

**F&E-Bedarfe für nachhaltige Struktur- und Materialkreisläufe des Automobils:  
Klima- und ressourcenschonende sowie resiliente Herstellung, Nutzung und Verwertung**

30. November 2022

**1. Einleitung**

Die Automobilindustrie ist eine zentrale systemische Säule der nationalen Wirtschaft, wodurch ihr eine besondere gesellschaftliche Bedeutung für den Erhalt des Wohlstands und der Prosperität sowie im Bereich **Klimaschutz** in Deutschland zukommt. Sie entwickelt Produkte, die dazu beitragen, Emissionen zu reduzieren. Dies schlägt sich sowohl in der gezielten Förderung CO<sub>2</sub>-reduzierter Antriebe zur Erreichung der nationalen und europäischen Klimaschutzziele als auch in der Unterstützung der erforderlichen Transformationsprozesse nieder. Dabei steht bislang jedoch fast ausschließlich der **Ressourcenverbrauch in der Nutzungsphase** von Fahrzeugen im Vordergrund, da hier die größten Aufwendungen vermutet wurden. Mit der Elektrifizierung des Antriebsstranges rücken nun aber auch die **in der Fahrzeugstruktur gebundenen Ressourcen** zunehmend in den Fokus. Neben Fragestellungen der **Resilienz globaler Produktions- und Lieferketten** gewinnt insbesondere die **begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen und Hightech-Werkstoffen** an Bedeutung. Prominente Beispiele hierfür sind die für Batterien benötigten Rohstoffe Lithium und Kobalt sowie die Seltenerdmetalle, die für Magneten in Elektromotoren verwendet werden. Deshalb fordert und fördert die Bundesregierung in diesem Zusammenhang explizit den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft mit dem ressourcenstrategischen „Ziel der Senkung des primären Rohstoffverbrauchs und geschlossener Stoffkreisläufe“ (Koalitionsvertrag 2021).

In diesem Zusammenhang ist es eine **Kernaufgabe der Forschung und Entwicklung**, sicherzustellen, dass das Automobil der Zukunft Ressourcen schonend und nachhaltig hinsichtlich der **Produktionsmethoden**, des **Materialeinsatzes** sowie der **Verwertung und Rückführung** von Altstoffen in die Produktion hergestellt werden kann. Zugleich soll eine lange **Haltbarkeit** und hohe **Anpassungsfähigkeit** für verschiedene Nutzerprofile dargestellt werden. Inwiefern darüberhinausgehende **Vermeidungsstrategien** (10 R, siehe Abb. 1) die **Zirkularität erhöhen** und den Ressourcenverbrauch verringern, ist systematisch in einer **Lebenszyklusanalyse (LCA)** zu erkunden.

