



Deutscher Bundestag
Ausschuss für Bildung, Forschung
und Technikfolgenabschätzung
Ausschussdrucksache
20(18)270c
29.11.2024

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik **IWF**

Technische Universität Braunschweig |
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
Langer Kamp 19 b | 38106 Braunschweig | Deutschland

Deutscher Bundestag
Ausschusses für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung
Platz der Republik
11011 Berlin
E-Mail: bildungundforschung@bundestag.de

Technische Universität
Braunschweig
**Institut für Werkzeugmaschinen und
Fertigungstechnik**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

Langer Kamp 19 b
38106 Braunschweig
Deutschland

**Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Bildung,
Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages am Mittwoch, den
4. Dezember 2024 zum Thema „Forschungsförderung des Bundes im Bereich der
Batterieforschung“ in Verbindung mit**

- a) **Antrag der CDU/CSU-Fraktion: Für eine starke Batterieforschung in Deutschland**
- b) **Antrag der Fraktion der AfD: Batterie-Recycling – Bedarf erforschen und Methoden verbessern**

https://www.tu-braunschweig.de/iwf/

29. November 2024

Batterien als Schlüsseltechnologie für Produkte aus Deutschland und Europa

Energiespeicher bzw. Batterien sind eine Schlüsseltechnologie. Sie bilden das Herz in zahlreichen modernen Produkten des täglichen Lebens wie Smartphones, Laptops, Elektrofahräder/E-Bikes, mobile Werkzeuge (z.B. Akku-Schrauber) und Haushaltsgeräte (z.B. Saugroboter) sowie zukünftig auch vermehrt mobile Assistenzroboter (z.B. im Service oder der Pflege). Leistungsfähige Batterien sind unverzichtbar für die Elektromobilität und tragen als stationäre Speicher wesentlich zum Ausbau erneuerbarer Energien und damit zur Energiewende in Deutschland bei. Ihre Produktion und die zukünftig verstärkt über Recycling hergestellten Batteriematerialien bieten ein enormes wirtschaftliches Potenzial: Beim Elektrofahrzeug entfallen bis zu 50% der Wertschöpfung auf das Batteriesystem. Das Recycling von Batteriematerialien gewinnt hierbei zunehmend an Bedeutung, da es eine nachhaltige Ressourcennutzung ermöglicht. Heute stammt ein Großteil der benötigten Batterien nicht aus Deutschland oder Europa, sondern aus Asien. Was passiert, wenn sich die in der Batterieproduktion heute dominierenden Länder dazu entscheiden, Batterien zukünftig nicht mehr nach Deutschland bzw. Europa zu liefern? Oder wenn sie diese nur noch als Teil fertiger Produkte exportieren? Szenarien, die vor wenigen Jahren unwahrscheinlich schienen, sind angesichts veränderter geo-politischer Verhältnisse heute nicht mehr auszuschließen. Um auf solche Herausforderungen vorbereitet zu sein, betont das BMBF die Notwendigkeit technologischer Souveränität: „Wir müssen in der Lage sein, Schlüsseltechnologien zu verstehen, zu entwickeln und zu produzieren - so sichern wir Wohlstand und Arbeitsplätze und wahren unsere Werte.“ (BMBF, 2024).

Deutschland als Produktionsstandort

Die Bedeutung industrieller Wertschöpfung und insbesondere industrieller Produktion kann nicht hoch genug bewertet werden. Sie war und ist der Motor für den gestiegenen und aktuellen Wohlstand in Deutschland (wie auch in vielen anderen entwickelten Ländern). Der Anteil des produzierenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung in

Deutschland betrug im Jahr 2023 etwa 24 % (Statista 2024b). Besonders hervorzuheben ist die Automobilindustrie, die ca. 5% der zur Bruttowertschöpfung beiträgt und rund 780.000 Menschen direkt beschäftigt (BMWK 2024). Deutschland hat sich als führender Wissenschafts- und Innovationsstandort in Europa im Bereich der Batterieforschung eine starke Position aufgebaut. Das enge Zusammenwirken zwischen Wissenschafts- und Wirtschaftspolitik hat dazu beigetragen, die Batteriebranche in den letzten Jahren sowohl bei der Anzahl der Beschäftigten als auch beim Umsatz erheblich zu stärken. Studien prognostizieren bis Ende 2030 einen weiteren Anstieg der Arbeitsplätze in Europa auf rund 200.000 bis 250.000 (Statista 2024a; Fraunhofer ISI 2024). Allein in Deutschland wurden bereits ca. 15.000 Fachkräfte ausgebildet und die Anzahl wird sich bis 2030 verdoppeln. Die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte ist essenziell für eine wettbewerbsfähige Batterieindustrie. In der Industrie und Wissenschaft wurden und werden weiterhin enorme Anstrengungen unternommen, die benötigte Anzahl an Batterieexperten aus-/ weiterzubilden bzw. aus zurückgehenden Bedarfen in anderen Unternehmensbereichen umzuschulen. Universitäten und Hochschulen haben in den letzten Jahren innovative (duale) Studiengänge für die Fachkräfte von morgen entwickelt, für deren nachhaltige und langfristige Umsetzung attraktive Studien- und Berufsperspektiven essenziell sind.

