

## EX-ANTE-EVALUATION FÜR EIN TECHNOLOGIE- TRANSFER-PROGRAMM LEICHTBAU

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Schlussbericht (09.12.2019)

**Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde in der Regel die männliche Schreibweise verwendet. Wir weisen an dieser Stelle ausdrücklich darauf hin, dass sowohl die männliche als auch die weibliche Schreibweise für die entsprechenden Beiträge gemeint ist und alle Personen gleichberechtigt angesprochen werden.**

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber:**

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
52425 Jülich

### **Verantwortlich:**

Projektleitung:  
André Greif, Umweltinnovationen (UMW 1), PtJ

stellv. Projektleitung:

Dr. Andrea Geschewski, Wind onshore (ESE 2), PtJ

### **Autoren (in alphabetischer Reihenfolge):**

Dr. Tobias Caumanns, NMT 3, PtJ  
Dr. Anthony R. Flambard, NMT 3, PtJ  
Dr. Andrea Geschewski, ESE 2, PtJ  
André Greif, UMW 1, PtJ  
Dr. Maike Heidelberger, LGF 2, PtJ  
Dr. Gerd Schumacher, NMT 3, PtJ  
Michael Weber, UMW, PtJ

### **Stand:**

final 09.12.2019

### **Bildnachweis:**

Titel: ©current\_value - stock.adobe.com

## INHALT

<b>1. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE.....</b>	<b>6</b>
<b>3. ANALYSEN: ENTWICKLUNGSSTAND, TRENDS UND FÖRDERLANDSCHAFT .....</b>	<b>6</b>
3.1. FÖRDERLANDSCHAFT BUND, LÄNDER UND EU .....	8
3.2. LEICHTBAU IN DEUTSCHLAND – ÖKONOMISCHE BEDEUTUNG, POTENZIALE UND HEMMNISSE .....	15
3.3. LEICHTBAU DEUTSCHLAND IM INTERNATIONALEN VERGLEICH .....	21
<b>4. ZIELE DES GEPLANTEN FÖRDERPROGRAMMS .....</b>	<b>24</b>
<b>5. MÖGLICHE FÖRDERANSÄTZE FÜR DAS PROGRAMM .....</b>	<b>29</b>
<b>6. WIRKUNGSMODELLE UND INTERVENTIONSLOGIK.....</b>	<b>34</b>
6.1. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „TECHNOLOGIEENTWICKLUNG“ .....	36
6.2. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „DEMONSTRATIONSVORHABEN“ ...	38
6.3. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „STANDARDISIERUNG“ .....	39
6.4. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „VERNETZUNG“ .....	41
<b>7. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR AUSGESTALTUNG DES FÖRDERPROGRAMMS .....</b>	<b>45</b>
7.1. PROGRAMMSTRUKTUR UND OPTIONEN ZUR WEITERENTWICKLUNG .....	45
7.2. MANAGEMENT, MONITORING UND KOMMUNIKATION.....	47
7.3. MÖGLICHE EXTERNE EINFLUSSFAKTOREN.....	47
<b>8. MÖGLICHE INDIKATORENSETS .....</b>	<b>49</b>
<b>9. BEWERTUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT .....</b>	<b>53</b>
9.1. VERGLEICH VON HANDLUNGSAALTERNATIVEN.....	53
9.2. EMPFEHLUNGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHEN UMSETZUNG .....	58
<b>10. FAZIT UND AUSBLICK .....</b>	<b>58</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>60</b>
<b>ANHANG 1: INTERVIEWLEITFADEN .....</b>	<b>66</b>
<b>ANHANG 2: TECHNOLOGISCHER REIFEGRAD (TRL).....</b>	<b>69</b>



**Der Projektträger Jülich (PtJ) führte im Zeitraum 15. April bis zum 15. Oktober 2019 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) eine Ex-Ante-Evaluation für ein geplantes Technologietransfer-Programm Leichtbau durch. Mit dem vorliegenden Schlussbericht werden die Ergebnisse präsentiert.**

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Das vom BMWi geplante Technologietransfer-Programm Leichtbau soll durch Förderung des branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfers dazu beitragen, Leichtbau als Zukunftstechnologie weiterzuentwickeln und in die breite Anwendung zu überführen. Die Ex-Ante-Evaluation für das geplante Programm dient der Schärfung von Programmzielen, der Bewertung seiner voraussichtlichen Wirkung und seiner Wirtschaftlichkeit.

Die Analyse von Trends und Entwicklungen sowie aktuellen Forschungs- und Förderaktivitäten zum Thema Leichtbau (Kapitel 3) zeigt die hohe ökonomische Bedeutung des Leichtbaus für verschiedene Branchen auf. Deutschland ist im internationalen Vergleich bezüglich Forschungsaktivitäten und technologischem Entwicklungsstand gut aufgestellt, hat aber Nachholbedarf beim Transfer in die industrielle Praxis und sollte die führende Technologie-Position gezielt weiterentwickeln. Die Auswertung der aktuellen Förderlandschaft ergibt zusätzlichen Förderbedarf insbesondere für spezifische Themen der Technologieentwicklung (Digitalisierung und Automatisierung, Nachhaltigkeit und Recycling, Innovative Konstruktionsprinzipien) sowie beim branchenübergreifenden Transfer und der Übertragung in hohe Technologiereifegrade (TRL 5-8).

In Kapitel 4 wird ein geeignetes Zielsystem für das Programm entwickelt, ausgehend von übergreifenden politischen Zielen, über handlungsleitende Ziele bis zu spezifischen Förderzielen. Daraus ergeben sich mögliche Förderansätze (Kapitel 5) in den Themenbereichen Technologieentwicklung, Demonstrationsvorhaben, Internationalisierung, Vernetzung, Qualifizierung und Standardisierung. Die beabsichtigten Wirkungen werden in einer Interventionslogik mit kausalen Wirkungsmodellen (Kapitel 6) beschrieben. Diese bilden die Grundlage für die spätere Erfolgskontrolle des Programms.

Konkrete Handlungsempfehlungen zur Ausgestaltung des Programms (Programmstruktur, stufenweiser Ausbau und Weiterentwicklung, Management und Monitoring) enthält Kapitel 7. Für die effektive Programmsteuerung und zukünftige Evaluationen des Programms werden mögliche Indikatorensets entwickelt (Kapitel 8), mit denen die eingebrachten Ressourcen, umgesetzten Aktivitäten und erzielten Ergebnisse und Wirkungen gemessen werden können. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der geplanten Förderung erfolgt eine Kosten-Nutzen-Betrachtung (Kapitel 9) verschiedener Varianten des Programms (Mittelausstattung, Zielgruppen, Fördergegenstände). Abschließend wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick auf die weitere Nutzungsmöglichkeit der Ergebnisse für die Entwicklung des Programms gegeben (Kapitel 10).

## 2. ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE

Das BMWi plant Förderaktivitäten im Rahmen eines Technologietransfer-Programms Leichtbau, um Leichtbau als Zukunftstechnologie weiterzuentwickeln und in die breite Anwendung zu überführen. Übergeordnetes Ziel der Förderung ist es, den branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfer verschiedener Leichtbau-Akteure bedarfsgerecht zu initiieren und zu fördern. Damit sollen u.a. Wertschöpfungspotenziale des Leichtbaus gehoben, Ressourcen eingespart und geschlossene nachhaltige Kreisläufe implementiert werden. Der Projektträger Jülich (PtJ) wurde mit der Durchführung einer Ex-Ante-Evaluation für das geplante Technologietransfer-Programm beauftragt.

Das Evaluationskonzept ist dabei auf drei übergeordnete Ziele ausgerichtet, um die Anforderungen der Verwaltungsvorschriften zum §7 (2) BHO zu erfüllen: die Schärfung von Programmzielen des geplanten Technologietransfer-Programms Leichtbau (Zielerreichungskontrolle) sowie die Bewertung seiner Wirkung (Wirkungskontrolle) und seiner Wirtschaftlichkeit (Wirtschaftlichkeitskontrolle). Die Ex-Ante-Evaluation beinhaltet die Analyse von Trends und Entwicklungen sowie aktuellen Forschungs- und Förderaktivitäten zum Thema Leichtbau, die Ableitung von Förderbedarfen und –zielen für das Technologietransfer-Programm, die Beschreibung der beabsichtigten Wirkungen in einem Wirkungsmodell, die Prüfung der Wirtschaftlichkeit der Förderung und Handlungsempfehlungen an BMWi zur Ausgestaltung des Technologietransfer-Programms. Einen Überblick zur Vorgehensweise gibt die Abbildung 1.