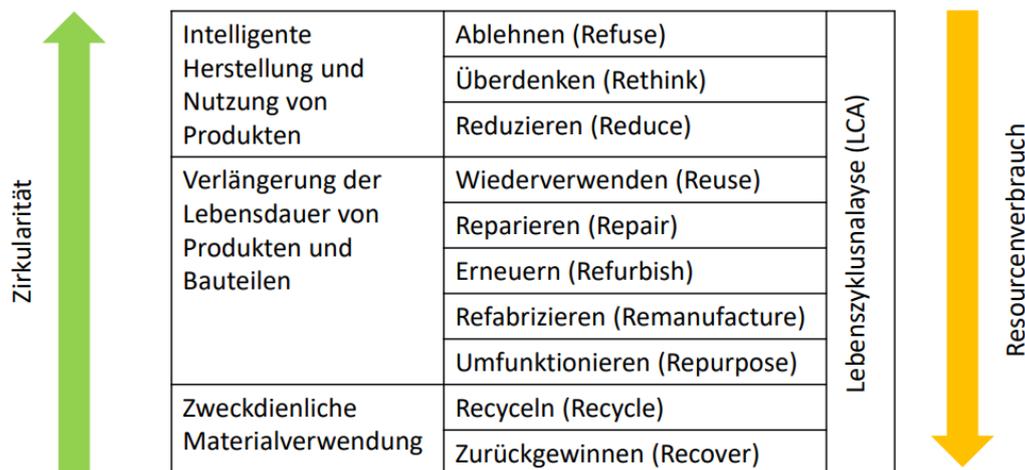


Abbildung 1: 10 R-Strategien

Der **Digitalisierung** kommt eine Schlüsselrolle für das Erreichen von Zirkularität zu, da sie eine Rückverfolgung des **Produktlebenszyklus** ermöglicht und im Sinne eines erweiterten Verständnisses von funktionaler Sicherheit Vorhersagen erlaubt. Das Konzept des „Digital Twin“ ist hierfür ein unabdingbarer Erfolgsfaktor.

Eine Umsetzung dieser anspruchsvollen und teils fundamental neuen strategischen Ansätze durch die Automobilindustrie ist **ohne förderpolitische Unterstützung und wissenschaftliche Begleitung nicht in der gebotenen Geschwindigkeit zu erreichen**. Vielfältige Forschungs- und Entwicklungsbe-

darfe bestehen hier insbesondere auf dem Gebiet **ökologisch, ökonomisch und gesellschaftlich effektiver Konzepte zur Vermeidung bzw. Reduzierung des Ressourcenverbrauchs** sowie der strukturellen **Wiederverwendung von Komponenten und Werkstoffen** als auch bei den damit verbundenen neuen Technologien und Geschäftsmodellen.

Die **Werkstoffplattformen** und **Material-Hubs**, mit denen das Bundesministerium für Bildung und Forschung nach **dem Vorbild der Batterieforschung** künftig dringende gesellschaftliche Bedarfe und ambitionierte technische Ziele miteinander in Einklang bringen, Innovationen beschleunigen und geeignete Förderinstrumenten bündeln will, stellt im Bereich der Materialforschung eine wichtige Umsetzungsmaßnahme hierfür dar. Insbesondere das geplante Material-Hub „**MaterialNeutral – Ressourcensouveränität durch Materialinnovationen**“ könnte durch einen Fokus auf einen **ganzheitlichen Ansatz** wichtige Beiträge zur effizienteren Nutzung von Materialien im Automobil, zur Verringerung von Treibhausgasemissionen bei der Fahrzeugproduktion und zur Erhöhung der technologischen Souveränität leisten. Die Bedeutung der **Kreislaufwirtschaft** und **Ressourceneffizienz** im Bereich der **Elektronikforschung** sollte zudem im Forschungsrahmenprogramm „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa“, der Bundesregierung Berücksichtigung finden.

Mit diesem Papier greift der eNOVA-Strategiekreis Automobile Zukunft schwerpunktmäßig **drei wichtige Herausforderungen** für Forschung und Entwicklung der klima- und ressourcenschonenden sowie resilienten Herstellung, Nutzung und Rückführung bzw. Verwertung des Automobils heraus, die neben den bereits vielbeachteten (und im Zusammenhang mit dem Thema Elektromobilität von eNOVA betonten) Recycling von Materialien aus Batterien und Antriebskomponenten künftig an Bedeutung gewinnen werden: den **Neutralleichtbau**, das **kreislauffähige Design und Engineering** sowie die **kreislauffähige** und an den **Always-on-Betrieb** angepasste **Elektronik**. Davon ausgehend werden Forschungs- und Entwicklungsbedarfe aufgezeigt und Rahmenbedingungen für die Umsetzung beschrieben.

## 2. Schwerpunkt Neutralleichtbau für elektromobile Anwendungen

Die Umsetzung von Kreislaufwirtschaftsmodellen stellt aufgrund der Komplexität und Werkstoffvielfalt, insbesondere bei modernen Fahrzeugen mit hybriden oder rein elektrischen Antriebssystemen, eine enorme technologische und ökonomische Herausforderung dar. Um die Kreislaufquote der Werkstoffe signifikant zu erhöhen, sind **systemübergreifend konzeptionelle, strukturelle und technische Innovationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette** notwendig. Schon in der Nationalen Plattform Elektromobilität wurden 2007 bis 2018 hierzu erste Ansätze analysiert und Technologie-Roadmaps entwickelt, die bis heute nur ansatzweise umgesetzt wurden.