Insgesamt werden in der Batterieforschung dringend benötigte Kompetenzen durch intensive wissenschaftliche Arbeit und praxisnahe Ausbildung erworben. Diese Kompetenzen werden durch die Integration von hochqualifizierten und promovierten Fachkräften in die Wirtschaft eingebracht. Auf diese Weise profitieren Unternehmen direkt vom neuesten Stand der Forschung und sichern sich entscheidende Innovationsvorteile in einem hochdynamischen Technologiefeld. Das erworbene Wissen aus der Batterieforschung ist vielseitig einsetzbar: Es lässt sich auf zukunftsweisende Technologien wie Festkörperbatterien übertragen und fördert interdisziplinäre Innovationen etwa in den Bereichen Brennstoffzellen, Elektromotoren oder Elektrolyseure. So ist die Batterieforschung ein zentraler Baustein für die technologische Weiterentwicklung und Wettbewerbsfähigkeit in verschiedenen Schlüsselindustrien.

Deutschland als Ausrüster von Fabriken

Deutschland ist nicht nur ein bedeutender Standort für die Produktion, sondern mit vielen Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau auch ein bedeutender Ausrüster von Fabriken weltweit. Der Maschinen- und Anlagenbau ist insbesondere geprägt durch mittelständische Unternehmen. Diese Unternehmen sind u.a. führend im Bereich der Maschinen und Anlagen für komplexe Prozesse sowohl in der Produktion als auch im Recycling. Innerhalb des deutsch-europäischen Batterie-Ökosystems haben sich in den letzten Jahren eine Vielzahl an Kooperationen entwickelt. Ein Beispiel, auch für die vernetzende Rolle der deutschen Wissenschaft im europäischen Ökosystem, ist die aus der TU Braunschweig koordinierte Plattform LiPLANET. Die aktuell 12 Mitglieder von LiPLANET repräsentieren die wichtigsten Lithium-Batterie-Pilotlinien in Europa. In den Pilotlinien kommt modernste Anlagentechnik zum Einsatz. Unternehmen haben hier die Möglichkeit ihre Anlagen zu testen, zu demonstrieren und auch mit Anlagen anderer Hersteller zu vernetzen sowie ihre Mitarbeitenden zu schulen. Für eine technologische Souveränität wird es auch bedeutsam sein, dass durch Kooperation deutsch-europäische Leistungsangebote entstehen, die perspektivisch mit asiatischen „Vollausrüstern“ konkurrieren können. Ein Beispiel für unternehmensübergreifende Zusammenarbeit ist die Kooperation der drei Mittelständler Dürr, Grob und Manz. Jüngst haben die Unternehmen unter der Überschrift „Europa-Fabrik“ eine Konzeptfabrik zur Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien vorgestellt, verbunden mit der Vision: komplette Batterie-Produktionsanlagen aus einer Hand anzubieten (Dürr, 2024).

Herausforderungen und warum Batterieforschung von hoher Bedeutung ist

Herstellung, Nutzung und Recycling von Batterien ist, wie auch bei anderen elektrischen und elektronischen Produkten, mit Herausforderungen verbunden. Die Herstellung von Batteriezellen umfasst zahlreiche verfahrens- und fertigungstechnische Prozessschritte, wird stark vom Wechselspiel Material – Prozess – Batterieeigenschaften bestimmt und ist sehr komplex. Entsprechend gibt es hunderte von Einfluss- und Störgrößen, und das tiefe Verständnis der Produktionsprozesse und dessen bestimmender Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und Qualität der Zelle ist sehr entscheidend für den wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb einer (Giga-)Batteriefabrik,

insbesondere auch in der Anfangsphase. Dieses tiefe Verständnis kann nur durch intensive Forschung & Entwicklung aufgebaut werden. Fortlaufende Innovationen sind darüber hinaus erforderlich, um international wettbewerbsfähig zu sein und die Leistungsfähigkeit sowie Nachhaltigkeit der Batterien zu steigern. Eine zentrale Herausforderung ist der Bedarf an für die Herstellung von Batterien benötigten Rohstoffen. Viele dieser Rohstoffe sind in Deutschland (und Europa) nicht oder bisher nur in zu geringen Mengen verfügbar und müssen daher importiert werden. Die Gebiete mit umfangreichen Rohstoffvorkommen wiederum liegen häufig in Schwellen- oder Entwicklungsländern, wo die vorherrschenden Abbaubedingungen häufig nicht mit einer umwelt- und sozialverträglichen Sourcing-Strategie für nachhaltige Batterien vereinbart werden können. Entsprechend gilt es den Lebensweg von Batterien so zu gestalten und zu steuern, dass unter Ausschöpfung der Potenziale effizienter Recyclingtechnologien Sekundärrohstoffketten aufgebaut und Abhängigkeiten von Primärrohstoffketten deutlich reduziert werden. Hier bieten sich auch Chancen für deutsche Unternehmen, Differenzierungsmerkmale im weltweiten Wettbewerb aufzubauen.