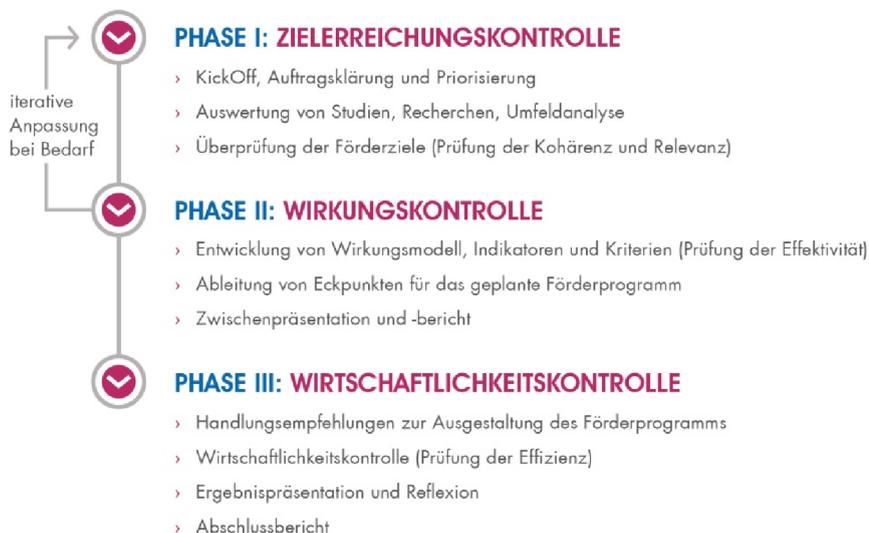


Abbildung 1: Überblick zur Vorgehensweise der Ex-Ante-Evaluation

## 3. ANALYSEN: ENTWICKLUNGSSTAND, TRENDS UND FÖRDERLANDSCHAFT

Ausgangspunkt für die Datenanalyse ist eine **Bewertung des IST-Standes des Leichtbaus** in Deutschland und im internationalen Vergleich inkl. Trends und Entwicklungen, der ökonomischen Bedeutung und den Hemmnissen für den Technologietransfer. Als Basis für die

Bewertung wurden vorhandene Studien (insgesamt 60 internationale, europäische und deutsche Studien) und veröffentlichte Daten zu wissenschaftlichen Publikationen, Technologietrends, Ressourceneffizienzeffekten, ökonomischen Potenzialen, Patentanmeldungen und internationalen Entwicklungen ausgewertet. Zur Erfassung der Förderaktivitäten der EU, des Bundes und der Bundesländer wurden verschiedene dort verankerte Förderprogramme gesichtet und analysiert. Zur systematischen Erfassung und zur besseren Vergleichbarkeit relevanter Daten wurde eine Auswertematrix für die Fördermaßnahmen erstellt. Die Auswertematrix wurde in vier Schwerpunkte unterteilt:

1. Zuordnung der Fördermaßnahme (Ressort, Förderprogramm, Fördermaßnahme, Laufzeit der geförderten Projekte)
2. Quelle und Ziel der Fördermaßnahme
3. Auswertung der Fördermaßnahme nach Anzahl der Verbundprojekte und Einzelprojekte, Fördervolumen, technologischer Reifegrad (TRL)<sup>1</sup>, Akteure, Anwenderbranchen, anwenderbranchenübergreifende Kooperationen, Wertschöpfungsketten, Leichtbauwerkstoffe
4. FE-Schwerpunkte der geförderten Projekte: Materialentwicklung, Fertigungsverfahren, additive Fertigung, Füge- und Verbindungstechnik, Funktionsintegration, Bionik, Simulation- und Modellierung, Prozessketten, geschlossene Stoffkreisläufe, Recycling, Energieeffizienz, Rohstoffeffizienz, Automatisierung, Digitalisierung, Reparaturkonzepte, Aus- und Weiterbildung, Vernetzung, Technologietransfer, Infrastruktur.

Ausgewertet wurden Fördermaßnahmen mit Laufzeitbeginn vom 01.01.2010 bis heute. Weiter zurückliegende Förderaktivitäten sowie kleinere Einzelvorhaben und grundlagenorientierte Projekte mit geringem TRL (1-2) wurden nicht berücksichtigt. Die Datenanalyse wurde an folgenden, mit dem BMWi abgestimmten, Leitfragen ausgerichtet:

- > Wie ist der aktuelle Entwicklungsstand im Leichtbau entlang der Wertschöpfungskette und des Lebenszyklus der Leichtbau-Werkstoffe und Technologien in den relevanten Wirtschaftsbranchen?
- > Wo liegen branchenspezifische Unterschiede?
- > Was sind die zentralen Herausforderungen und Hemmnisse für den Technologietransfer im Leichtbau, die einen industriellen Einsatz verzögern könnten?
- > Welche laufenden Förderaktivitäten gibt es bereits, wo gibt es Förderlücken oder Synergiepotenziale?
- > Welche Förderansätze und Ziele ergeben sich daraus?

Ergänzend dazu wurden Interviews mit Experten aus verschiedenen Anwenderbranchen anhand einer leitfadengestützten Befragung geführt, die sich an den oben formulierten Leitfragen orientiert (Interviewleitfaden siehe Anhang 1). In Abstimmung mit dem BMWi wurden die Interviewpartner ausgewählt und festgelegt. Auf ausdrücklichen Wunsch der Experten und aus Vertraulichkeitsgründen wird von einer namentlichen Nennung der Experten abgesehen. Insgesamt wurden vier Interviews mit nationalen Experten aus den Branchen Maschinenbau, Automobilbau, Windenergie und Bauindustrie sowie ein Interview mit einem Experten aus der nationalen Forschungslandschaft durchgeführt. Drei weitere Interviews

---

<sup>1</sup> Ein schematischer Überblick zu den verschiedenen Stufen des technologischen Reifegrades (TRL) ist in Anhang 2 enthalten.

wurden mit internationalen Experten der EU Kommission, aus Kanada und Südamerika geführt.

### 3.1. FÖRDERLANDSCHAFT BUND, LÄNDER UND EU

#### Leichtbau-Förderung in nationalen Förderprogrammen

Auf Bundesebene wurden Förderprogramme und Fördermaßnahmen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom BMWi erfasst und analysiert. Dabei wurden sowohl Fördermaßnahmen mit deutlichem Leichtbau-Fokus berücksichtigt als auch Fördermaßnahmen mit Leichtbau-Bezug in ausgewählten Projekten. Ein weiterer Fokus wurde auf bereits initiierte Leichtbau-Forschungs Kooperationen, wie Cluster und Netzwerke, gelegt. Darüber hinaus wurden auch Programme ausgewertet, die auf den Technologietransfer zielen. Nachfolgende Auflistung gibt einen Überblick über die ausgewerteten Förderprogramme und Fördermaßnahmen:

1. Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING sowie das Nachfolgeprogramm „Vom Material zur Innovation“ mit den Fördermaßnahmen:
  - > Multimaterialsysteme – Zukünftige Leichtbauweisen für ressourcensparende Mobilität,
  - > Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte, innovative Materialien (ProMat\_3D),
  - > BMBF-Nachwuchswettbewerb NanoMatFutur,
  - > Hochleistungsmaterialien für effiziente und umweltfreundliche Antriebssysteme – HoMAs,
  - > Werkstoffplattform Hybride Materialien – Neue Möglichkeiten, Neue Marktpotenziale – 1. Förderaufruf (HyMat1), 2. Förderaufruf (HyMat2),
  - > Leichtbau-Initiativprojekte: SMILE – Systemintegrativer Multi-Material-Leichtbau für die Elektromobilität, NEWA – Neue werkstoffbasierte Aktoren zur adaptiven Formänderung, addef – Additiv gefertigte Hochleistungskomponenten aus Titanlegierungen und Titanaluminid – Prozessbeherrschung, Charakterisierung, Simulation
2. Forschung für die Produktion von morgen mit den Fördermaßnahmen:
  - > Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte, innovative Materialien (ProMat\_3D)
  - > Energieeffizienter Leichtbau
  - > Hochleistungsfertigungsverfahren
  - > Produktionsanlagen für Wachstumsmärkte – intelligent einfach und effizient
  - > KMU-innovativ: Produktionsforschung
3. Spitzencluster-Wettbewerb – MAI Carbon
4. Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen – ARENA 2036 und Open Hybrid LabFactory (OHLF)
5. Plattform Elektromobilität – FOREL – Forschungscluster „Forschungs- und Technologiezentrum für ressourceneffiziente Leichtbaulösungen der Elektromobilität“

6. FONA<sup>3</sup> – Forschung für Nachhaltige Entwicklung (Schwerpunkt Ressourceneffizienz) mit den Fördermaßnahmen:
  - > KMU-innovativ – Verbundvorhaben Ressourceneffizienz
  - > r+Impuls – Impulse für industrielle Ressourceneffizienz
7. Innovative regionale Wachstumskerne
8. Programm Innoprofile-Transfer
9. Innovationsforen Mittelstand – MariLightNet
10. WIR! – Wandel durch Innovation in der Region
11. Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation – C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite, futureTEX
12. Exist Forschungstransfer
13. WIPANO
14. Ziviles Luftfahrtforschungsprogramm "LuFo" IV und V mit den Programmaufrufen IV-3, IV-4, V-1, V-2 und V-3
15. Maritimes Forschungsprogramm
16. Fachprogramm „Neue „Fahrzeug- und Systemtechnologien“ mit der Fördermaßnahme: Leichtbaukonzepte für Straßen- und Schienenfahrzeuge.

**Insgesamt wurden bei der Analyse der nationalen Förderprogramme 295 Verbundprojekte mit 1471 Partnern (Einzelprojekte) und einem Fördervolumen in Höhe von etwa 656 Mio. € identifiziert, die dem Leichtbau zugeordnet werden können.<sup>2</sup>** Dies entspricht einer durchschnittlichen Verbundgröße von 5 Partnern pro Verbundprojekt, ein Indiz für die Interdisziplinarität des Leichtbaus und dafür, dass Leichtbau oft nicht allein, sondern nur mit Partnern, die unterschiedliche Kompetenzen in das Vorhaben einbringen, möglich ist.

Die identifizierten Akteure sind vielfältig und beinhalten je nach Größe des geförderten Konsortiums FE-Einrichtungen, Hochschulen, Material- bzw. Halbzeughersteller, Softwareentwickler, Ingenieurdienstleister, Teile- und Systemlieferanten, Unternehmen aus dem Bereich Textiltechnik, Maschinen- und Anlagenbau, Modell- und Formenbau, Werkzeugbau, Sensorik, Laser- und Systemtechnik, Verbindungstechnik, Mess- und Prüftechnik, Automation und Endanwender. Der überwiegende Anteil der bisher geförderten Leichtbau-Projekte ist entlang der Wertschöpfungskette ausgerichtet, die häufig durch die gewählte Projektstruktur jedoch nicht ganzheitlich abgebildet wird.

