurer und hätte halb so viel Leistung, würde man bei einem Kaufpreis von 60.000–70.000 Euro vermutlich zögern. Bei anderen Anwendungen wie E-Bikes wäre die Akzeptanz für solche Kompromisse vermutlich deutlich größer. Die Automobilproduktion mit ihren strengen Lasten- und

Pflichtenheften ist dagegen schon die Königsdisziplin.

Nochmal international geblickt: Wie funktioniert dort der Wissenstransfer im Vergleich zu uns? Können wir von anderen lernen?

Mit dem Vorbehalt, dass das nur Teilwissen ist: In UK gibt es sogenannte Zentren und wir waren zum Beispiel an der University of Warwick, wo der Staat die Infrastruktur für die Produktion stark finanziert und Industrie und Forschung dort gemeinsam arbeiten. Das ist ein bisschen wie eine kleine FFB, nur mit noch mehr direktem Industriezugang – für Recycling gibt es das bislang noch nicht, wohl aber für die Produktion. In Frankreich, etwa am CEA-Campus, sind noch mehr Unternehmen direkt an die Forschungsinstitute angebunden. In Deutschland ist das insgesamt etwas anders organisiert.

Was ich aus Fraunhofer-Sicht sehr gut finde, ist beispielsweise unsere aktuelle Nachwuchsgruppe mit Industriepartnern. Wir bekommen von der Firma dann die Maschine oder Technologie zum testen und müssen diese nicht Anschaffen, gerade wenn keine großen Mittel hierfür zur Verfügung stehen. Also einigen wir uns: Die Firma stellt die Technologie zur Verfügung, wir testen sie und generieren im Gegenzug Know-how, unsere Doktorandinnen und Doktoranden können daran forschen, und die Firma profitiert dann von dem getesteten Equipment – eine klare Win-Win-Situation für beide Seiten. Bei der Nachwuchsgruppe funktioniert es also extrem gut und es entstehen schnell viele neue Ansätze, weil man nicht den ganzen bürokratischen Prozess mit Angebotserstellung und öffentlicher Projektausschreibung durchlaufen muss, bei dem es erst in zwei Jahren losgeht. Stattdessen zeigt sich erst, dass etwas funktioniert, und danach stellt man gemeinsam einen Förderantrag.

Im normalen, bürokratischen Alltag funktioniert das aber nicht. Gerade KMUs können sich oft keine 50.000 Euro oder mehr für eine erste Machbarkeitsstudie leisten und bekommen dafür intern keine Freigabe. Hier fehlen aus meiner Sicht niedrigschwellige Fördermöglichkeiten von staatlicher Seite, etwa Innovationsgutscheine, mit

denen man einfach mal etwas mit den passenden Experten und Geräten ausprobieren kann.

Die kürzlich vom BMFTR veröffentlichten vertikalen Applikationsallianzen klingen dafür wirklich spannend, gerade für Direct Recycling, weil man darüber qualifizieren und in Kreisläufen denken kann und direkt mit Industrie und Kunden zusammenarbeitet.

Genau, ideal wäre es zum Beispiel, ein E-Bike als Anwendungsfall zu nehmen und das entsprechend im Kreislauf zu testen.

Beim Recycling sollte insgesamt mehr passieren. Ich würde sehr stark auf günstigere Chemien setzen. Natrium halte ich für sehr wichtig und vielversprechend, perspektivisch auch Kalium. Mehr Aufmerksamkeit verdient außerdem recyclinggerechtes Design, um die Kreislaufwirtschaft weiter voranzubringen. Praktiken wie das Verkleben von Packs im Cell-to-Pack-Verfahren, bei denen man am Ende gar nicht mehr weiß, wie man das später recyceln soll, sind dabei ein echter Albtraum. Aktuell haben die laufenden Batteriegenerationen sehr lange Entwicklungszyklen, und für ein Auto muss oberste Priorität sein, dass nichts verrutscht oder kaputt geht – das ist völlig nachvollziehbar. Aber ich sehe bei verschiedenen OEMs durchaus den Ansatz, von bestimmten Praktiken wegzukommen und aktiv nach Lösungen zu suchen. Auch Materialhersteller entwickeln bereits Konzepte für auslösbare Klebmassen, die sich später wieder öffnen lassen, damit man zumindest wieder an das Material herankommt.

Zum Abschluss: Wenn Sie einer KMU-Geschäftsführung, die überlegt, in die Batteriebranche einzusteigen, einen einzigen Rat geben könnten – welcher wäre das?

Ich nehme als Einstieg mal ein Beispiel: Es gab ein Unternehmen, das Direct Recycling abbilden wollte und dabei vor der Frage stand: Wo kaufe ich überhaupt die passenden Maschinen? Es gab schlicht keine fertigen Maschinen dafür. Dieses KMU hat sich getraut, es dennoch zu versuchen – und es hat funktioniert. Als eines der ersten Unternehmen für diesen Prozessschritt bei einem großen Kunden dabei zu sein, ist ein echtes Prestigeprojekt; ein First-

Mover-Vorteil. Andere Firmen sehen das. Das kann für ein Unternehmen also relativ schnell sehr vorteilhaft werden.

Ich würde daher sagen: Mut zur Innovation. Batterien werden bleiben, gerade LFP-Batterien, und irgendetwas muss man mit ihnen am Ende ihres Lebenszyklus machen. Ich gehe davon aus, dass es über kurz oder lang eine Regulatorik geben wird, die das Recycling von LFP-Batterien wirtschaftlich attraktiver machen wird.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Literatur

- [1] Hemmelder, A., Panda, A., Peiseler, L. *et al.* Knowledge interdependencies between lithium- and sodium-ion battery chemistries. *Nat Energy* **11**, 313–323 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41560-026-01985-z>
- [2] Rennert, H., Wolf, R. Automobilzuliefer-Studie 2026, *strategy&* (20. August 2026). <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/branchen/automobil/automobilzulieferer.html>
- [3] Dahmen, C., et al. Mastering Ramp-Up of Battery Production, Fraunhofer FFB & PEM RWTH Aachen. <https://doi.org/10.24406/publica-3727>