Den gesamten Produktlebensweg von Batterien in den Blick nehmen: Life Cycle Engineering von Produkten und Prozessen

Batterien müssen nicht nur technisch-wirtschaftlich, sondern auch im Hinblick auf ökologische Anforderungen überzeugen. Aus diesen Gründen hat das vom BMBF-geförderte Kompetenzcluster „Recycling & Grüne Batterie“ (greenBatt) zwei zentrale Handlungsfelder abgeleitet:

- (1) die systematische Gestaltung des gesamten Batterielebenszyklus (Life Cycle Engineering),
- (2) das Schließen von Material- und Stoffkreisläufen und damit die Integration von rückgewonnenen Materialien und Rohstoffen in die Batteriezellproduktion.

Das Kompetenzcluster greenBatt war – zumindest aus Sicht der Wissenschaft und vor der drastischen Kürzung der Förderung der Batterieforschung – mittel- bis langfristig angelegt. Es bündelte die umfassenden Erfahrungen, Kompetenzen und anlagentechnischen Infrastrukturen führender Akteure auf den zugehörigen Themenbereichen der Batterieforschung in Deutschland. Wichtige Herausforderungen, die das Kompetenzcluster angegangen ist und zukünftig angehen wollte, umfassen:

- Schaffung einer nachhaltigen Materialbasis durch Einsatz recycelter Rohstoffe und umweltverträgliche Rohstoffgewinnung
- Entwicklung, Gestaltung und Anwendung innovativer Prozesse für ein energie- und ressourceneffizientes Recyclingsystem mit dem Ziel der möglich vollständigen Rohstoffrückgewinnung
- Bereitstellung von multidisziplinären Lebenszyklus-Modellen, -Methoden und -Werkzeugen zur Ableitung und Bewertung von Material- und Prozessinnovationen
- Bereitstellung von digitalen Technologien sowie Methoden und Werkzeugen zur Erhöhung der Qualität und Verfügbarkeit von Daten/Informationen über den gesamten Batterielebenszyklus und in den einzelnen Lebenszyklusphasen mit besonderem Fokus auf die Phase End-of-Use/End-of-Life
- Entwicklung und Beurteilung von Handlungsempfehlungen für die optimale Gestaltung für End-of-Use bzw. End-of-Life Batterien

Aufgrund der Kürzungen in der Forschungsförderung wurde ein Rahmenplan für eine Fortsetzung bzw. Weiterentwicklung des Kompetenzclusters bisher nicht veröffentlicht.

Antworten zu den in den Anträgen genannten Herausforderungen (insbesondere Antrag b)

Skalierung vom Labor über das Technikum bis zur industriellen Umsetzung

- Für viele komplexe Prozesse – in der Produktion wie auch im Recycling – kann der Weg von der Grundlagenforschung bis zur groß-skaligen industriellen Umsetzung lang sein. Die Anforderungen an Umwelt-, Gesundheits- und Brandschutz sowie Sicherheitsauflagen sind in Deutschland – im internationalen Vergleich – hoch. Diese hohen Anforderungen haben aber auch dazu geführt, dass Produkte sowie Maschinen und Anlagen deutscher Unternehmen höchste Standards erfüllen und in vielen Bereichen deutsche Unternehmen zu den Technologieführern gehören; dies gilt insbesondere auch für den Maschinen- und Anlagenbau. Trotz dieser hohen Anforderungen gibt es bereits erfolgreiche Beispiele für die Skalierung von Forschungsprojekten und den Transfer in die Industrie. Bereits in den Projekten LithoRec (2009 bis 2011) sowie LithoRec II (2012 bis 2015) haben Forschende aus Wissenschaft und Industrie gezeigt, wie eine Prozesskette zum Recycling von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien umgesetzt werden kann. Untersucht wurde dabei die gesamte Prozesskette von der Deaktivierung von Batterien und Zellen über die Zerkleinerung und Trennung der verschiedenen Materialfraktionen bis hin zur Rückgewinnung des Aktivmaterials. Wichtige Verfahrensschritte wurden abschließend in einer Technikumsanlage an der TU Braunschweig erprobt. U.a. aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde Ende 2023 mit dem CircularLab eine Pilotanlage für die zirkuläre Batterieproduktion an der TU Braunschweig als Teil der Battery LabFactory Braunschweig (BLB) in Betrieb genommen. Untersucht wird hier, wie Lithium-Ionen-Batterien recycelt und eine Kreislaufproduktion umgesetzt werden kann. Der Transfer der Ergebnisse in die Praxis erfolgt beispielsweise über Köpfe (Wechsel aus der Wissenschaft in die Industrie) und Ausgründungen. Beispiele für Letzteres sind die Unternehmen Duesenfeld GmbH, No Canary GmbH, und cylib GmbH.