Leichtbau hat als Ideen- und Innovationstreiber seit langem eine Schlüsselfunktion für ein ressourcensowie energieeffizientes und zugleich wettbewerbsfähiges Wirtschaften inne. Der moderne **funktions-integrative Systemleichtbau in Multi-Material-Design** berücksichtigt – neben klassisch technischen und ökonomischen Kriterien wie Sicherheit, Fertigung, Kosten und Qualität – auch schon die Beachtung der Umweltauswirkungen technischer Strukturen. Das heißt, dass der richtige Werkstoff an der richtigen Stelle zum Einsatz kommt, um einerseits Funktionen zu optimieren und andererseits Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Ressourcenschonung ist somit ein konstituierendes Element des Systemleichtbaus.

Die drei etablierten Designansätze im Leichtbau (Spar-, Effizienz- und Zweckleichtbau) konzentrieren sich hauptsächlich auf technische und wirtschaftliche Produktanforderungen. Künftig bedarf es neuer, ganzheitlicher und nachhaltiger technischer Lösungen, mit denen ein noch wirksamerer Beitrag geleistet wird, um **Fortschritt mit Umweltschutz und Ressourcenschonung in Einklang** zu bringen. Denn umweltrelevante Aspekte werden bislang in der Konstruktionsphase noch nicht durchgängig berücksichtigt und Synergiepotenziale nicht umfassend ausgeschöpft. Insbesondere die **ganzheitliche Betrachtung des Lebenszyklus** sowie die Gesamtauswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft finden bei der Konstruktion von Leichtbaustrukturen und -systemen noch nicht ausreichend Berücksichtigung.

Um etwa die Ziele des europäischen Green Deal und der internationalen Klimavereinbarungen zu erreichen, ist es entscheidend, umweltrelevante Aspekte in den Fokus der Automobilentwicklung zu rücken und konsequent in den Forschungs- und Entwicklungsprozessen zukünftiger Mobilitätskonzepte,

Fahrzeugsysteme und Komponenten zu berücksichtigen. Wichtig ist demnach ein **neuer (vierter) umfassender Ansatz für die Entwicklung, Herstellung, Nutzung bis hin zur Austauschbarkeit und Wiederverwertung von Strukturbauteilen des Automobils**. Dieser hat zum Ziel, die Umwelt bzw. die verbleibenden globalen Ressourcen zu schonen und dabei gesellschaftliche Belange zu berücksichtigen. Hierfür setzt sich allgemein der Begriff des „**Neutrallleichtbaus**“ durch. Dieser neue Ansatz ist nach heutigem Ermessen eine Idealvorstellung, die mit vorhandenen Technologien nur teilweise realisiert werden kann, aber das Handeln maßgeblich bestimmen muss. Das Ideal des Neutrallleichtbaus liegt in einer **ressourcenneutralen Kreislaufwirtschaft**.

Das Grundprinzip des Neutrallleichtbaus ist die **Integration von Nachhaltigkeitskriterien in alle Entscheidungsstufen entlang der Entwicklungskette eines Produktes**. Dabei muss der gesamte Lebenszyklus des Produktsystems von der Materialbeschaffung bis zum End-of-Life-Teilemanagement für die jeweilige Produktions- Nutzungs- und Verwertungsregion antizipiert werden. Neutrallleichtbau reicht somit weiter als eine reine Ökobilanzierung oder das „Cradle to Cradle“-Prinzip. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei, den Ressourceneinsatz über den Lebensweg des Gesamtfahrzeuges sowie dessen Substrukturen zu minimieren und die gebundenen Werkstoffe, soweit technisch möglich, vollständig wiederzugewinnen. Dies gilt unabhängig von der gewählten Antriebsart, besitzt aber gerade bei batterieelektrischen Fahrzeugen eine besondere Relevanz, weil dort Gewichtseinsparungen eine Erhöhung der Reichweite ermöglichen. Die konsequente Umsetzung des Neutrallleichtbaus führt zu einer ausschließlichen Nutzung heute bereits **vollständig wiederverwendbarer sowie erneuerbarer biobasierter Werkstoffe**. Denn die Verantwortung des Entwickelnden endet nicht mit CO<sub>2</sub>-Einsparungen in der Nutzungsphase, sondern reicht weit darüber hinaus. Der Einsatz von nicht oder nur schwer rezyklierbaren Werkstoffen, wie etwa Faserverbundwerkstoffen oder deren Hybride, muss künftig entsprechend gut begründet und vor allem auch ökonomisch korrekt berücksichtigt werden.