Erfasste Anwenderbranchen sind: Automobilbau, Luftfahrt, Maschinenbau, Schienenverkehr, Nutzfahrzeugbau, Bauwesen, Windenergie, Schifffahrt und Medizintechnik, wobei der Hauptfokus auf dem Automobilbau und der Luftfahrt liegt. Die Luftfahrtbranche ist vor allem durch die Förderung von FE-Projekten mit Leichtbaubezug im „Zivilen Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo)“ stark vertreten. Hingegen ist die Automobilbranche eher programmübergrei-

---

<sup>2</sup> Es ist davon auszugehen, dass es darüber hinaus weitere Leichtbauprojekte in anderen themenübergreifenden Programmen gibt, die in diesem Rahmen nicht erfasst wurden. Beispielsweise werden im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) ca. 700 Kooperationsprojekte zum Thema Leichtbau im Umfang von ca. 100 Mio. € gefördert, das entspricht etwa 5 % des Projektvolumens insgesamt. Bei den geförderten ZIM-Netzwerken adressieren 10 % das Thema Leichtbau, 150 IGF-Projekte sind im Leichtbau, im Programm INNOKOM gehen ca. 6 % in den Leichtbau. (Quelle: Vortrag von Frau RL'in Heidecke, BMWi, beim Leichtbau-Transferkolloquium am 21.05.2019 in Berlin)

findend bei anwenderoffenen Maßnahmen vielfach beteiligt. Im Maritimen Forschungsprogramm werden auch Leichtbau-Themen z.B. für die Binnenschifffahrt gefördert, aber in deutlich geringerem Umfang als in LuFo. Der Maschinenbau wird häufig mit adressiert, jedoch eher als Zulieferer innerhalb der Wertschöpfungskette. Als Anwenderbranche steht der Maschinenbau in bisherigen Förderprogrammen nicht im Fokus. Gleiches gilt für die Bauindustrie, die durch bisherige Förderprogramme nur wenig Berücksichtigung findet, so dass für das Technologietransfer-Programm der Maschinenbau und die Bauindustrie als Anwenderbranchen besonders berücksichtigt werden sollten. Zudem finden branchenübergreifende Ansätze bisher ebenfalls kaum Berücksichtigung, so dass hier mit Blick auf das Technologietransfer-Programm branchenübergreifende Kooperationen gestärkt werden sollten, vor allem vor dem Hintergrund, dass bislang viele FE-Ergebnisse allein in den geförderten Unternehmen zum Einsatz kommen und nicht darüber hinaus verbreitet werden. In zahlreichen Fällen handelt es sich um Schlüsseltechnologien, welche sich auf ein Kernprodukt des durchführenden Unternehmens beziehen. In diesem Fall besteht seitens des Unternehmens ein großes Interesse bzgl. einer exklusiven Verwertung der Ergebnisse, so dass ein Ergebnistransfer in andere Branchen nur unzureichend stattfindet.

Der technologische Reifegrad (TRL) in den Verbundprojekten variiert von Stufe 2 bis 6, je nach Leichtbauwerkstoff und Anwendungsfeld, wobei schwerpunktmäßig TRL 3-5 adressiert wird. Eine Ausnahme bildet die geplante Werkstoffplattform Hybride Materialien – Neue Möglichkeiten, Neue Marktpotenziale – 1. Förderaufruf (HyMat1), die auf werkstoffbasierte Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsprojekte mit bis zu TRL 7 zielt, um die bislang nicht realisierten Marktpotenziale im Bereich der hybriden Materialien auszuschöpfen. Ein Technologietransfer-Programm, das auf einen TRL 5-8 zielt, könnte somit eine gute Ergänzung zu den bisherigen Förderaktivitäten des Bundes im Themenfeld Leichtbau darstellen und vorhandene Förderlücken schließen.

Materialseitig werden in den erfassten Projekten alle relevanten Leichtbau-Werkstoffe, wie Aluminium (Al), Magnesium (Mg), hochfeste Stähle, Titan (Ti), Intermetallische-Legierungen, faserverstärkte Kunststoffe (FVK) unter Verwendung von Carbon- (CFK), Glas- (GFK) und Naturfasern mit thermoplastischer und duroplastischer Matrix-, textilverstärkten Kunststoffen, Carbon-Beton, Textil-Beton, SiC-Keramiken, Hybrid-Materialien wie beispielsweise Kunststoff/Metall, FVK/Al, FVK/Stahl, FVK/Kunststoff, Ti-Legierungen/Cu u.a. adressiert. Aufgrund des enormen Leichtbaupotenzials von CFK wurden seit 2010 verstärkt Forschungsbemühungen unternommen, die Großserienfähigkeit des Werkstoffs für verschiedene Anwenderbranchen in Deutschland nutzbar zu machen. Dies spiegelt sich auch in der Anzahl der geförderten Vorhaben zu diesem Leichtbau-Werkstoff wider. Obwohl bereits gute Fortschritte erreicht wurden, sind noch viele werkstoffliche und fertigungstechnische Fragestellungen entlang des kompletten Bauteil-Lebenszyklus von CFK nach wie vor ungelöst. Mit Blick auf das geplante Technologietransfer-Programm sollte keine Einschränkung auf bestimmte Leichtbau-Materialien erfolgen, da alle Werkstoffe auch zukünftig ihre Berechtigung haben werden und zudem über ungenutzte Marktpotenziale verfügen, die es zu erschließen gilt. Dies trifft sowohl für bereits am Markt etablierte und weit entwickelte Leichtbau-Werkstoffe zu, wie Stahl und Al als auch für Werkstoffe wie Carbon-Beton, die am Anfang ihrer Entwicklung stehen und bisher noch keinen Marktdurchbruch erzielen konnten. Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele der Bundesregierung wird empfohlen, einen Schwerpunkt auf solche Leichtbau-Werkstoffe zu setzen, die besonders zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz oder zur

Ressourcenschonung beitragen, beispielsweise durch Einsatz von Sekundärrohstoffen und verringerten Energiebedarf.

Die in den geförderten Verbundprojekten identifizierten FE-Schwerpunkte beinhalten häufig eine Kombination aus Materialentwicklung, Simulation und Modellierung, Prozesstechnik und einer Weiterentwicklung von Fertigungsverfahren, wobei in den letzten Jahren auch zunehmend additive Fertigungsverfahren Berücksichtigung finden. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Füge- und Verbindungstechniken, die von zentraler Bedeutung für die Verarbeitung neuer Leichtbau-Werkstoffe sind. Bislang unterrepräsentiert sind FE-Ansätze zur Funktionsintegration, Digitalisierung, Automatisierung, sowie zu Prozessketten und zu bionischen Ansätzen. Darüber hinaus finden ganzheitliche Leichtbauansätze unter Berücksichtigung geschlossener Stoffkreisläufe einschließlich dem Recycling neuer Leichtbauwerkstoffe sowie Ansätze zur Energie- und Rohstoffeffizienz ebenfalls weniger Berücksichtigung, so dass eine thematische Schwerpunktsetzung des geplanten Technologietransfer-Programms Leichtbau in dieser Richtung erfolgen sollte.

Ergänzend zu den Förderaktivitäten des Bundes wurden auch **Aktivitäten der Bundesländer** erfasst und ausgewertet. Die Identifizierung und Analyse der Länderaktivitäten wurde durch die NMWP Management GmbH im Rahmen eines Unterauftrags unterstützt. Die nachfolgende Auflistung gibt einen kurzen Überblick über aktuelle Förderaktivitäten der Bundesländer, die entweder auf Leichtbau fokussieren oder Schnittstellen zum Leichtbau haben. Die Auflistung ist in Abstimmung mit dem BMWi beispielhaft und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### **Baden-Württemberg**

Das Land Baden-Württemberg bietet den dort verorteten Forschungseinrichtungen und Unternehmen vielfältige Möglichkeiten zur Innovationsförderung. Dafür werden vom Land verschiedene Förderprogramme zur Verfügung gestellt. Besonders hervorzuheben ist die Initiierung einer Landesagentur Leichtbau Baden-Württemberg (Leichtbau BW), die zur Vernetzung der Leichtbauakteure am Standort Baden-Württemberg eingerichtet wurde.

### **Bayern**

Das Bundesland Bayern kann auf verschiedene Leichtbauaktivitäten verweisen. Beispielhaft ist die Förderung von Leichtbauprojekten im Rahmen des Materialforschungsprogramms „Neue Werkstoffe“. Aktuell stellt der Freistaat Bayern zusätzlich 40 Mio. Euro zur Förderung von Leichtbau und digitalen Prozessketten in der Luft- und Raumfahrt zur Verfügung. Zudem gibt es verschiedene durch das Land geförderte Clusteraktivitäten, die schwerpunktmäßig auf Leichtbau zielen.

### **Berlin**

Die Projektförderung in Berlin zielt auf ganzheitliche Förderung für KMU ab. Es bestehen verschiedene Investitionsförderprogramme, die auch zur Entwicklung von Leichtbaukonzepten dienen.

## **Brandenburg**

Alle Förderprogramme des Landes, z.B. im Bereich Forschung, Entwicklung und Innovation oder auch im Investitionsbereich der Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW), sind themen- und branchenoffen und beinhalten somit auch die Förderung von Leichtbauthemen. Zudem gibt es einige Clusteraktivitäten, die auch den Leichtbau mit adressieren.