Hohe Rückgewinnungsraten und Erfüllung gesetzlicher Anforderungen

- Auf Gesamtbatterieebene liegen Gesamt-Rückgewinnungsraten etablierter Recyclingunternehmen bereits bei mehr als 60%, teilweise sogar deutlich mehr als 70% und eine stetige positive Entwicklung war in den letzten Jahren erkennbar. Je nach Recyclingtechnologie können bereits heute > 90% der wesentlichen Materialien zurückgewonnen und somit im Materialkreislauf gehalten werden. Notwendige Qualitäten für den Wiedereinsatz in Batterien werden durch entsprechende Aufbereitungsschritte sichergestellt. Bei vielen Prozessen ist inzwischen auch eine Rückgewinnung von Lithium möglich – dies zeigt sich sowohl in Forschungsansätzen als auch in Verfahren in der Industrie (Ahuis et al., 2024, Ali et al., 2024, Blömeke et al., 2022, Latini et al., 2022, van Hoof et al., 2023). In der Forschung (z.B. im Rahmen von greenBatt) wird/wurde dabei vor allem die Rückgewinnung von Lithium aus thermischen Verfahren fokussiert – entweder durch Rückgewinnung von Lithium aus der Schlacke (z.B. in PyroLith) oder durch eine Rückgewinnung vor der thermischen Behandlung (z.B. in EarLiMet, EVanBatter, HVBattCycle). In verschiedenen Verfahren sind bereits Lithiumrückgewinnungsraten von mehr als 70% möglich (Ali et al., 2024; Blömeke et al., 2022). Dabei zeichnet sich auch ab, dass Lithium mit geringeren Umweltwirkungen zurückgewonnen werden kann als mit der Primärerzeugung verbunden sind.
- Darüber hinaus wird/wurde an der Rückgewinnung von Graphit (z.B. in ecoLiga) und Elektrolyt (z.B. LOWVOLMON) geforscht. Für Graphit wurde ein Rückgewinnungsverfahren entwickelt, das eine Rückgewinnung mit entsprechender Qualität ermöglicht und auch hier vermutlich die Umweltwirkungen gegenüber der Primärproduktion senkt.
- Bereits existierende und vielversprechende Ansätze, um möglichst viele Materialien in hoher Qualität zurückzugewinnen zu können, müssen künftig weiter erforscht und skaliert werden, um den Transfer in die Industrie zu unterstützen.
- Die weitere Skalierung und der Transfer in die Industrie sind vor allem in Hinblick auf aktuelle europäische Gesetzgebung relevant. Auf europäischer Ebene wird eine Kreislaufwirtschaft für Batterien im speziellen (Batterieverordnung, (European Parliament and European Council, 2023)) und kritische Rohstoffe im Allgemeinen (Critical Raw Materials Act, (European Commission, 2023)) forciert, um unabhängiger von internationalen Lieferketten zu werden. Heutige Lieferketten von Elektrofahrzeugen werden von der

Rohstoffgewinnung bis zum fertigen Elektrofahrzeug von China dominiert, vor allem in den Phasen der Materialprozessierung, Komponenten- und Zellherstellung (IEA (International Energy Agency), 2022).

- Die EU hat mit der Batterieverordnung Ziele für die Rückgewinnung von kritischen Batteriematerialien und deren Wiedereinsatz (closed-loop) in neuen Batterien festgeschrieben. Für Cobalt, Nickel, Kupfer und Lithium sind ab 2027 materialspezifische Rückgewinnungsraten festgeschrieben. Für Lithium liegen diese zunächst bei 50% und steigen auf 80% in 2031. Die im Vergleich zu den anderen Materialien (>90 bzw. >95%) geringere Rückgewinnungsrate resultiert aus nötigen technischen Weiterentwicklungen sowohl von thermischen Verfahren als auch insbesondere von hydrometallurgischen Verfahren (SYSTEMIQ, 2024).
- Ab 2031 ist der Einsatz von Sekundärmaterial (Rezyklatanteile) in neuen Batterien in der EU gesetzlich bindend, wofür ausreichend Sekundärmaterial in Quantität und Qualität zur Verfügung stehen müsste. Ab 2031 liegt der geforderte Rezyklatanteil für Lithium und Nickel bei 6%, für Kobalt bei 16%. Bis 2036 steigen die Zielwerte auf 12% für Lithium, 15% für Nickel und 26% für Kobalt. Um diese zu erreichen, sind weitere Entwicklungen der Prozesse von der Sammlung bis hin zur Rückgewinnung von genutzten Batterien nötig (Ginster et al., 2024).
- Aus regulatorischer Sicht ist das Recycling und die Herstellung von Aktivmaterialien aus Sekundärmaterialien zwingend notwendig. Wenn der Aufbau der entsprechenden Kapazitäten nicht in Deutschland erfolgt, machen wir uns weiterhin abhängig von internationalen Lieferketten. Vor allem in China werden die Recyclingkapazitäten schon stark skaliert. Vor allem der Critical Raw Materials Act legt den Fokus auf Aufbau von Infrastruktur entlang der Wertschöpfungskette in Europa. Auch hier ist es wieder in unserem Interesse, Teile der Wertschöpfung nach Deutschland zu holen und ein relevanter Akteur zu sein und zu bleiben.

