

FACHARTIKEL

3. April 2025 || Seite 1 | 11

Von der Rohstoffaufbereitung bis zum Recycling: Neue Wege in der Batteriefertigung

Die Batteriefertigung steht im Zentrum globaler Industrie- und Klimapolitik. Mit dem weltweit wachsenden Bedarf an Energiespeichern für Elektromobilität und stationäre Anwendungen steigt auch die Bedeutung einer effizienten, nachhaltigen und regional unabhängigen Produktion.

Insbesondere die Rahmenbedingungen der Batterieproduktion stellen Unternehmen vor immense Herausforderungen: Die Abhängigkeit von Rohstoffen wie Lithium, Kobalt und Nickel sorgt für geopolitische Spannungen. Gleichzeitig werden Lieferketten durch globale Krisen und steigende Transportkosten immer fragiler. Europa steht also vor der Aufgabe, eine resiliente Wertschöpfungskette aufzubauen, die sowohl Rohstoffförderung als auch Weiterverarbeitung umfasst sowie Recycling – immerhin sind Altbatterien die ergiebigste deutsche Lithiumressource. Hinzu kommt, dass sich Produktionsprozesse aus Gründen der Investitionssicherheit flexibel an neue Batteriekonzepte wie Festkörper- oder Natrium-Ionen-Batterien anpassen lassen müssen.

Angesichts dieser Herausforderungen wird klar, dass die Zukunft der Batteriefertigung in Europa nur durch den Einsatz modernster Technologien gesichert werden kann. Vor allem die Lasertechnik bietet Lösungen, um die zentralen Anforderungen – Effizienz, Präzision und Nachhaltigkeit – zu erfüllen. Ob in der Materialbearbeitung, der Elektrodenherstellung oder im Recycling: Ohne innovative Laserprozesse ist eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Batterieproduktion in Europa kaum denkbar.

Rohstoffaufbereitung und Materialveredelung: Basis einer nachhaltigen Batterieproduktion

Materialien wie Lithium und Nickel sind nach wie vor Bestandteile aktueller Batteriezellen. Ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften ermöglichen hohe Energiedichten und lange Lebensdauern, ihre Gewinnung und Verarbeitung indes bringen komplexe Probleme mit sich.

Doch Batterietechnologien entwickeln sich rasant weiter, mit dem Ziel, den Einsatz seltener und teurer Rohstoffe zu minimieren. CATL präsentierte bereits 2021 eine Natrium-Ionen-Batterie, die vollständig auf Lithium und Kobalt verzichtet. Im April 2024 hat der chinesische Batteriehersteller eine kobaltfreie Lithium-Eisenphosphat (LFP)

Pressekontakt

Petra Nolis M.A. | Gruppenleitung Kommunikation | Telefon +49 241 8906-662 | petra.nolis@ilt.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT | Steinbachstraße 15 | 52074 Aachen | www.ilt.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Batterie eingeführt mit einer Reichweite von über 1.000 Kilometern. In nur zehn Minuten kann sie genug Energie für 600 Kilometer laden, was einer Ladegeschwindigkeit von einem Kilometer pro Sekunde entspricht.

3. April 2025 || Seite 2 | 11

Toyota plant, ab 2025 Feststoffbatterien in Hybridfahrzeugen einzusetzen. Nissan hat in Japan eine Prototypen-Produktionsanlage für laminierte Feststoffbatterien in Betrieb genommen. Panasonic hat eine Feststoffbatterie für Drohnen vorgestellt. VW und Mercedes, Ford und BMW stehen kurz vor der Einführung von Feststoffbatterien oder sind strategische Partnerschaften eingegangen.