## **Bremen**

Die Forschungsförderung in Bremen erfolgt primär über das Förderprogramm „Forschung und Entwicklung von Innovationen (FEI)“ sowie über das „Bremer Luft- und Raumfahrtforschungsprogramm 2020 (LuRaFo)“. Das Programm LuRaFo zielt dabei auf die Schwerpunktfelder Leichtbau- und Fertigungsprozesse, Hochauftriebs- und Frachtlade-Systeme, Remotely Piloted Airborne Systems (RPAS), Satelliten und Downstreamprodukte, Trägersysteme und astronautische Raumfahrt ab. Zudem wurde ein Technologiezentrum (ECOMAT) etabliert, mit dem Ziel Leichtbau-Kompetenzen zu bündeln und auszubauen.

## **Hamburg**

Hamburg verfügt über Innovationsförderprogramme, die grundsätzlich branchen- und technologieoffen sind und sowohl Gründer als auch bereits etablierte Unternehmen adressieren. Das Förderprogramm "Programm für Innovation (PROFI)" mit den drei Modulen PROFi Standard, PROFi Umwelt und PROFi Transfer Plus (EFRE) dient der Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten von einzelnen oder mehreren Unternehmen jeglicher Größe und Branche in Hamburg. In diesem Kontext wurden in den Modulen PROFi Standard und PROFi Umwelt verschiedene Leichtbau-Projekte unterstützt.

## **Hessen**

Im Bundesland Hessen sind die bestehenden Programme themenoffen und über die Förderziele definiert. So stehen bei dem Programm „LOEWE 3“ die Kooperation zwischen KMU und Forschungseinrichtungen sowie bei dem Programm „PIUS“ die Ressourceneffizienz und CO<sub>2</sub>-Einsparung im Mittelpunkt. Die Bedeutung des Leichtbaus für den Standort Hessen spiegelt sich auch in der Broschüre „Leichtbau in Hessen“ wider, die 2018 von der Hessen Trade & Invest GmbH - Technologieland Hessen veröffentlicht wurde.

## **Mecklenburg-Vorpommern**

Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern wird auf Wirtschafts- und Investitionsförderung gesetzt, wobei der Fokus auf kleine und mittlere Unternehmen gelegt wird. Gezielte Aktivitäten zur Förderung von Leichtbau stehen aktuell nicht im Mittelpunkt, können jedoch durch die bestehenden Programme mit adressiert werden.

## **Niedersachsen**

Niedersachsen besitzt eine eigene Förderrichtlinie, die gezielt Forschungs- und Technologieentwicklung im Bereich der zivilen Luftfahrt unterstützt und den Leichtbau mit adressiert.

## **Nordrhein-Westfalen**

Die Forschungsförderung in Nordrhein-Westfalen ist eingebettet in die Forschungs- und Strukturförderung der Europäischen Union und des Bundes. Von besonderer Bedeutung für den Leichtbau sind hier u.a. die NRW Leitmarktwettbewerbe der Landesregierung, welche integraler Bestandteil des Operationellen Programms NRW 2014 – 2020 für den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung „Investitionen in Wachstum und Beschäftigung“ (OP EFRE NRW) sind.

## **Rheinland-Pfalz**

Rheinland-Pfalz fördert gezielt den Leichtbau und neue Werkstoffe über die Transferinitiative RLP. Das Schwerpunktthema Leichtbau und Neue Materialien umfasst im Bereich Leichtbau alle Entwicklungen von der Verwendung von Papier bis hin zu strukturierten Metallblechen. Im Fokus steht die Verringerung des Gewichts bei vergleichbaren oder sogar verbesserten mechanischen Eigenschaften. Der Bereich Neue Materialien hängt sehr eng mit der Chemie zusammen. Hier werden besonders neue Polymere, aber auch neue Legierungen und auch bisher wenig genutzte Biomaterialien betrachtet.

## **Saarland**

Im Saarland erfolgt Technologieförderung im Rahmen des „Zentralen Technologieprogramms Saar“ zur Stärkung des Innovationspotenzials in Unternehmen. Im Rahmen des „Zentralen Technologieprogramm Saar“ sollen innovative und erfolgversprechende Projekte unterstützt und damit ein signifikanter Beitrag zur Stärkung des Innovationspotenzials im Saarland geleistet werden, wodurch auch zum Leichtbau Beiträge geleistet werden.

## **Sachsen**

Die Bedeutung des Leichtbaus für das Bundesland Sachsen spiegelt sich aktuell an der Errichtung zweier Leichtbauzentren wider. Hierbei handelt es sich um ein Deutsch-Koreanisches Technologiezentrum, und ein weiteres, dass vom "Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik" (ILK) der TU Dresden eingerichtet werden soll.

## **Sachsen-Anhalt**

Das Schwerpunktfeld „Leichtbau“ ist Bestandteil der Regionalen Innovationsstrategie des Landes Sachsen-Anhalt. So findet sich beispielsweise im Leitmarkt „Mobilität und Logistik“ das Spezialisierungsprofil „Leichtbau“ mit Forschungsthemen wie „hybride Bauteile“, Funktionsintegration und Additive Fertigungsverfahren. Im Leitmarkt „Chemie/Kunststoffe“ stehen Werkstoff- und Materialentwicklungen im Fokus der Forschungsarbeit. Vom Land werden FE-, sowie Innovationsprojekte durch geeignete Landesförderinstrumente in Ergänzung zu den Bundesprogrammen des BMWi und BMBF unterstützt.

## **Schleswig-Holstein**

In Schleswig-Holstein besteht die Möglichkeit, im Rahmen des Programms „EFRE in Schleswig-Holstein 2014-2020“, Vorhaben mit einer nachhaltigen Wertschöpfung zu fördern. Hierbei können auch Leichtbautechnologien adressiert werden.

## Thüringen

Die Forschungsförderung in Thüringen ist eingebettet in die Forschungs- und Strukturförderung der EU und wird im Rahmen der regionalen Forschungs- und Innovationsstrategie für intelligente Spezialisierung (RIS3 Thüringen) des Freistaats umgesetzt. Die Richtlinie des Freistaats Thüringen zur Förderung von Forschung, Technologie und Innovation (FTI-Richtlinie) ist überwiegend „technologieoffenen“ und auf verschiedene Fördergegenstände ausgerichtet. Darüber hinaus gibt es weitere Förderprogramme, die ebenfalls technologieoffen sind und in denen der Materialaspekt bzw. Leichtbauentwicklungen eine wichtige Rolle spielen können.

Die Auswertung der Förderprogramme und Förderaktivitäten der Bundesländer macht deutlich, dass die Leichtbauförderung in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich weit fortgeschritten ist. Hierbei zeigen sich große regionale Unterschiede. Während Länder wie Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Sachsen Schwerpunkte der Leichtbauförderung bilden, gibt es in anderen Bundesländern deutlich weniger Aktivitäten. Dennoch haben die Bundesländer die Bedeutung des Leichtbaus als Innovationstreiber für die Wirtschaft erkannt und unterstützen diese im Rahmen ihrer Möglichkeiten durch geeignete Förderprogramme oder andere Leichtbauaktivitäten. Auch hier kann ein Technologietransfer-Programm Leichtbau helfen, Lücken zu schließen, regionale Aktivitäten zu vernetzen und eine hochspezialisierte Leichtbaufertigung und -forschung zu ermöglichen.

### Leichtbau-Förderung im europäischen Rahmenprogramm Horizont 2020 (NMBP)

**Auf EU-Ebene wurden durch das Rahmenprogramm für Forschung und Innovation Horizont 2020 (H2020) bis heute 86 Projekte mit Bezug zum Leichtbau mit einem Gesamtbudget von rund 273 Mio. € gefördert. Dabei erreicht Deutschland im Staatenvergleich einen Spitzenplatz, sowohl bei den Teilnehmern, als auch bei der Verteilung der Fördermittel: 126 deutsche Projektpartner wurden in 45 Projekten mit 65,5 Mio. € gefördert.**

Grundsätzlich weisen die Themen im Bereich der Materialwissenschaften einen vergleichsweise niedrigen Technologiereifegrad (TRL 3-5) auf, während die angewandten Leichtbau-Themen (TRL 4-7) einen Schwerpunkt in den Bereichen Transport, Gebäude, Brücken- und Maschinenbau besitzen. All diese Themen verfolgen das Ziel der Entwicklung neuer innovativer Materialien und Werkstoffe für z. B. energie- und ressourceneffiziente Gebäudehüllen, den Bau von Maschinen für die additive und subtraktive Fertigung, die Herstellung von Windenergie- und Gezeitenturbinen sowie die Gewichtsreduzierung von großvolumigen Fahrzeugen und Komponenten unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus. Die angestrebten positiven Auswirkungen dieser Projekte sind: eine signifikante Reduktion der Herstellungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungskosten der Anlagen, eine Reduktion der Energiegewinnungskosten sowie eine Reduktion der Umweltbelastung. Außerdem spielt die Gewichtsreduktion im Transport von z. B. Anlagenelementen aber auch für Konsumgüter im täglichen Gebrauch eine überaus wichtige Rolle.