Kurze Innovationszyklen im Batteriebereich treiben Innovation im Recycling

- Weitere Forschung im Bereich des Batterierecycling sind auch notwendig, um auf kurze Innovationszyklen – die das große Entwicklungspotenzial von Batterien widerspiegeln – zu reagieren. Trotz kurzer Innovationszyklen werden oftmals ähnliche Materialien verwendet sowie lediglich deren Anteile variiert und Wechsel in der Zellchemie passieren nicht von heute auf morgen (International Energy Agency, 2024). Die Technologien haben daher auch immer Hochlauf- und Rücklaufphasen. In jedem Fall ist ein Technologie-Roadmapping wichtig, um strategische Anpassungen an Recyclingprozesse zu identifizieren und umzusetzen. Weitere Forschung an effizienten Recyclingverfahren ist daher notwendig. Zukünftig werden Recyclingstandorte eher Kreislauffabriken sein, denen eine Schlüsselfunktion im Sinne einer zirkulären Produktion zukommt.
- Elemente wie der gesetzlich verpflichtende Batteriepass können so ausgestaltet und in die Abläufe zur Sammlung und Sortierung von Produktionsabfällen und Altbatterien eingebunden werden, dass sie ein sortenreines Recycling unterstützen und darüber hinaus im Recycling die Prozesssteuerung ermöglichen. Blockchain-basierte Ansätze können hier einen bedeutenden Beitrag zur Batterieindustrie leisten, indem sie den sicheren und vertrauenswürdigen Austausch hochsensibler Daten ermöglichen. Gleichzeitig besteht der Bedarf weitere Recyclingverfahren zu entwickeln, die robust gegenüber Technologievielfalt sind und trotzdem die hohen gesetzlichen Anforderungen erfüllen.
- Erste Forschungsarbeiten zum Recycling von Feststoffbatterien (z.B. in S²TaR) zeigen darüber hinaus, dass viele der Grundoperationen im Recycling konventioneller Lithium-Ionen-Batterien genauso auch auf Festkörperbatterien übertragbar sind (Ahuis et al., 2024). Hier besteht weiterer Bedarf an effizienten und möglichst übertragbaren Recyclingprozessen, um auf neue Batterietechnologien zu reagieren.

Wirtschaftlichkeit eines Batterierecyclings

- Die (mindestens mittelfristige) Wirtschaftlichkeit des Batterierecyclings ist durch zahlreiche Studien (vgl. Blömeke et al. 2022, Dai et al. (2019)) sowie durch den Aufbau von Recyclingkapazitäten verschiedener Produzenten und Recycler belegt (Soldan, 2023). Aktuell besteht der Recyclinginput im Wesentlichen aus Produktionsabfällen der Batterieproduzenten, wobei der Anteil an gebrauchten Batterien auf Grund ihrer Nutzungszeit zum Ende des Jahrzehnts signifikant ansteigen wird (McKinsey, 2024). Hierfür muss bereits jetzt der Grundstein in der Forschung gelegt sowie der Kapazitätsaufbau in der Industrie angestoßen werden. Das

Abwandern von Batterieproduktionskapazitäten aus Deutschland hätte weitreichende Folgen: Es würde nicht nur den Verlust von Produktionsabfällen bedeuten, sondern auch den rechtzeitigen Aufbau und das Einfahren dringend benötigter Recyclingkapazitäten gefährden.

- Der logische Entwicklungstrend hin zu Batterietechnologien mit günstigeren und weniger kritischen Materialien wie Eisen (LFP) oder Natrium (NIB) stellt die zukünftige Rentabilität aktueller Geschäftsmodelle, welche sich über den Verkaufserlös der zurückgewonnenen Materialien finanzieren, vor Herausforderungen. Dieser Trend erfordert neue Geschäftsmodelle der Recycler und Produzenten gleichermaßen, die die Bedeutung von geschlossenen Materialkreisläufen und die Verlagerung der Wertschöpfung nach Europa adressieren. Ein möglicher Lösungsansatz, der intensive Forschungsanstrengungen bedarf, ist das direkte Recycling der Aktivmaterialien ohne Zerlegung in die einzelnen elementaren Materialkomponenten.
- Ein weiterer Punkt für die Wirtschaftlichkeit von Batterierecycling ist die Forschung an und Umsetzung von recyclinggerechtem Design von Batterien (z.B. in ReDesign und HydroLIBRec im Rahmen von greenBatt), um ein effizientes Recycling zu unterstützen.