Ein wesentlicher Ansatzpunkt für neue Batterietechnologien ist die Materialveredelung auf Nanoebene, bei der Rohstoffe gezielt aufbereitet und funktionalisiert werden, um ihre Leistungsfähigkeit in Batterien zu maximieren. Daran forscht die Abteilung *Oberflächentechnik und Formabtrag* am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik. Moderne Lasertechnologien ermöglichen präzise Eingriffe in die Materialstruktur und minimieren gleichzeitig den Ressourcenverbrauch.

Ein weiteres Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Lasertechnologien findet sich in der Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer ILT, dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen, TRUMPF und dem Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY. Durch den Einsatz von Röntgenstrahlen eines Teilchenbeschleunigers konnten tiefere Einblicke in Laserschweißprozesse gewonnen werden. Dabei zeigte sich, dass der Einsatz von Lasern mit grüner Wellenlänge die Materialausnutzung verbessert und den Ausschuss reduziert. Diese Erkenntnisse bieten nicht nur technologische Vorteile, sondern tragen auch zu einer nachhaltigeren Fertigung bei.

»Diese Projekte verdeutlichen, dass innovative Lasertechnik nicht nur die Herausforderungen der Rohstoffaufbereitung meistern können, sondern auch eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Batterieproduktion in Europa ermöglichen«, erklärt Dr. Alexander Olowinsky, Abteilungsleiter Fügen und Trennen am Fraunhofer ILT.

Elektrodenherstellung: Innovationen für eine nachhaltige Produktion

Die Beschichtung der Stromableiterfolien (Kupfer oder Aluminium) mit den Elektrodenmaterialien für Anode und Kathode und deren anschließende Trocknung sind entscheidende Schritte, die sowohl die Energiedichte als auch die Zykluslebensdauer der Batterien beeinflussen. Konventionelle Trocknungsverfahren, die auf Konvektionsöfen basieren, haben jedoch einen erheblichen Energieverbrauch und einen großen Platzbedarf, was die Nachhaltigkeit und Effizienz der Batterieproduktion einschränkt.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt IDEEL (Implementation of Laser Drying Processes for Economical & Ecological Lithium Ion Battery Production) zeigt, wie Lasertrocknung diese Herausforderungen löst: In dem Projekt wurde erstmals die Trocknung von Anoden und Kathoden im Rolle-zu-Rolle-Verfahren mithilfe eines Hochleistungsdiodenlasers realisiert. Diese Methode senkt den Energieverbrauch erheblich, verdoppelt gleichzeitig die Trocknungsgeschwindigkeit und halbiert den Platzbedarf.

3. April 2025 || Seite 3 | 11

»Die Lasertrocknung ermöglicht nicht nur eine effizientere Prozessführung, sondern trägt auch dazu bei, die CO₂-Bilanz der Batterieproduktion signifikant zu verbessern«, erklärt Dr. Samuel Moritz Fink, Gruppenleiter Dünnschichtverfahren am Fraunhofer ILT. Fink und sein Team entwickelten gemeinsam mit den Projektpartnern ein Lasertrocknungsmodul mit angepasster Optik und Prozessüberwachung, die eine gleichmäßige Trocknung gewährleistet. Dieser Ansatz bietet zudem Flexibilität: Bestehende Konvektionsöfen lassen sich mit der Lasertechnologie nachrüsten, was die Implementierung in bestehende Produktionslinien erleichtert.

In einem anderen Forschungsprojekt nutzt das Fraunhofer ILT eine speziell entwickelte Multistrahl-Optik. Diese teilt die Laserstrahlung in mehrere Teilstrahlen auf, die simultan ein 250 Millimeter breites Band einer Lithium-Ionen-Batterieanode bearbeiten. Diese hochpräzise Strukturierung erhöht die Energiedichte und Schnellladefähigkeit. Die Elektrodenherstellung profitiert zudem von der Integration künstlicher Intelligenz in den Fertigungsprozess. Forschende am Fraunhofer ILT untersuchen derzeit, wie KI-gestützte Systeme zur Optimierung von Prozessparametern eingesetzt werden können. Solche Systeme könnten nicht nur die Qualität und Produktivität weiter steigern, sondern auch die Grundlage für eine autonome Fertigung legen.