### Zwischenfazit Förderlandschaft:

- > Die Auswertungen zur Förderung im Leichtbau bestätigen die hohe Interdisziplinarität, die oft eine Vielzahl von Kompetenzen in der technologischen Umsetzung erfordert. Anwenderbranchenübergreifende Ansätze finden aber bisher kaum Berücksichtigung und Schlüsselergebnisse werden oft unternehmensexklusiv ermittelt und stehen für den weiteren Transfer nicht zur Verfügung.
- > Die Bereiche Luftfahrt und Automobil sind in der Förderung stark vertreten. Der Maschinenbau und die Bauindustrie finden als Anwenderbranchen in bisherigen Förderprogrammen mit Leichtbau-Bezug nur wenig Berücksichtigung und sollten in einem Technologietransfer-Programm Leichtbau mit adressiert werden.
- > Materialeitig sollte keine Einschränkung auf bestimmte Leichtbau-Materialien erfolgen, da alle Werkstoffe über ungenutzte Potenziale verfügen und oft in Kombination eingesetzt werden. Um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen, wird empfohlen, einen Schwerpunkt auf solche Leichtbau-Werkstoffe und -fertigungsverfahren zu setzen, die besonders zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz und zur Ressourcenschonung beitragen, z. B. durch Einsatz von Sekundärrohstoffen und verringerten Energiebedarf.
- > Schwerpunkte der Förderung liegen in der Materialentwicklung, Füge- und Verbindungstechnik und Fertigung, unterrepräsentiert dagegen sind FuE-Ansätze zur Funktionsintegration, Digitalisierung, Automatisierung und Bionik.
- > Ganzheitliche Leichtbauansätze unter Berücksichtigung geschlossener Stoffkreisläufe einschließlich Wiederverwertung sowie Ansätze zur Energie- und Rohstoffeffizienz finden ebenfalls bisher wenig Berücksichtigung.
- > National wurden vor allem Entwicklungen im TRL-Bereich 2-6 gefördert (schwerpunktmäßig TRL 3-5); auf EU-Ebene sowie in einigen anderen Staaten (z. B. USA, VR China) wird dagegen auch der Technologietransfer auf höheren TRL unterstützt. Förderlücken bei bestehenden nationalen Förderprogrammen existieren im Bereich TRL 5-8.

### 3.2. LEICHTBAU IN DEUTSCHLAND – ÖKONOMISCHE BEDEUTUNG, POTENZIALE UND HEMMNISSE

Als Ergebnis der Studienanalyse und der Expertenbefragungen kann festgehalten werden, dass das Themenfeld Leichtbau mit dem Ziel eines optimalen Materialeinsatzes in Bezug auf Funktion und Leistung überall dort eine besonders hohe Bedeutung hat, wo Massen bewegt werden oder Material in Produkten gebunden wird. Im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland sind die Materialkosten der größte Kostenfaktor am gesamten Bruttoproduktionswert – deutlich größer als die Personalkosten. So waren 2011 im Durchschnitt 46 % des Bruttoproduktionswertes Materialkosten, gegenüber 16 % Personalkosten. Die Tendenz scheint stei-

gend zu sein: in 2016 entspricht das Verhältnis 58 % Materialkosten zu 18,5 % Personalkosten.<sup>3</sup>

Bei Fahr- und Flugzeugen ist bei konsequentem Leichtbau eine geringere Antriebsleistung für die gleichen Fahr- bzw. Flugeigenschaften notwendig. Des Weiteren sinkt der Kraftstoffverbrauch, und das Gewichtsverhältnis von Transportmittel zu Fracht verbessert sich. Angesichts wachsender Ressourcenknappheit, Klimaschutzbemühungen und steigendem Innovationsdruck wird das Thema Leichtbau branchenübergreifend auch zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen. Diese Erkenntnis aus den Studien wird auch durch die Expertenbefragungen bestätigt.

Dabei wird die Bedeutung des Leichtbaus für die einzelnen Branchen des Verkehrssektors durch die Experten unterschiedlich bewertet. Im Luftfahrtbereich wird dem Leichtbau nach wie vor eine sehr hohe Bedeutung beigemessen. Mit Blick auf den Zukunftstrend: „Elektrisch Fliegen“ – muss die Struktur leicht sein! Während in der Automobilbranche der Leichtbau beim Einsatz von Verbrennungsmotoren noch ein absolutes Muss war, ist Leichtbau im Rahmen der Einführung von E-Mobilität etwas in den Hintergrund gerückt. Langsam kommt der Leichtbau aber auch hier wieder in den Fokus, da noch ausreichend Marktpotenzial vorhanden ist, vor allem im Hinblick auf eine möglichst geringe gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz eines fertigen Produktes. Dabei wird der Leichtbau im Automobilbau nach wie vor als wichtig bewertet; er darf nur nicht als Selbstzweck erfolgen, sondern es braucht immer einen guten Grund für Leichtbau, wie beispielsweise eine Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz, Erhöhung der Nutzlast, Verbesserung des Beschleunigungsverhaltens und der Fahrdynamik. Wirtschaftlich sinnvoll ist Leichtbau aus Sicht der Automobilindustrie nur in Kombination mit zusätzlicher Funktion. Bei automobilen Großserien ist die Kostenstruktur maßgebend und der Leichtbau von untergeordneter Bedeutung; bei Kleinserien hat Leichtbau strategische Bedeutung als Verkaufsargument. Im Schienenverkehr und in der Schifffahrt, insbesondere bei großen Schiffen und Tankern, wird die Bedeutung des Leichtbaus im Vergleich zum Automobilbau etwas geringer eingestuft, da Leichtbau vor allem dort interessant ist, wo häufig Geschwindigkeitswechsel stattfinden. Dementsprechend wird auch die Bedeutung des Leichtbaus bei Nutzfahrzeugen eher etwas geringer gesehen, da diese großen Strecken mit konstanter Geschwindigkeit, meist 100 km/h, fahren. Hier wird die Rollreibung (Reifen/Straße) als entscheidender Faktor bewertet und nicht der Leichtbau. Dennoch ist der Leichtbau im Nutzfahrzeugbereich auch zukünftig von Bedeutung, so lange die Gewichtseinsparpotentiale mit geringem Kostenaufwand zu realisieren sind; dann werden nach Aussagen der Experten auch gerne einige Kilogramm eingespart (Beispiel: Ausbau des Beifahrersitzes im Tanklastler, um 30 Liter mehr Ladung transportieren und verkaufen zu können).

Im Bereich der Windenergie wird der Leichtbau ebenfalls als sehr wichtig eingestuft. Als Beispiel wurde die Rotorblattentwicklung genannt. Übergeordnetes Ziel sind jedoch geringstmögliche Stromgestehungskosten, dem muss sich auch der Leichtbau unterordnen. Daher ist und bleibt das Material der Wahl bei Rotorblättern aus Kostengründen vorerst glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) – auch wenn einige Windenergieanlagenhersteller bereits auf carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK) setzen.

<sup>3</sup> Quelle: statistisches Bundesamt 2018, Fachserie 4, Reihe 4.3 und DESTATIS, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/IndustrieVerarbeitendesGewerbe.html>

Im Maschinenbau und der Baubranche wird die Bedeutung des Leichtbaus von den Experten als sehr hoch eingestuft. Im Maschinenbau eröffnet der Leichtbau viele neue Produktionsmöglichkeiten. Mittels Leichtbau optimierte Maschinen werden sehr viel produktiver, als Beispiel wurden Papiermaschinen genannt. Hier haben metallische Werkstoffe, wie z. B. Stahl ihre Grenzen erreicht und ein Wechsel auf Composite-Materialien, wie CFK führt zu Gewichtseinsparungen. Zur Erschließung von Marktpotenzialen bei neuen Leichtbauwerkstoffen (Composite) bedarf es jedoch an Kostensenkung und verbesserter Wirtschaftlichkeit, da Leichtbau häufig mit einer Kostenerhöhung verbunden ist, was Kunden nicht vermittelbar ist. In der Baubranche ist das Ziel, immer dünner und leichter zu bauen, was nur durch neue Leichtbauwerkstoffe möglich ist. Dabei wird dem Leichtbau ein extrem hohes Potenzial vorhergesagt, da noch viel Einsparpotenzial bei Bauteildicke und Gewicht besteht. Beispielsweise ist Leichtbau für Bewehrungen und Wandelemente interessant, aber auch bei Zuschlagstoffen sind leichte Materialien von Bedeutung.

In den in Deutschland besonders umsatzstarken Branchen Automobil- und Maschinenbau sowie Luft- und Raumfahrt bestimmt der Leichtbau unmittelbar die innovative, zukunftsorientierte Weiterentwicklung der Branchen. Dies betrifft insgesamt knapp 2 Mio. Beschäftigte in Deutschland. So verzeichnet die Automobilbranche in 2018 über 841.000 Beschäftigte (Umsatz 425 Mrd. €), der Maschinenbau 1.046.000 Beschäftigte (Umsatz 252 Mrd. €) und die Luft- und Raumfahrt 65.958 Beschäftigte (Umsatz 25 Mrd. €).<sup>4</sup> Neue Leichtbautechnologien können somit dazu beitragen, die Wirtschaftskraft deutscher Unternehmen zu verbessern und leisten einen Beitrag zur Sicherung von Arbeitsplätzen.