Einhaltung hoher Umwelt-, Gesundheits- und Brandschutzanforderungen

- Batterie-Recyclinganlagen fallen unter das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und unterliegen in der Planungsphase und dem Betrieb hohen Ansprüchen an die Minimierung von Risiken und Auswirkungen auf Umwelt und Mensch. Die reaktionsbedingte Entstehung kritischer (gasförmiger) Stoffe (z.B. HF-Gas) ist möglich. Eine signifikante Freisetzung ist bei adäquater Handhabung auf Grund von Sicherheitsstandards wie Prozessschleusen, Abgasnachverbrennungen und diverser Abluftfilter nahezu ausgeschlossen.
- Recycling erhöht insgesamt die Wertschöpfung aus Altbatterien (Liu et al. 2020). Die Rückstände, die bei einem ordnungsgemäßen Recyclingprozess anfallen, können oft weiterverarbeitet oder wiederverwertet werden. Innovative Verfahren wie die Rückgewinnung von Metallen verringern die Menge an Abfall und erhöhen die Effizienz (Haro et al. 2021).
- In Batterie-Recyclingbetrieben herrschen sehr hohe Brandschutzanforderungen und Sicherheitskonzepte wie z.B. räumliche Trennung von zeitlich begrenzter Lagerung und Verarbeitung sowie Löschesysteme für ganze Batteriepacks und Komponenten. Die größere Gefahr liegt in der Regel außerhalb der Batterie-Recyclingbetriebe und beginnt bei den geringen Sammelquoten. Nicht fachgerecht entsorgte (Consumer-)Batterien resultieren in erhöhten Brandrisiken in Recyclingbetrieben für anderen Frachten, wie z.B. Elektronik- und Restmüll-Entsorgungsbetrieben (BVSE 2024). Darüber hinaus bilden unbekannte Produktzusammensetzungen und instabile (verunfallte/ beschädigte) Batterien bei nicht sachgerechter Separierung und Behandlung ein erhöhtes Risiko gegenüber intakten Batterien am Ende ihrer Nutzung bzw. ihres Lebens. Um diesem zu begegnen ist es wichtig, die Transparenz der Produktzusammensetzung und Nutzungshistorie (Restqualität) entlang des Produktlebenszyklus zu erhöhen (u.a. über den Batteriepassport).

Zusammenfassend – wesentliche Argumente für eine Wiederaufnahme der Forschungsförderung, insgesamt aber insbesondere auch für Universitäten (vgl. Kwade et al., 2024)

- Vernetzung und Innovationsökosystem: Die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) initiierten Kompetenzcluster haben ein enges Netzwerk zwischen deutschen Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen geschaffen. Dieses Netzwerk ist international sichtbar und trägt maßgeblich zur Innovationskraft Deutschlands und der Entwicklung von Fachkräften im Bereich der Batterietechnologie bei. Die derzeit vorgesehene vollständige Streichung der Mittel für die Kompetenzcluster und auch neue Verbundprojekte gefährdet massiv dieses Ökosystem und schwächt die Position Deutschlands im globalen Wettbewerb. Schon jetzt ist gerade im Bereich internationaler Kooperationen erster Schaden entstanden, der zu einem schlechten Bild, insbesondere auch für Investoren, in der Welt führt.
- Fachkräftemangel und Ausbildungsstätten: Die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte ist essenziell für den Aufbau und den Erhalt einer wettbewerbsfähigen Batterieindustrie in Deutschland. Insbesondere die deutschen Universitäten – beispielhaft die TU Braunschweig mit einem eigenen Bachelorstudiengang – spielen eine entscheidende Rolle in der Ausbildung von Bachelor- und Masterstudierenden sowie

Promovierenden in diesem so wichtigen Zukunftsbereich. Das erforderliche Umfeld und eine Praxisnähe für die Durchführung von Abschlussarbeiten kann nur durch eine höhere Anzahl an Forschungsprojekten und über diese Projekte finanzierte wissenschaftliche Mitarbeitende sichergestellt werden. Eine drastische Kürzung der Forschungsförderung hat zur Konsequenz, dass sich die Anzahl der ausgebildeten Fachkräfte massiv verringern wird, was langfristig die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands erheblich schwächen wird.