Zellassemblierung: Präzision und Effizienz durch innovative Technologien

Neben der Trocknung der Elektroden spielt auch die präzise Verbindung der Elektrodenmaterialien eine zentrale Rolle für die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Batterien. Hier hat sich das Laser-Mikroschweißen als Schlüsseltechnologie etabliert. Es ermöglicht kontaktloses, hochpräzises Fügen von Materialien wie Kupfer und Aluminium, die für Batterieelektroden essenziell sind. Durch die geringe thermische Belastung bleibt die empfindliche Zellchemie unversehrt, während die elektrische Leitfähigkeit durch reduzierte Übergangswiderstände optimiert wird. Laser-Mikroschweißen bietet eine Kombination aus Flexibilität und Effizienz, die traditionelle Schweißverfahren nicht erreichen können.

Die Anforderungen an das Laser-Mikroschweißen variieren je nach Zellformat, da jede Zellart spezifische Herausforderungen bei der Kontaktierung mit sich bringt. Zylindrische Zellen erfordern eine präzise Schweißtiefe, um einerseits die elektrische

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Leitfähigkeit zu gewährleisten und andererseits Beschädigungen durch Überhitzung zu vermeiden. Besonders anspruchsvoll ist die Kontaktierung des negativen Pols, da eine zu hohe Wärmebelastung die empfindliche Polymerdichtung beschädigen könnte, was zu einem Auslaufen des Elektrolyten führen kann. Bei Pouch-Zellen, die sich durch flexibles Design und hohe Energiedichte auszeichnen, müssen vor allem Durchschweißungen der empfindlichen Folienummantelung vermieden werden.

3. April 2025 || Seite 4 | 11

Eine vielversprechende Entwicklung bei der Zellausbaueinheit ist das Projekt XProLas, das TRUMPF in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ILT und weiteren Partnern umsetzt. Ziel ist die Entwicklung kompakter, lasergetriebener Röntgenquellen, die eine Qualitätsprüfung vor Ort direkt beim Hersteller ermöglichen anstatt wie bisher durch den Einsatz großer Teilchenbeschleuniger. Diese Technologie erlaubt es, Batteriezellen in Echtzeit zu analysieren, wodurch sich sowohl die Lade- und Entladeprozesse als auch die Materialqualität präzise überwachen lassen. Besonders bei der Untersuchung des Kathodenmaterials, das maßgeblich die Leistung und Haltbarkeit einer Batterie bestimmt, eröffnet diese Methode neue Möglichkeiten. »Durch den Einsatz brillanter Röntgenquellen können wir Verunreinigungen und Materialdefekte frühzeitig erkennen und so die Entwicklungszeiten erheblich verkürzen«, erklärt Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann, Abteilungsleiter Laser und Optische Systeme am Fraunhofer ILT.

Auch hier eröffnet die Integration künstlicher Intelligenz zusätzliche Potenziale: KI-gestützte können Prozessparameter in Echtzeit überwachen und anpassen. So lassen sich Abweichungen frühzeitig erkennen und korrigieren, was die Grundlage für eine autonome Fertigung schafft. Die Vision einer »First-time-right«-Produktion, bei der alle Komponenten fehlerfrei im ersten Durchlauf montiert werden, rückt damit in greifbare Nähe.

Modul- und Packproduktion: Effizienz und Präzision durch Lasertechnologien

Im Anschluss werden die einzelnen Zellen zu Modulen bzw. Packs verbunden. Besonders auf Modulebene spielt die Präzision eine entscheidende Rolle, da die Integration mehrerer Schweißnähte notwendig ist, ohne die thermische Belastung der empfindlichen Zellen zu erhöhen. Laserprozesse wie das Mikroschweißen ermöglichen eine maßgeschneiderte Anpassung an diese Anforderungen.