Im internationalen Vergleich ist Deutschland in den wichtigen Technologie- und Anwendungsfeldern gut positioniert. Von den Experten wird Deutschland als Vorreiter im Leichtbau und in einigen Bereichen sogar als Weltmarktführer gesehen. Das deutsche Kompetenzportfolio und die materialrelevanten Strukturen sind international konkurrenzfähig und leisten Beiträge zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der materialanwendenden Industrien. Diese heutigen Stärken bedürfen aber einer kontinuierlichen Weiterentwicklung, und zwar bevorzugt dort, wo eine gute Technologieposition mit einer hohen Branchenattraktivität, d. h. hohe Gewinnmargen und große Wertschöpfungsketten, korrespondiert. Dieses trifft insbesondere für die leichtbaugetriebenen Branchen Automobil-, Maschinenbau, Luft- und Raumfahrt und die Energietechnik zu.<sup>5</sup>

Dabei sehen die Experten auch zukünftig Entwicklungsbedarf bei allen Leichtbauwerkstoffen, so dass keine Fokussierung auf bestimmte Werkstoffklassen empfohlen werden kann. Der bestehende Wettstreit zwischen den einzelnen Werkstoffen, führt zu einem starken Wettbewerb und begünstigt Innovationen. Als Beispiel wurde Aluminium (Al) genannt, das in den 1980er Jahren als Leichtbauwerkstoff noch weitgehend bedeutungslos war und in den 1990er Jahren einen riesigen Schub durch die Automobilindustrie erhielt. Heutzutage ist Al ein hochentwickelter Werkstoff und findet viele Anwendungen im Leichtbau. Auch

---

<sup>4</sup> Quelle statistisches Jahrbuch 2018 und DESTATIS,  
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus.html>

<sup>5</sup> Quelle: Wettbewerbspositionen mit Zahlen von 2015 aus BMWi:  
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus.html>

Stahl ist inzwischen sehr weit entwickelt, sehr leistungsfähig und günstig im Vergleich zu anderen Leichtbau-Werkstoffen, aber nach Einschätzung der Experten noch lange nicht am Ende seiner Potentiale angekommen. In der Luft- und Raumfahrt wird vor allen Dingen auf Titan (Ti)/Al und Faserverbund-Werkstoffe gesetzt. Im Automobilbau finden vor allem Stahl und Al in der Großserie Anwendung. Faserverbundwerkstoffe spielen hier noch eine untergeordnete Rolle. Exklusivere Baureihen werden zum Beispiel gern mit Mg, Al, Ti und hybriden Materialien versehen. In der Bauindustrie werden, besonders mit Blick auf die fortschreitende Urbanisierung carbonfaserverstärkte Materialien, die es aufgrund ihrer Festigkeit und ihres Lastaufnahmevermögens ermöglichen, größer, höher und fester zu bauen, als besonders innovationsträchtig gesehen. Die Innovationsfähigkeit dieses neuen Materials wurde auch durch die Verleihung des Deutschen Zukunftspreises für Carbon-Beton gewürdigt. Gleichwohl müssen für Anwendungen im Baubereich u. a. noch offene Fragen zum Rückbau und Recycling der Leichtbau-Komponenten gelöst werden. Insgesamt bieten viele Werkstoffe interessante Potenziale. Problematisch wird laut der Expertenrückmeldungen der Einsatz von Magnesium (Mg) eingeschätzt, da Mg hauptsächlich aus China kommt und der Marktpreis daher starken Schwankungen unterliegt. Zudem bestehen Probleme mit dem Korrosionsverhalten.

Innovationstreiber für neue Leichtbau-Materialien und -technologien sind nach wie vor die Luftfahrt- und die Automobilindustrie, was auch durch die Einschätzungen der Experten bestätigt wird. Durch den „Abgasskandal“ steigt die Bereitschaft der Automobilunternehmen, sich noch stärker dem Thema Elektromobilität zu widmen. Neben der Batterietechnik spielt hierbei die Entwicklung von neuen Leichtbaukonzepten eine zentrale Rolle und könnte als Treiber für Leichtbau-Innovationen genutzt werden. Dabei reicht aus heutiger Sicht der klassische Werkstoffleichtbau, wobei ein Bauteil durch einen anderen Werkstoff mit höheren spezifischen Eigenschaften ausgetauscht wird (z. B. Substitution Stahl- durch Aluminium-Blech im Automobilbau) nicht mehr aus, um den geforderten Leistungen und dem Kostendruck gerecht zu werden. Stattdessen muss – getrieben durch die gestiegenen Anforderungen an Fahrkomfort und Sicherheit im Fahrzeug, aber auch durch die Zielvorgaben zur CO<sub>2</sub>-Minderung – ein ganzheitlicher Leichtbauansatz betrieben werden. Hybrid-Leichtbau in Verbindung mit Funktionsintegration steht daher im Vordergrund der gegenwärtigen Entwicklungsarbeiten vor allem im Automobil- und Flugzeugbau, könnte jedoch im Sinne der Cross-Innovation gewinnbringend auf andere Branchen überführt werden. Dabei wird der funktionsintegrierte Leichtbau auch in der Bauindustrie als äußerst innovationsträchtig bewertet, beispielsweise in der Heiztechnik (Decken-, Wand- und Dachelemente zum Heizen), bei Bauteilen in Kombination mit Solartechnik und elektrischen Speichern oder für intelligente Systeme in Kombination mit Automatisierung.

Dem Luftfahrtsektor kommt als Leichtbauvorreiter eine besondere Rolle zu, da in der Luftfahrt höchste Anforderungen an Werkstoffe, Sicherheit und Effizienz gestellt werden. Somit ist die Luftfahrt als Innovationstreiber zu sehen, muss aber auch höhere Werkstoff-, Fertigungs- und Betriebskosten in Kauf nehmen. Viele für den Luftfahrtbereich attraktive Entwicklungsergebnisse scheiden für den Einsatz in anderen Branchen kurz- und mittelfristig aus Kostengründen noch aus. Allerdings werden insbesondere aus der Entwicklung neuer Fertigungsverfahren immer wieder indirekte positive Effekte auf andere Branchen erkennbar. Umgekehrt profitiert die Luftfahrtindustrie aus den Erfahrungen anderer Branchen, z. B. hinsichtlich der Serienfertigung von Komponenten aus dem Automobilbau. Dies wird auch von

den Experten so gesehen, die branchenübergreifende Ansätze als sehr wichtig einschätzen, um zu zukunftssträchtigen Innovationen zu gelangen. Dies betrifft sowohl werkstoffliche als auch fertigungstechnische Fragestellungen. Als Erfolgsbeispiel für branchenübergreifende Ansätze wird z. B. im Composite-Bereich die Wickeltechnologie genannt, die in verschiedenen Branchen bereits heute zur Fertigung von Bauteilen eingesetzt wird.

Der Trend vom Hybrid-Leichtbau geht über die Branchen hinweg noch stärker in Richtung Mischbaustrukturen. Dabei wird z. B. CFK als Werkstoff der nächsten Generation in Mischbauweise mit Aluminium gesehen, zu deren Realisierung der Einsatz maßgeschneiderter Werkstoffkombinationen und robuste, wandlungsfähige Prozesse, erforderlich sind. Aber auch Stahl-Hybriden wird zukünftig eine hohe Bedeutung beigemessen. Benötigt werden intelligente Leichtbau-Lösungen, indem entweder ein intelligenter Material-Mix zum Einsatz kommt oder funktionsintegrierte Leichtbauansätze angestrebt werden. Trends werden auch in intelligenten Produktionsprozessen, iterativem Engineering, der Entwicklung von automatisierten Prozessketten, der Vernetzung von Produktionsmaschinen und in der Entwicklung von ressourceneffizienten Materialien gesehen. Innovationshemmnisse ergeben sich vor allem aus Unkenntnis von wichtigen Materialeigenschaften (hier ist Technologietransfer aus der Forschung unabdingbar) und den hohen Materialkosten. Aber auch die Probleme der Verbindungstechnik beispielsweise für Stahl/GFK (CFK) müssen noch gelöst werden.

Der Digitalisierung als Schlüsseltechnologie für den Leichtbau wird eine hohe Bedeutung beigemessen. Die Werkstoffe (Beispiel CFK, Hybrid-Materialien) werden immer anspruchsvoller; daher sind Experten und vor allem Tools und Simulationsmodelle zur Beschreibung der komplexen Eigenschaften notwendig. Eine verbesserte Simulationstechnik spart viel Zeit gegenüber tatsächlichen Tests (Beispiel Crashtest). Aber auch Digitalisierung im Sinne von Automatisierung (Industrie 4.0) ist zukünftig von stärkerer Bedeutung. Neben der Digitalisierung werden auch Potenziale in bionischen Ansätzen, beispielsweise zur Topologieoptimierung von Leichtbaustrukturen, gesehen, auch wenn die Bedeutung der Bionik insgesamt im Vergleich zur Digitalisierung deutlich geringer eingestuft wird.

Die Bereiche Recycling und Nachhaltigkeit spielen bei der Entwicklung neuer Leichtbau-Produkte inzwischen bei den meisten Unternehmen eine große Rolle, insbesondere auch vor dem Hintergrund die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen und bis 2050 CO<sub>2</sub>-neutral zu produzieren. Nachhaltige Werkstoffentwicklung ist heute aber oft noch viel zu teuer und geht daher eher stockend voran. Von besonderer Bedeutung wird die CO<sub>2</sub>-Bilanz gesehen, die bei der Entwicklung und dem Einsatz von Leichtbau-Werkstoffen zunehmend an Bedeutung gewinnt. In diesem Zusammenhang sind auch geschlossene Stoffkreisläufe wichtig und müssen zukünftig bei der Entwicklung neuer Leichtbau-Werkstoffe mitgedacht werden, um Ressourcen zu schonen und Beiträge zum Klimaschutz zu liefern. Hier besteht nach Ansicht der Experten noch enormer Nachholbedarf. Nach Einschätzung der Experten könnte staatliche Regulierung, z. B. in Form von vorgegebenen Recyclingquoten, unterstützend wirken. Beispielsweise ist die Herstellung von recycelten CF-Halbzeugen viel zu teuer im Vergleich zu primärem Material, so dass ohne Regulierung auch zukünftig kein recyceltes Material zum Einsatz kommen würde, da zudem die Qualität häufig auch noch minderwertig ist. Als Hemmnis wurde auch genannt, dass CO<sub>2</sub>-Einsparungen nicht vom Erzeuger geltend gemacht werden können und das vorhandene Regelwerk Recycling eher behindert und nicht die notwendigen Anreize setzt.