- Gefahr, die Batterieforschung nachhaltig zu schädigen, insbesondere an Universitäten: Das drastische Streichen jeglicher Fördermittel für neue batteriebezogene Forschungsprojekte im Bereich „Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität“ gefährdet in höchstem Maße die Zukunft der deutschen Batterieforschung und damit die technologische Souveränität Deutschlands. An Universitäten kann das über mehr als ein Jahrzehnt aufgebaute Wissen weder ausgebaut noch erhalten werden, da neues Personal zur Übernahme des Wissens fehlt, wenn die letzten Promovierenden ausscheiden. Dies zementiert eine Abhängigkeit von außereuropäischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen.
- Unzureichende Nutzung moderner Forschungsinfrastrukturen: An großen Universitätsstandorten wie Braunschweig, Karlsruhe und München wurden durch Maßnahmen wie ForBatt hochmoderne Forschungsinfrastrukturen geschaffen oder sind in auslaufenden Projekten im Aufbau. Ohne entsprechende Projektfinanzierung bleiben diese ungenutzt. Dabei sind diese Infrastrukturen essenziell für die Weiterentwicklung neuer Batteriegenerationen, das Batterierecycling und die zirkuläre Produktion. Ohne eine Wiederaufnahme der Förderung wird diese strategisch wichtige Infrastruktur nicht sinnvoll betrieben werden können. Deutschland wird seine führende Rolle in der Batterieforschung verlieren.
- Verlagerung von Forschung und Investitionen ins Ausland: Das Ausbleiben der Förderung neuer Forschungsprojekte durch das BMBF, sowohl in der industriellen Verbundforschung als auch bei Kompetenzclusterprojekten, wird Unternehmen dazu veranlassen, ihre Investitionen ins Ausland zu verlagern. Dies betrifft die Wertschöpfung in der Elektromobilität und andere batterierelevante Industrien, was erhebliche Arbeitsplatzverluste in Deutschland zur Folge haben könnte. Zusätzlich wird die Abwanderung hochqualifizierter Fachkräfte ins Ausland begünstigt, wo die Batterieforschung weiterhin stark unterstützt wird.
- Notwendigkeit eines breiten Ansatzes zur Batterieforschung: Die Entwicklung neuer Batteriegenerationen wie Festkörperbatterien, Natrium-Ionen-Batterien oder Metall-Luft-Batterien erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie. Das Konzept, Ideen aus verschiedenen Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Deutschland an der Forschungsfertigung Batteriezelle (FFB) zur Skalierung und Demonstration weiterzuentwickeln, droht zu scheitern. In einem Industrieland wie Deutschland ist ein breit angelegter Forschungsansatz notwendig. Dieser sollte die relevanten deutschen Universitäten einbeziehen, um Zukunftstechnologien zu entwickeln, die für nachhaltige Mobilität und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie entscheidend sind.
- Internationale Kooperation und Wettbewerbsfähigkeit: Deutschland hat durch internationale Kooperationen im Bereich der Batterieforschung, beispielsweise mit Taiwan, Japan und Israel, eine starke Position im globalen Forschungsnetzwerk aufgebaut. Diese Netzwerke wären durch eine Reduktion der Fördermittel gefährdet, was Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit auf internationaler Ebene massiv beeinträchtigen würde. Nur durch eine Fortsetzung und den Ausbau dieser Kooperationen kann Deutschland seine Position als führender Standort in der Batterieforschung behaupten.
- Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU): Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) profitieren erheblich von ihrer Einbindung in Verbundprojekte der Batterieforschung. Diese Projekte bieten ihnen Zugang zu Forschungsergebnissen und stärken ihre Innovationskraft. Zudem profitieren KMU von gemeinsamen, anwendungsorientierten Abschlussarbeiten und bilateralen Industrieaufträgen, bei denen aktuelle Forschungsfragen durch Experten auf moderner Infrastruktur bearbeitet werden. Ein Wegfall der Mittel für neue Forschungsprojekte würde diese Unternehmen stark benachteiligen, da sie nicht über die finanziellen Ressourcen verfügen, um eigenständig in Forschung und Entwicklung zu investieren.
- Fazit: Die Wiederaufnahme der Forschungsförderung für die Batterieforschung, gerade auch an Universitäten, ist essenziell für die Zukunft der deutschen Batterieindustrie, den wertschöpfenden Einsatz der über viele Jahre aufgebauten Infrastruktur, die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte und die

Sicherstellung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Ohne diese Förderung droht Deutschland, seine führende Rolle in der Batterieforschung und damit seine technologische Souveränität zu verlieren. Die Auswirkungen auf Wirtschaft und Arbeitsmarkt wären gravierend. Zudem würde der Übergang zu einer CO₂-neutralen Wirtschaft erheblich ins Stocken geraten. Es ist daher dringend erforderlich, Fördermittel für neue Batterieforschungsprojekte bereitzustellen und die Batterieforschung, insbesondere an den von den Streichungen stark betroffenen Universitäten, auf einem hohen Niveau zu erhalten.