Eine der zentralen Innovationen des Fraunhofer ILT ist die Entwicklung von Verfahren, die das Fügen von Aluminium und Kupfer – beides Materialien mit sehr unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften – sicher und präzise ermöglichen. Mithilfe modernster Laserstrahlführung kann die Einschweißtiefe kontrolliert werden, um empfindliche Zellen nicht zu beschädigen.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

»Diese Technologie ist essenziell für die Produktion von Modulen und Packs, die unter extremen Bedingungen, wie hohen Strömen und thermischen Belastungen, zuverlässig funktionieren müssen«, erklärt Olowinsky. Ein Beispiel dafür ist das Laserschweißen von großen zylindrischen Zellen, das am Aachener Institut gemeinsam mit Partnern wie der EAS Batteries GmbH weiterentwickelt wurde. Dabei wird auf eine stabile und langlebige Verschaltung der Zellen geachtet, um hohe Lebensdauern und geringe Ausfallraten zu gewährleisten.

3. April 2025 || Seite 5 | 11

Neben dem Laserschweißen hat sich das Laserlöten etabliert, insbesondere für die Verbindung hitzeempfindlicher Komponenten. Dieses Verfahren arbeitet bei niedrigeren Temperaturen als traditionelle Schweißverfahren und schont so empfindliche Elektronik innerhalb der Module. Dies erhöht nicht nur die Zuverlässigkeit der Batteriepacks, sondern trägt auch zur Energieeffizienz der Produktion bei.

Batteriemanagement und Sensorintegration: Intelligenz für zukunftssichere Batteriesysteme

Das Batteriemangement ist eine der zentralen Herausforderungen moderner Energiespeichersysteme. Die Sicherheit, Langlebigkeit und Leistungsfähigkeit von Batterien hängen maßgeblich davon ab – und nicht zuletzt die Akzeptanz von Elektromobilität. Fortschritte in der Sensorintegration und der Einsatz von KI bieten hier transformative Möglichkeiten, um diese Anforderungen zu erfüllen.

Traditionell werden Batterien auf makroskopischer Ebene überwacht, was jedoch nur eingeschränkte Einblicke in die komplexen Prozesse innerhalb der Zellen bietet. Hier bietet die Integration von Sensorik während der Fertigung neue Möglichkeiten. Forschende am Fraunhofer ILT drucken Sensoren direkt auf Bauteile oder integrieren die smarten Messgeräte sogar. Diese Sensoren ermöglichen Echtzeitüberwachung, wie z. B. die Messung von Temperaturen, Kräften oder sogar chemischen Veränderungen innerhalb der Batterien.

»Mit additiv gefertigten Sensoren können wir den Zustand der Batteriemodule kontinuierlich überwachen und frühzeitig auf mögliche Fehler reagieren«, erläutert Samuel Fink. Diese Sensoren sind nur wenige Mikrometer dick, präzise und gleichzeitig widerstandsfähig gegenüber mechanischen und thermischen Belastungen, was sie ideal für den Einsatz in der Batterie und in Batteriemodulen macht. Ihre Fähigkeit, kontinuierlich Daten zu liefern, ermöglicht eine vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance), die potenzielle Defekte erkennt, bevor sie auftreten.

Die Integration von Sensorik allein reicht jedoch nicht aus, um Predictive Maintenance zu realisieren. Sensoren können Veränderungen in der Zellchemie erkennen, während KI-Algorithmen diese Daten analysieren und Vorhersagen über die Lebensdauer der

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Zellen treffen. Forschende der Abteilung »Data Science und Messtechnik« am Fraunhofer ILT entwickeln solche KI-gestützte Algorithmen, die große Datenmengen aus Sensoren in Echtzeit analysieren. Diese Systeme ermöglichen es auch, Prozesse dynamisch anzupassen, etwa durch die Optimierung von Temperaturprofilen während der Zelleassemblierung oder die Anpassung von Laserschweißparametern.