Schließlich bedarf es einer gut **handhabbaren Metrik**, um die Auswirkungen von Design, Material und Technologie und deren Wechselwirkungen auf Umwelt-, Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz während des gesamten Lebenszyklus des Produktes schnell zu prognostizieren. Das klassische **Life Cycle Assessment (LCA)** bietet hier im Wettbewerb mit anderen Bewertungsmethoden einen guten Ausgangspunkt. Dabei ist die Verfügbarkeit und Vergleichbarkeit entsprechender Daten eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg des Neutrallleichtbaus. Um diese Herausforderung zu bewältigen, ist eine nationale und letztlich auch **internationale Standardisierung von Methoden, Technologien, Materialien und Daten zwingend erforderlich**, und etwa im Rahmen der Plattform FOREL bereits adressiert. Der **Datenaustausch** über die gesamte Lieferkette ist zwingend erforderlich.

### **3. Schwerpunkt Kreislauffähiges Design und Engineering: Resilienz, Haltbarkeit, Recyclingfähigkeit und Reparierbarkeit**

Durch eine **Verlängerung der Lebenszeit** und eine kaskadierte Nutzung von Fahrzeugen bzw. deren Komponenten kann das energieintensive Recycling der Werkstoffe verzögert werden. Zu diesem Kerngedanken des **Life Cycle Engineerings** (Abb. 2) gehören neben der klassischen Weiternutzung von gebrauchten Produkten insbesondere Konzepte zur gezielten Reparatur bzw. Wartung sowie der Wiederherstellung bzw. Verbesserung der Funktionsfähigkeit durch Überarbeitung der Komponenten. Neue Ideen zum Einsatz von gebrauchten Fahrzeugstrukturen in neuen Produkten mit gleicher oder anderer Funktion erfordern aber schon in der Designphase ein **generationenübergreifendes Denken und die Anpassung der System- und Komponentenarchitektur** – etwa durch standardisierte Hard- und Softwarechnittstellen oder vertiefte Modularisierungskonzepte.

Aber auch bei erweiterter Bauteilnutzung müssen Fahrzeugkomponenten am Ende ihrer Nutzungszyklen so verwertet werden, dass ein Wiedereinsatz der in ihnen gebundenen Wertstoffe auf hohem (idealerweise gleichbleibendem) Niveau erfolgt und gleichzeitig nicht zu erhöhten Energieverbräuchen führt. Hierfür muss bereits in der Entwicklungsphase die Aufbereitung adressiert und entsprechend berücksichtigt werden. Da das Recycling meist einen hohen Energieeinsatz erfordert und bislang mit einer nahezu unvermeidbaren Werkstoffdegradation einhergeht, weist diese Strategie ein deutlich geringeres Potential zum Erreichen einer resilienten Kreislaufwirtschaft auf.