Literatur / Quellen

- Ahuis, M., Doose, S., Vogt, D., Michalowski, P., Zellmer, S., & Kwade, A. (2024). Recycling of solid-state batteries. *Nature Energy*, 9(4), 373–385. <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01463-4>
- Ali, A.-R., Bartie, N., Husmann, J., Cerdas, F., Schröder, D., & Herrmann, C. (2024). Simulation-based life cycle assessment of secondary materials from recycling of lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 202(November 2023), 107384. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107384>
- BatteryNews.com <https://battery-news.de/battery-atlas-europa/> (Zugriff: 27.11.2024)
- BMBF, Technologische Souveränität, https://www.bmbf.de/bmbf/de/europa-und-die-welt/innovationsstandort-deutschland/technologische-souveraenitaet/technologische-souveraenitaet_node.html (Zugriff: 27.11.2024)
- BMWK 2024 Automobilindustrie
<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html#:~:text=Die%20Zahl%20der%20direkt%20Besch%C3%A4ftigten,2023%20rund%20564%20Milliarden%20Euro.> (Zugriff 27.11.2024)
- BVSE 2024 Kreislaufwirtschaftsbranche und Feuerwehrverbände fordern Maßnahmen gegen existenzbedrohende Batteriebrände <https://www.bvse.de/recycling/pressemitteilungen/11201-kreislaufwirtschaftsbranche-und-feuerwehrverbaende-fordern-massnahmen-gegen-existenzbedrohende-batteriebraende.html> (Zugriff: 27.11.2024)
- Blömeke, Scheller, Cerdas, Thies, Hachenberger, Gonter, Herrmann, Spengler (2022) Material and energy flow analysis for environmental and economic impact assessment of industrial recycling routes for lithium-ion traction batteries. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.134344
- Dai, Spagenberger, Ahmed, Gaines, Kelly, Wang, (2019) EverBatt: A Closed-loop Battery Recycling Cost and Environmental Impacts Model Energy Systems Division, Argonne National Laboratory
- Dürr GmbH Die Europa Fabrik <https://www.durr-group.com/de/duerrmore/better-together/die-europa-fabrik> (Zugriff: 27.11.2024)
- European Commission. (2023). Regulation of the European Parliament and of the council, for establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials.
- European Parliament and European Council. (2023). Regulation (EU) 2023 of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries (Vol. 2023, Issue June).
- Fraunhofer ISI (23.01.2024) Wird der Aufbau eines europäischen und deutschen Batterie-Ökosystems am Fachkräftemangel scheitern? <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/2024/batterieforschung-kuerzung-foerderung-folgen-aufbau-oekosystem-europa-deutschland-fachkraefte-mangel.html> (Zugriff: 27.11.2024)
- Ginster, Blömeke, Popien, Scheller, Cerdas, Herrmann, Spengler (2024) Circular battery production in the EU: Insights from integrating life cycle assessment into system dynamics modeling on recycled content and environmental impacts, DOI: 10.1111/JIEC.13527
- Haro, P., et al. (2021). Critical review of lithium-ion battery recycling processes – towards a more sustainable future. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124162. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124162.
- International Energy Agency (IEA). (2022). Global Supply Chains of EV Batteries. IEA Publications, 68. www.iea.org
- International Energy Agency. (2024). Global EV Outlook 2024. 1–174. www.iea.org
- Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt), <https://www.greenbatt-cluster.de/de/>, (Zugriff: 27.11.2024)
- Kwade, A., Schröder, D., Herrmann, C., Spengler, T., Oktober 2024, Stellungnahme des Vorstands der BatteryLabFactory Braunschweig (BLB) der Technischen Universität Braunschweig
- Latini, D., Vaccari, M., Lagnoni, M., Orefice, M., Mathieux, F., Huisman, J., Tognotti, L., & Bertei, A. (2022). A comprehensive review and classification of unit operations with assessment of outputs quality in lithium-ion battery recycling. *Journal of Power Sources*, 546. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231979>
- Liu, G., et al. (2020). The recycling of lithium-ion batteries: A sustainable approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104826. doi:10.1016/j.resconrec.2020.104826.

McKinsey & Company, Battery recycling takes the driver's seat. [Online].

<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/battery-recycling-takes-the-drivers-seat> (Zugriff: 28.11.2024).

Statista 2024a. Prognose neu entstehender Arbeitsplätze durch die Lithium-Ionen-Akkumulatoren-Herstellung in Europa in den Jahren 2023 und 2028 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1035991/umfrage/prognose-neu-entstehender-arbeitsplaetze-in-lithium-ionen-akku-industrie-in-europa/> (Zugriff 27.11.2024)

Statista 2024b. Verteilung der Bruttowertschöpfung¹ in Deutschland nach Wirtschaftsbereichen im Jahr 2023 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36846/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-am-bruttoinlandsprodukt/#:~:text=Verteilung%20der%20Bruttowertsch%C3%B6pfung%20nach%20Wirtschaftsbereichen%202023,->

[Ver%3%B6ffentlicht%20von%20J&text=Im%20Jahr%202023%20betrug%20der,Baugewerbes%20rund%205%2C4%20Prozent.](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36846/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-am-bruttoinlandsprodukt/#:~:text=Verteilung%20der%20Bruttowertsch%C3%B6pfung%20nach%20Wirtschaftsbereichen%202023,-) (Zugriff 27.11.2024)

Soldan, N., Bockey, G., Heimes H., Batterierecycling in Europa (Stand: Mai 2023). [Online].<https://battery-news.de/batterierecycling/>

SYSTEMIQ. "Advancing sustainable battery recycling: towards a circular battery system," London, UK, Nov. 2023. Accessed: Nov. 28 2023. <https://www.systemiq.earth/advancing-sustainable-battery-recycling/> (Zugriff 27.11.2024)

van Hoof, G., Robertz, B., & Verrecht, B. (2023). Towards sustainable battery recycling: an LCA comparison between pyro- and hydrometallurgical battery recycling. MDPI Metals, 13(1915).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met13121915> 2023 Recycling of Lithium-ion Batteries 2nd Edition