3. April 2025 || Seite 6 | 11

Recycling und Wiederverwertung: Der Weg zur Kreislaufwirtschaft in der Batterietechnik

Mit dem Boom der Batterietechnik wächst auch die Notwendigkeit nachhaltiger Strategien zur Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe. Eine effektive Kreislaufwirtschaft ist unverzichtbar, um die Abhängigkeit von Primärrohstoffen zu reduzieren und gleichzeitig die Umweltauswirkungen der Batterieherstellung zu minimieren.

Im EU-Projekt ADIR entwickelt das Fraunhofer ILT mit acht Projektpartnern aus drei Ländern ein tragfähiges Recyclingkonzept für elektronische Geräte. Bei dem Projekt ACROBAT soll ein Konzept für das Recycling von Lithium-Eisenphosphat-Batterien entwickelt werden, bevor sie den Markt großvolumig durchdringen. Ziel des Projekts ist es, mehr als 90 Prozent der kritischen Materialien zurückzugewinnen. Gemeinsam mit Partnern wie Accurec Recycling arbeitet das Fraunhofer ILT an innovativen Trenn- und Aufbereitungsverfahren, die sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich nachhaltig sind. Die Aachener Laserexperten entwickeln hier eine Inline-Charakterisierungsmethode, um die Qualität des aktiven Materials präzise zu bewerten.

Die Laserspektroskopische Analyse (LIBS) ermöglicht die präzise Identifikation und Trennung komplexer Materialzusammensetzungen. Diese Technologie wollen die Forschenden für das Recycling von Altbatterien anpassen, um etwa die Rückgewinnung von Metallen wie Kobalt und Tantal weiter zu verbessern. Auch hier kann die Integration von KI die großen Datenmengen aus Lasermessungen in Echtzeit analysieren und daraus Prozessoptimierungen ableiten. Diese KI-gestützte Überwachung ermöglicht eine dynamische Anpassung der Recyclingparameter, wodurch Ausschuss reduziert und die Qualität der recycelten Rohstoffe gesteigert wird.

Fazit und Ausblick

Die Batterieproduktion steht im Zentrum der Elektromobilitätswende und damit im Fokus von Innovationen, die Effizienz, Nachhaltigkeit und technologische Spitzenleistungen vereinen. Die vorgestellten Technologien und Entwicklungen entlang der Produktionskette zeigen, wie modernste Laserverfahren den Weg zu einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Batterieindustrie ebnen können – von der Rohstoffaufbereitung über die Elektrodenherstellung bis zur Zelleassemblierung und

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

dem Recycling. Gleichzeitig schaffen KI-gestützte Analyse- und Steuerungssysteme eine neue Dimension der Prozesskontrolle, die Produktionsqualität und Nachhaltigkeit verbessert und die Produktionskosten weiter zu senken.

3. April 2025 || Seite 7 | 11

Perspektivisch können KI-gestützte Regelkreise eine autonome Produktion ermöglichen, in der sich Prozesse in Echtzeit an veränderte Bedingungen anpassen. Zudem eröffnen lasergetriebene Röntgenquellen und Inline-Charakterisierungstechnologien neue Möglichkeiten zur Qualitätssicherung und Materialanalyse.

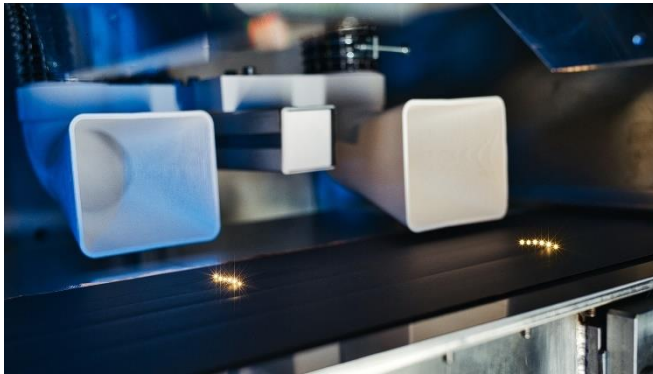


Bild 1:
12 von 24 Teilstrahlen im Einsatz: Die Optik von Pulsar Photonics strukturiert das 300 mm breite Band der Batterieanode und verbessert so Leistungsdichte und Ladefähigkeit.
© Pulsar Photonics GmbH.