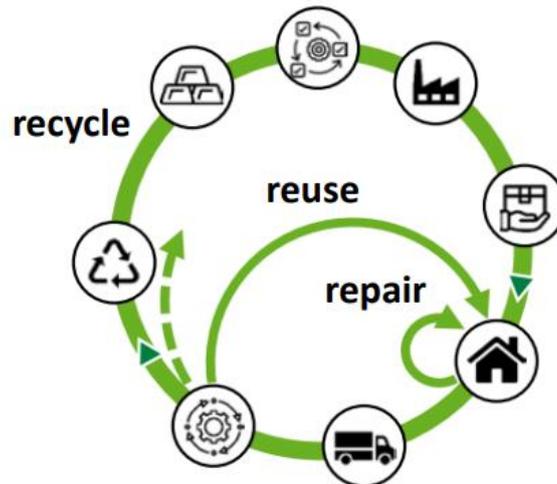


Abbildung 2: Life Cycle Engineering (vereinfachte Darstellung)

Zu deren Umsetzung sind aus heutiger Sicht **drei wesentliche Aufgaben** zu erfüllen:

Erstens muss ein **Entwicklungsprozess** implementiert werden, der den **gesamten Lebenszyklus** eines Produkts vorwegnimmt und die Umweltauswirkungen bereits während der Produktentwicklung berücksichtigt. Es muss ein spezifisches **Produktdesign** erarbeitet werden, das eine lange Produktlebensdauer und eine Rückgewinnung der produktgebundenen Ressourcen am Ende der Lebensdauer ermöglicht und gleichzeitig die wirtschaftlichen Randbedingungen in allen Lebensphasen erfüllt. Um diese komplexe Aufgabe zu realisieren, sollten die **10 R-Strategien** berücksichtigt werden.

Zweitens sind **Technologien** zur **Herstellung** sowie zum **Reparieren** und **Zerlegen** bzw. zum Anschluss der Fahrzeugsysteme bei geringem Ressourcenverbrauch und minimalen Umweltauswirkungen bereitzustellen. Die Design-, Fertigungs- und Reparaturprozesse sind dabei so aufzubauen, dass sie **über die gesamte Wertschöpfungskette** schlüssig, auch im Zusammenspiel mit vielen Zulieferern, funktionieren. Zusätzlich gilt es, etwa neue solarbasierte Methoden zur Fertigung zu finden und Ansätze für das Reprocessing ganzer Baugruppen zu entwickeln. Die Vision sollte hierbei eine Treibhausgas- und Ressourcenneutralität sein – als Basis zur Ableitung der individuellen Maßnahmen entlang der Lieferkette.

Drittens muss das Gesamtsystem Fahrzeug eine **neue Generation der Selbst- und Fremddiagnose** vorhalten. **Elektronik, Software und Mechanik** können entsprechende (Teil-)Funktionen vorbereiten, auf die das Fahrzeugsystem zugreift, um dem erweiterten Verständnis der funktionalen Sicherheit unter dem Aspekt des kreislauffähigen Designs konzeptionell und in der Umsetzung gerecht zu werden. Mittels Ansätzen des virtuellen Testens können mit einem „Digital Twin“ zudem frühzeitig Reparaturbedarfe identifiziert werden.

Flankierend bedarf es einer Optimierung und ganzheitlichen Verbesserung der Rahmenbedingungen für **sekundäre Materialien**. Geschäftsmodelle für die Fahrzeugrücknahme helfen den Herstellern den Zugriff auf Wertstoffe langfristig zu sichern; Fahrzeugflotten werden dabei zu Rohstoffquellen und ggf. sogar bilanzrelevant. Die Verfügbarkeit und Qualität von sekundären Materialien ist darüber hinaus aber ganzheitlich und über geschlossene Kreisläufe hinaus zu betrachten. Schließlich ist ein grundsätzlich besseres **Verständnis des Zusammenhangs von 10 R und LCA** erforderlich, um im Sinne eines Lebenszyklus-Engineerings die Potenziale der 10 R-Strategien für Einsparungen von Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu maximieren.

Abschließend sei noch auf den Zielkonflikt der Kreislaufführung für sekundäre Materialien gegenüber Substanzregulierungen (z.B. REACh-Gesetzgebung) verwiesen („Circularity vs Material Compliance“). Substanzregulierungen können eine Barriere darstellen, wenn sie nachträglich eingeführt werden und deshalb bei der Materialauswahl des Primärprodukts keine Berücksichtigung gefunden haben. Hier bedarf es pragmatischer Rahmenbedingungen seitens des Gesetzgebers, z.B. Ausnahmeregelungen für Sekundärmaterialien.