Die Entwicklung von neuen Hybridmaterialien und deren Einsatz erfordern, dass die Akteure unterschiedlicher Disziplinen zusammenarbeiten und ihr materialspezifisches Know-how bündeln. Hier wird es zukünftig noch wichtiger werden, die jeweils notwendigen Akteure inkl. Verbände und Institutionen zusammenzubringen und miteinander zu vernetzen, wenngleich die deutschen Großunternehmen nach Aussagen der Experten bereits heute schon sehr gut vernetzt sind. Häufig bestehen Kooperationen mit Zulieferern (Entwicklung, Materialverbesserung), insbesondere kleineren Unternehmen, Lieferanten, Anlagenbauern und Forschungseinrichtungen im Rahmen von geförderten Projekten. Im Maschinenbau sind die Kooperationen häufig kundengetrieben, wohingegen im Automobilbau die Großkonzerne bereits selbst eine große Fertigungstiefe haben (beispielsweise Kunststoffteile oder Gehäuse Teile werden selbst hergestellt, dabei werden Produktionsabfälle weiterverwendet) und über ein großes internes Netzwerk verfügen, das aber durchaus noch besser vernetzt werden könnte. Insbesondere die Bauindustrie, die eher konservativ auf neue Entwicklungen reagiert, kann zukünftig profitieren, vorausgesetzt, dass die richtigen Akteure zusammengeführt werden. Hierbei sind Veranstaltungen, wie das vom BMWi durchgeführte „Forum Leichtbau“ hilfreich, interessante Kooperationspartner zu finden. Bedarf wird vor allem in der Unterstützung bei Vermarktungsstrategien für neue Leichtbau-Materialien gesehen, z. B. in Form von Messen und Informationsveranstaltungen. In diesem Zusammenhang wird auch der systematische Aufbau von Wissen über neue Leichtbauwerkstoffe beim Endkunden als wichtig angesehen, wobei Vernetzungsaktivitäten hier unterstützend wirken könnten.

Um einen Markteintritt von neuen Leichtbauwerkstoffen, wie beispielsweise Hybrid-Materialien zu beschleunigen, sehen die Experten mit Blick auf das geplante Technologietransfer-Programm, die Notwendigkeit die Förderung von FE-Projekten auf höhere TRLs auszurichten, um eine bessere Durchlässigkeit von der Forschung zu den Unternehmen zu bewerkstelligen. Zudem könnte hierdurch eine gute Ergänzung zu bereits bestehenden BMBF- und BMWi-Programmen erreicht und Förderlücken geschlossen werden.

### Zwischenfazit Leichtbau in Deutschland:

- > Das Themenfeld Leichtbau mit den Zielen der Gewichts- und Ressourceneinsparung hat überall dort eine hohe Bedeutung, wo Massen bewegt werden müssen oder Material in Produkten gebunden wird. Ein Hauptargument für Leichtbau ist die Einsparung von Rohstoffen sowohl bei der Herstellung des Produkts als auch bei dessen Nutzung. Angesichts wachsender Ressourcenknappheit und steigendem Innovationsdruck wird das Thema Leichtbau branchenübergreifend auch zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen.
- > In den in Deutschland besonders umsatzstarken Branchen Automobil, Luft- und Raumfahrt sowie Maschinenbau bestimmt der Leichtbau unmittelbar die innovative, zukunftsorientierte Weiterentwicklung der Branchen. Die Entwicklung und Nutzung von Leichtbaulösungen ist somit eine wichtige Voraussetzung auch für die künftige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie.
- > Innovationstreiber für neue Leichtbau-Materialien und -technologien sind nach wie vor die Luftfahrt- und die Automobilindustrie.
- > Aus heutiger Sicht reicht der klassische Werkstoffleichtbau, wobei ein Bauteil durch einen anderen Werkstoff mit höheren spezifischen Eigenschaften ausgetauscht wird,

nicht mehr aus, um den geforderten Leistungen und der Senkung des Kostendrucks gerecht zu werden. Benötigt werden intelligente Leichtbaulösungen in Richtung Material-Mix und Hybrid-Leichtbau, wobei der funktionsintegrierte Leichtbau zunehmend in den Fokus rückt.

- > Entwicklungsbedarf besteht bei allen Werkstoffen, wobei branchenübergreifende Ansätze als besonders wichtig erachtet werden.
- > Digitalisierung wird als Schlüsseltechnologie für zukünftige Leichtbauentwicklungen gesehen. Zudem rücken ganzheitliche Forschungsansätze unter Beachtung der CO<sub>2</sub>-Bilanz zunehmend in den Fokus. Die Bereiche Recycling und Nachhaltigkeit gewinnen ebenfalls zunehmend bei den Unternehmen an Bedeutung, auch wenn hier noch enormer Nachholbedarf besteht.
- > Die Vernetzung zwischen den einzelnen Leichtbauakteuren ist insgesamt weit fortgeschritten, bedarf zukünftig aber ebenfalls noch weiterer Unterstützung.

### 3.3. LEICHTBAU DEUTSCHLAND IM INTERNATIONALEN VERGLEICH

Mit Hilfe von Recherchen in einer Publikationsdatenbank (Web of Science), einer Patentdatenbank (Derwent Innovation Index), mehreren Gesprächen mit internationalen Experten und einer Durchsicht von 60 Leichtbau-Studien wurde ein internationaler Überblick erstellt.

Innerhalb der Datenbank für wissenschaftliche Veröffentlichungen (Web of Science) wurden mit den englischen Suchbegriffen „lightweight materials“ und „lightweight construction“ in unterschiedlicher Schreibweise ab 2016 über 670 Veröffentlichungen gefunden. Die Auswertung zeigt, dass die meisten wissenschaftlichen Leichtbauaktivitäten aus Deutschland, gefolgt von den USA und China stammen.

Innerhalb des Datenfeldes zu den Förderquellen wurden anschließend in diesem Datensatz über 500 Einträge identifiziert. Mit diesem Auswertefeld wurde analysiert, welche Förderquellen und Förderinstitutionen von den Autoren der wissenschaftlichen Publikationen benannt wurden. Über 290 Eintragungen ließen sich Förderprogrammen und Förderinstitutionen zuordnen. Abbildung 2 zeigt die Auswertung der Förderquellen ab 2016. Es ist ersichtlich, dass sich über 30 % der Eintragungen auf Förderprogramme in China beziehen, gefolgt von den USA mit 17 %, Deutschland mit 12 % und der EU Kommission mit 8 %. Eine wirklichkeitsgetreue Abbildung der Forschungsaktivitäten verschiedener Weltregionen lässt sich jedoch daraus nicht ableiten, da es unterschiedliche Strategien für den Technologietransfer gibt und nicht immer sichergestellt werden kann, dass öffentliche Fördermittel genutzt oder Angaben zu Förderprogrammen und Förderinstitutionen in den Veröffentlichungen getätigt werden.



2017 gehören die hiesigen Maschinenbauer zur Weltspitze – nur die USA und die VR China sind umsatzstärker. Gemessen an den Exporten blieb Deutschland in 2017 mit einem Anteil von 15,9 Prozent an der Weltmaschinenausfuhr größtes Maschinen-Exportland, gefolgt von der VR China und den USA. Leichtbau gewinnt im Maschinenbau weltweit an Bedeutung. Wie sich dies in der Patentliteratur widerspiegelt, kann jedoch im Rahmen dieser Studie nur bedingt ermittelt werden.

Die herausragende Stellung Deutschlands im europäischen Vergleich kann durch ein geplantes Technologietransfer-Programm ausgebaut werden und anderen EU-Staaten als Vorbild für eigene Programme dienen. So wird der Leichtbau-Standort Europa nachhaltig gestärkt.



Abbildung 3: Top 25 der internationalen Innovatoren (Quelle: Derwent Patentdatenbank).

In den Interviews, die mit internationalen Experten geführt wurden, wurde vor allem auf die Themen „Trends und Entwicklungen“, „Wissenstransfer vom Labor in die Gesellschaft“, „Potential und Stärke Deutschlands im Leichtbausektor“, „Länder und Regionen mit besonders großen Leichtbauaktivitäten“ und „Förderprogramme dieser Länder und Regionen“ fokussiert. Es wurde deutlich, dass dies sehr komplexe Themen sind. Es wird ein breites Spektrum an Trends und Entwicklungen abgedeckt. Ein gemeinsamer Trend aller Befragten sind Multimaterialien und hybride Bauteile. Auch additive Fertigungsverfahren spielen eine große Rolle. Das Recycling wird ebenfalls immer wichtiger, daher sind auch hier neue Konzepte zur Weiterverwendung z.B. von faserverstärkten Kunststoffen vonnöten. Als Barrieren, die den Technologietransfer behindern, wurden vor allem Defizite in der Wissensvermittlung im außerschulischen und außeruniversitären Umfeld ins Spiel gebracht. Auch das geistige Eigentum stellt in diesem Zusammenhang ein Problem dar. Gerade im Automobilbau wird viel in privaten Unternehmen geforscht, in denen ein Interesse besteht, die selbst vorangebrachte Forschung auch nur zum eigenen Vorteil zu nutzen, so dass Technologietransfer hier er-

schwert wird. Im internationalen Vergleich wird Deutschland im Bereich des Leichtbaus von allen befragten Experten durchweg als Vorreiter und vor allem im Automobilbau als führend gesehen. Prozesssteuerung und Werkstoffwissenschaften sind auf einem enorm hohen Level und auch das deutsche Forschungssystem ist sehr effizient und hoch angesehen. Ebenfalls ist Deutschland international (von der Chemie und Mechanik, bis hin zur Leichtbau-Anwendung in der Automobilbranche, der Luft- und Raumfahrt, usw.) hervorragend vernetzt. Fragt man nach Ländern und Regionen, die aus globaler Sicht derzeit besonders aktiv sind, so stechen vor allem Japan, China, Korea, die USA und Europa hervor. Dies deckt sich auch mit den oben präsentierten Ergebnissen zum internationalen Überblick. Leider konnte keiner der Experten weitergehende Informationen zu Förderprogrammen in diesen Ländern liefern.