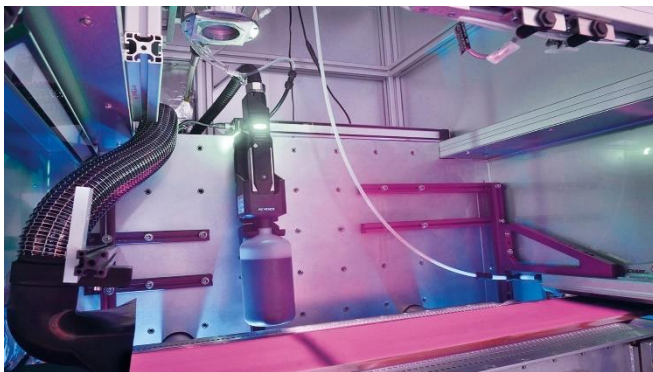


Bild 2:
Der Hochleistungsdiodenlaser aus dem IDEEL Forschungsprojekt macht die Serienproduktion von Lithium-Ionen-Batterien durch das Rolle-zu-Rolle Verfahren deutlich nachhaltiger und wirtschaftlicher.
© Fraunhofer ILT, Aachen.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT



Bild 3:
Aurora Powertrains ließ am Fraunhofer ILT ein maßgeschneidertes Laserschweißsystem für seine modulare, skalierbare Schneemobil-Batterie entwickeln. Die wasser- und staubdichte Batterie mit IP67-Klassifizierung hat eine Energiedichte von mehr als 190 Wh/kg.
© Aurora Powertrains.

3. April 2025 || Seite 8 | 11



Bild 4:
Laserstrahlschweißen von Batteriezellen mit blauem Laser.
© Fraunhofer ILT, Aachen.



Bild 5:
Der PKW Querlenker mit aufgedrucktem Kraftsensor liefert zu jedem beliebigen Zeitpunkt die im Einsatz wirkenden Kräfte und registriert kleinste Risse, die auftreten, bevor ein Defekt entsteht.
© Fraunhofer ILT, Aachen.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

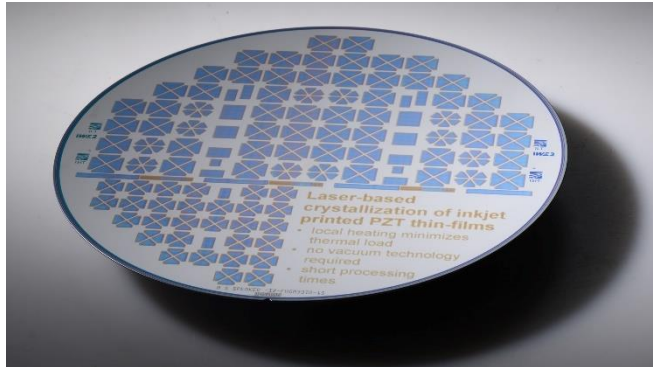


Bild 6:
Auf den Wafer lassen sich durch Inkjet-Druck technische Strukturen und beliebige Geometrien auftragen. Danach werden die Lautsprecher-elemente vereinzelt und in eine elektronische Umgebung eingebunden.
© Fraunhofer ILT, Aachen.