#### 4. Schwerpunkt Elektronik im Fokus der Kreislaufwirtschaft

Um einen geschlossenen Material- und Komponentenkreislauf mit minimalen Ressourcenverlusten zu erreichen, muss die Fahrzeugelektronik mit betrachtet werden. Diese umfasst bei Elektrofahrzeugen z.B. die Steuerelektronik wie Controller oder Batteriemanagementsysteme sowie Leistungselektronik wie Wechselrichter für elektrische Hochspannungsantriebe.

Es ist zunächst eine **Verlängerung der Lebensdauer der elektronischen Komponenten** anzustreben, denn deren Herstellung erfordert einen hohen Einsatz von Ressourcen und Energie. Die Komponenten müssen zudem wiederverwertbar hergestellt werden, sodass eine **Nachnutzung ermöglicht** werden kann. Dazu ließe sich durch **intelligentes Design** der Grad an Integration reduzieren und mit der **Schaffung zusätzlicher Schnittstellen** ein flexiblerer Einsatz ermöglichen. Dies würde die **vertikale und horizontale Zusammenarbeit** zwischen unterschiedlichen Herstellern innerhalb der Wertschöpfungskette erleichtern.

Neben der **Modularität** der Komponenten und modularer Mechatronik können auch **generisch einsetzbare Multichip-Module** auf Wafer-Level eine Lösung darstellen. Es müssen aber Kriterien ausgestellt werden, welche elektronische Komponenten für ein „Second Life“ in welchen Anwendungen, ggf. auch außerhalb des Autos), geeignet sind. Die Updatefähigkeit steht dabei in einem Zielkonflikt mit der Zuverlässigkeit und es ist die Wirtschaftlichkeit zu bewerten.

Ein zweiter wichtiger Aspekt ist die **Reparierbarkeit**: Elektronische Baugruppen werden heute auf Zuverlässigkeit und Schutz vor kritischen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Nässe, Vibration, Schock etc.) ausgelegt. Die Reparierbarkeit durch den Austausch defekter einzelner Komponenten wie ICs oder passiver Bauelemente spielt bisher nur eine untergeordnete Rolle – verbietet sich sogar zum Teil, da z.B. komplette Steuereinheiten in Gele eingegossen werden müssen. Hier sind neue Wege zu finden, um eine „**Reparierbarkeit**“ von **Baugruppen ohne Qualitätseinbußen und zu akzeptablen Kosten** zu ermöglichen, auch im Prozess der **Fertigung**.

Alternativ ist die **Recycling-Fähigkeit von Elektroniksystemen** zu erhöhen. Dabei sind Kriterien für die Nutzung von Recycling-Materialien erforderlich. Der hohe Anspruch an die **Funktionalität und Zuverlässigkeit der Materialien** steht hier in Konkurrenz mit Performance-Einbußen beim Recycling.

Grundsätzlich stellt sich diesem Zusammenhang die Frage, inwiefern **eventuell verringerte Qualität** z.B. in nicht-sicherheitsrelevanten Einsatzbereichen akzeptabel ist. Die **redundante Verwendung** gleicher Bauteile könnte hierfür eine Lösung darstellen.

Unabdingbar für die Kreislauffähigkeit der Fahrzeugelektronik ist auch eine **Life Cycle Traceability**. Diese umfasst die Nachverfolgung der Einsatzdauer, -orte und -bedingungen zur Erstellung eines Operating Profiles (als Gegenstück zu einem Mission Profile). Mit einem dynamischen und engmaschigen Health Management bzw. Health Monitoring der elektronischen Komponenten und ihrer Funktionen können die **erweiterte funktionale Sicherheit** und die noch ausstehende Lebenszeit bestimmt werden. Damit ist es möglich, Defekte frühzeitig zu erkennen und „kostengünstig“ Reparaturen vorzunehmen, redundante Elektronikfunktionen zu aktivieren oder Entscheidungen zur Verschrottung zu fällen. Die Elektronik kann sich also selbst überwachen, aber auch fremde Komponenten, die z.B. auch mechanischer Natur sein können.