3. April 2025 || Seite 9 | 11

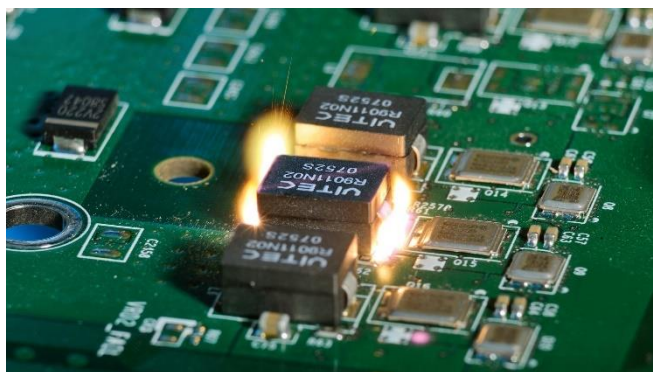


Bild 7:
Berührungsloses Freilegen und Entlöten von Platinen-Bauelementen mittels Laserstrahlung in einem Recyclingprozess des »ADIR«-Projekts.
© Fraunhofer ILT, Aachen.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

3. April 2025 || Seite 10 | 11

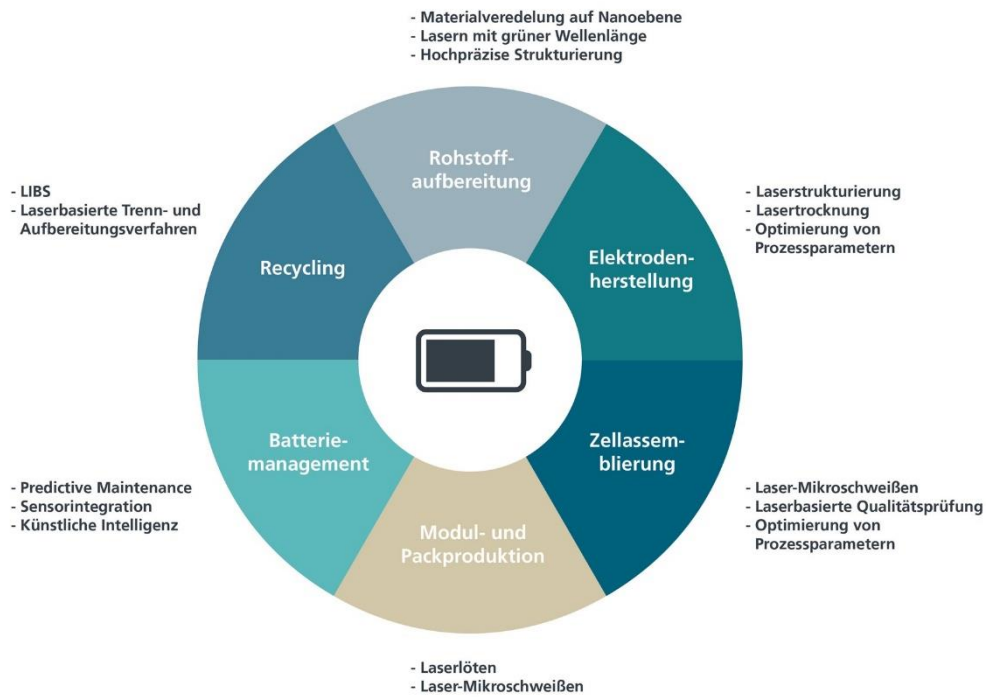


Bild 8:
Mit Laser und KI zur nachhaltigen Batterieproduktion: Kosteneffizient und zuverlässig in der Fertigung. © Fraunhofer ILT, Aachen.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Fachlicher Kontakt

3. April 2025 || Seite 11 | 11

Dr.-Ing. Alexander Olowinsky

Leiter der Abteilung Fügen und Trennen
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

Dr.-Ing. André Häusler

Gruppenleiter Fügen von Metallen
Telefon +49 241 8906-640
andre.haesler@ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
www.ilt.fraunhofer.de

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von rund 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.