Zur Ressourcenschonung tragen auch Fahrzeuge bei, die für den Einsatz in der **Sharing Economy** optimiert werden. Dazu müssen **Elektroniksysteme für den Stand-Betrieb** und auf Haltbarkeit hin optimiert werden, so dass mechanische Aufbauten und Verbindungen dem veränderten Nutzungsprofil eines „**always on**“-Einsatzes Rechnung tragen.

Schließlich können **generische und softwaredefinierte Funktionen der Elektronik**, z.B. Hardwareupdates over life und Software bzw. Function over the air, die Auswirkungen unterbrochener Lieferketten überbrücken.

## 5. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

Um eine klima- und ressourcenschonende sowie resiliente Herstellung, Nutzung und Rückführung bzw. Verwertung des Automobils und seiner Komponenten zu sichern, ergeben sich aus heutiger Sicht folgende Forschungs- und Entwicklungsbedarfe:

- Substitution und Reduktion von Materialien zur Erreichung von Gewichtseinsparung, Langlebigkeit und Wiederverwertbarkeit, Elektronik in intelligenten Produktionsnetzwerken
- Erforschung neuer Multimaterialkombinationen für einen ressourcenschonenden und anwendungsoptimierten Einsatz
- Entwicklung intelligenter, energiesparender Methoden für die Wartung und Weiternutzung von Materialien
- Steigerung der Reparierbarkeit und Modularität von Fahrzeugen und Komponenten sowie Verankerung von Second-Use sowie Recycling- und Upcyclingfähigkeit für Materialien und Komponenten des Fahrzeugs im Design
- Entwicklung von Kriterien im Sinne von Standards zur Bewertung der Recycling-Freundlichkeit von Designs/Produkten
- Qualitätssicherung und Vermeidung von Degradation im Recyclingprozess
- Werkzeugentwicklung und Datenbeschaffung für den Design- und Konstruktionsprozess
- Erweiterung der Entwurfsmethoden um Aspekte der Nachhaltigkeit (z.B. erweitertes V-Modell, Anforderungsmanagement, Failure Mode and Effects Analysis)
- Entwicklung grüner, haltbarer und ausfallsicherer sowie wiederverwertbarer Elektroniksysteme
- Entwicklung generisch einsetzbarer Multichip-Module sowie softwaredefinierter Funktionen
- Lösungen für die Reparierbarkeit von elektronischen Baugruppen ohne Qualitätseinbußen, auch während des Herstellungsprozesses
- Optimierung von Designs und Materialien und Entwicklung von Qualifizierungsstandards, die die ein Recycling und eine redundante Verwendung im Bereich der Elektronik insbesondere auch über die Grenzen von Herstellern hinweg ermöglichen
- Entwicklung durchgängiger und manipulationssicherer Methoden zum Life Cycle Monitoring und Health Management von elektronischen und mechanischen Komponenten über „Re-Use“ hinweg
- Entwicklung robuster und langlebiger Elektroniksysteme für Fahrzeuge, die für eine geteilte Nutzung optimiert sind
- Untersuchung und Bewertbarkeit des Zusammenhangs von LCA und 10 R-Strategien
- Konzepte der modell- und plattformübergreifenden Wiederverwertung
- Herstellerübergreifende Standardisierung
- Erarbeitung einer effizienten und nachverfolgbaren Methodik zur arbeitsteiligen Erstellung einer LCA entlang der Lieferkette – vom Rohstoff zum Endprodukt – sowie die Entwicklung entsprechender Geschäftsmodelle
- Methoden der Nachhaltigkeits- und Qualitätsnachverfolgung (CATENA-X, Batteriepass)
- Methoden der CO<sub>2</sub>-Life-Cycle-Bewertung, Wirtschaftlichkeitsbewertung, Garantie

## 6. Rahmenbedingungen und Umsetzung

Folgende Rahmenbedingungen und Voraussetzungen sind entscheidend für die Umsetzung sowie Sicherung nachhaltiger Struktur- und Materialkreisläufe des Automobils:

- Berücksichtigung der Schlüsselrolle der Mobilität und des Automobils in nationalen und globalen Kreislaufwirtschaftsstrategien
- Stärkung der Wertschöpfungsketten im Bereich der Materialien, Komponenten und Konzepte einer klimaneutralen, kreislauffähigen und intelligenten Mobilität
- Einrichtung einer Werkstoff- und Technologieplattform „Neutralleichtbau“, mit der die industrielle Umsetzung von erfolgversprechenden Resultaten der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet in Ergänzung des Technologietransfer-Programm Leichtbau beschleunigt wird.

- Berücksichtigung des Konzepts eines gesamtheitlichen Life-Cycle-Engineerings und spezifischer Anforderungen der Automobiltechnik bei der Umsetzung des geplanten Material-Hubs „Material-Neutral – Ressourcensouveränität durch Materialinnovationen“, z.B. durch LCA-Bewertung der 10R-Strategien, Designs für leichteres Reparieren und Zerlegen sowie Diagnose funktionaler Sicherheit. Die vorgeschlagene Werkstoffplattform Neutralleichtbau könnte in dieses Material-Hub integriert werden.
- Berücksichtigung von Fragen der Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz im Forschungsrahmenprogramm der Bund( esregierung „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa“, z.B. durch Fokussierung auf Themen wie Lebensdauererhöhung, Modularität, Reparierbarkeit, Redundanz, Nachnutzung, Funktionalität und Zuverlässigkeit sowie Qualifizierung, Life-Time Traceability bzw. den Einsatz von generischen Multichip-Modulen.
- Umsetzung von nachhaltigen Pilotlinien z.B. im Rahmen von Important Project of Common European Interest (IPCEI)
- Standardisierung von Indikatoren und Verfahren zur Bestimmung des CO2-Fußabdrucks und der Kreislauffähigkeit von Automotive-Komponenten und -Systemen – auch im Rahmen der Regulierung und der Berichterstattung bei der EU-Taxonomie
- Ressortübergreifende Koordinierung
- Schaffung von Anreizen, Autos so zu designen und zu produzieren, dass sie später als Rohstoffquelle genutzt werden können
- Ganzheitliche Verbesserung Rahmenbedingungen für sekundäre Materialien
- Aufbau resilienterer, möglichst räumlich naher, fairer Lieferstrukturen

## 7. eNOVA

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist eine Allianz relevanter Industrieunternehmen aus den Schlüsselbranchen Automobil, Batterien, Halbleiterkomponenten, Elektrotechnik, Vernetzung. Er erarbeitet im vorwettbewerblichen Dialog Empfehlungen für Programme der Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in den Bereichen Elektrifizierung, Automatisierung und Vernetzung und stimmt diese mit der Wissenschaft und einem erweiterten Kreis von Unternehmen ab. Er konzentriert sich dabei auf das Gesamtsystem Fahrzeug und dessen Schnittstellen für Strom, Daten und Verkehr.

Folgende Unternehmen gehören dem eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft als Partner an: Audi, AVL, BMW, Bosch, Continental, Elmos, FORVIA HELLA, Infineon, NXP, Schaeffler, Vitesco Technologies und ZF. eNOVA wird durch einen Wissenschaftskreis unterstützt. Das vorliegende Papier wurde mit fachlicher Unterstützung durch Herrn Prof. Dr. Niels Modler von der Technischen Universität Dresden erstellt.

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist im Lobbyregister des Deutschen Bundestags registriert.

### Kontakt:

Bo Habermann, Sprecher von eNOVA, AUDI AG  
Stephanie Kornacker, stellv. Sprecherin von eNOVA, FORVIA HELLA

Dr. Gereon Meyer, Geschäftsstelle eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft  
bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
E-Mail [gereon.meyer@vdivde-it.de](mailto:gereon.meyer@vdivde-it.de)

[www.strategiekreis-automobile-zukunft.de](http://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de)