Alles in allem zeigen die Interviews, dass Deutschland im internationalen Vergleich im Bereich der Forschung und Entwicklung sehr gut aufgestellt ist. Es besteht eine breite Basis aus Wirtschafts- und Forschungsunternehmen auf diesem Gebiet. Ein auf den Technologietransfer zugeschnittenes Förderprogramm kann dafür sorgen, dass durchaus bestehende Schwächen beseitigt werden und der Forschungsstandort Deutschland dadurch noch weiter gestärkt wird.

#### **Zwischenfazit internationaler Vergleich:**

- > Im internationalen Vergleich ist Deutschland aufgrund seiner breiten technologischen Kompetenz (Charakterisierung, Fertigung und Standardisierung), seiner wirtschaftlich potenten und innovationsfreudigen Unternehmensstruktur und seiner hervorragenden internationalen Vernetzung (Chemie, Mechanik, Formenbau, bis zur Anwendung im Fahrzeugbau, in der Luft- und Raumfahrttechnik, im Bereich der erneuerbaren Energien etc.) sehr gut aufgestellt.
- > Das deutsche Kompetenzportfolio und die materialrelevanten Strukturen sind international konkurrenzfähig und leisten wertvolle Beiträge zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der materialanwendenden Industrien.

## **4. ZIELE DES GEPLANTEN FÖRDERPROGRAMMS**

In der modernen Forschungs- und Innovationsförderung gewinnen Systeme zur Begleitung und Bewertung zunehmend an Gewicht. Ziele dieser Systeme sind neben der höheren Effizienz der Programme auch die Möglichkeit zur gezielten Weiterentwicklung des Portfolios und eine erhöhte Transparenz für Politik, Industrie, Wissenschaft und Bevölkerung. Als integraler Bestandteil des geplanten Technologietransfer-Programms Leichtbau ist die Entwicklung eines konsistenten Zielsystems und einer darauf aufbauenden Wirkungsanalyse vorgesehen. Das Zielsystem soll einen Bezug zwischen den Programmzielen einerseits und den übergeordneten politischen Zielen sowie den identifizierten Handlungsbedarfen andererseits herstellen. Eine spätere Zielerreichungskontrolle des geplanten Programms ist nur möglich, wenn die Programmziele klar spezifiziert wurden und überprüfbar sind.

Das entwickelte Zielsystem berücksichtigt drei Ebenen, die hierarchisch miteinander verknüpft sind. Die Ebene 1 umfasst dabei die strategischen politischen Ziele, die Ebene 2 be-

steht aus handlungsleitenden Zielen für das Technologietransfer-Programm und die Ebene 3 enthält die spezifischen Förderziele der geplanten Maßnahmen.

### **Ebene 1 – Strategische politische Ziele**

Als Grundlage für das geplante Technologietransfer-Programm wurden zunächst die strategischen politischen Ziele definiert und mit dem BMWi abgestimmt. Als Bezugspunkte für das Zielsystem wurden die folgenden politischen Strategien auf Bundesebene festgehalten: der Koalitionsvertrag, die Nationale Industriestrategie 2030, die Hightech-Strategie 2025, die Rohstoffstrategie, die in Vorbereitung befindliche Leichtbaustrategie, die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (inkl. Ziele der COP 21), das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), die Digitalstrategie und die KI-Strategie.

Aus diesen politischen Strategien können die vier folgenden, übergeordneten politischen Ziele der Industrie- und Innovationspolitik abgeleitet werden:

1. Sicherung und Stärkung des Industriestandorts Deutschland
2. Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und Arbeitsplätze
3. Klima- und Umweltschutz, nachhaltige Wirtschaft
4. Ausbau der Innovationskultur

Diese übergeordneten Ziele werden in den o. g. politischen Strategien mit Teilzielen und spezifischen Maßnahmen untersetzt, die einen Beitrag zu ihrer Umsetzung leisten sollen. Eine Zusammenfassung der politischen Ziele, zu denen Beiträge durch das geplante Technologietransfer-Programm Leichtbau zu erwarten sind, zeigt Abbildung 4.



Abbildung 4: Ebene 1 des Zielsystems für das Technologietransfer-Programm Leichtbau. Die vier übergeordneten politischen Ziele der Industrie- und Innovationspolitik in Deutschland (links) werden in den ausgewerteten Strategien der Bundesregierung mit Teilzielen und spezifischen Maßnahmen (rechts) untergesetzt.

Diese Zielebene 1 bildet die Grundlage, um daraus im Folgenden die handlungsleitenden Ziele für das geplante Technologietransfer-Programm Leichtbau zu entwickeln und damit den direkten Bezug zum Thema Leichtbau herzustellen. Prioritär sind dabei für das BMWi die drei großen Themenblöcke Wirtschaft und Industrie, Klima und Umwelt sowie Arbeitsplätze.

## Ebene 2 – Handlungsleitende Ziele

Leichtbau gehört zu den Schlüsseltechnologien für die Zukunft. Das strategische Ziel des BMWi ist es deshalb, Deutschland zum Leitmarkt und Technologieführer für Leichtbau zu entwickeln. Die hohe Relevanz des Themas wird zudem durch die Auswahl des Leichtbaus als Leuchtturmprojekt der Bundesregierung 2019 durch den Staatssekretärsausschuss für nachhaltige Entwicklung unterstrichen. Die Kernbotschaft des geplanten Technologietransfer-Programms ist in Abstimmung mit BMWi: „**Leichtbau als Innovationstreiber für nachhaltiges Wirtschaften**“. Dafür schlägt PtJ fünf handlungsleitende Ziele vor (siehe auch Abbildung 5):

1. Leichtbau in die breite industrielle Anwendung bringen
2. Innovations- und Wertschöpfungspotentiale des Leichtbaus heben
3. Branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfer fördern
4. Klima- und Nachhaltigkeitsziele erreichen
5. Durchgängig digitalisierte, verknüpfte Wertschöpfungsnetze schaffen

Diese fünf handlungsleitenden Ziele bilden den Ausgangspunkt für eine weitere Spezifizierung der Programmziele zur Förderung des Wissens- und Technologietransfers für den Leichtbau in verschiedenen Anwendungsbereichen. Die daraus resultierenden operativen Ziele für das Technologietransfer-Programm Leichtbau sind aus Abbildung 5 ersichtlich.

## LEICHTBAU ALS INNOVATIONSTREIBER FÜR NACHHALTIGES WIRTSCHAFTEN



Abbildung 5: Ebene 2 des Zielsystems für das Technologietransfer-Programm Leichtbau. Die fünf vorgeschlagenen handlungsleitenden Ziele sind links dargestellt. Darauf aufbauend ergeben sich (rechts dargestellt) verschiedene operative Ziele, die in den Fokus des Technologietransfer-Programms Leichtbau gestellt werden können.

Mit der Festlegung dieser zweiten Zielebene wird der grundsätzliche Rahmen für die Entwicklung des Technologietransfer-Programms Leichtbau festgelegt. Die Ableitung spezifischer Förderziele für das Technologietransfer-Programm steht im Fokus des nächsten Arbeitsschrittes.

### **Ebene 3 – Spezifische Förderziele**

Relevante Förderthemen für das Technologietransfer-Programm zu definieren ist Kernbestandteil der dritten und letzten Zielebene. Dies erfordert den Bezug zwischen der politischen Zielsetzung (Ebene 1 und 2 des Zielsystems) einerseits und dem realen Entwicklungsstand des Leichtbaus in Deutschland andererseits. Der in Kapitel 3 dargestellte Entwicklungsstand des Leichtbaus in Deutschland gibt einen Überblick über (1) die Leichtbau-Förderung in nationalen Programmen, (2) die Leichtbau-Förderung im europäischen Rahmenprogramm Horizont 2020 und (3) internationale Forschungsaktivitäten zum Thema Leichtbau. Zusammenfassend erwiesen sich bei der Analyse der Daten mehrere FE-Ansätze als unterrepräsentiert. Dazu gehören insbesondere die Themenbereiche (1) Digitalisierung und Automatisierung, (2) intelligente Prozessketten, (3) nachhaltige Werkstoffentwicklung und Recycling neuer Leichtbauwerkstoffe, (4) ganzheitliche Leichtbauansätze unter Berücksichtigung geschlossener Stoffkreisläufe, (5) Funktionsintegration, (6) bionische Ansätze.

Darüber hinaus finden branchenübergreifende Ansätze im Leichtbau bisher kaum Berücksichtigung in der nationalen Förderung. Ebenso variiert – abhängig vom Leichtbauwerkstoff und vom Anwendungsfeld – der technologische Reifegrad (TRL) in den geförderten Verbundprojekten bis dato von Stufe 2 bis 6. Ein Technologietransfer-Programm, das neben den o. g. fachlichen Lücken branchenübergreifende Kooperationen stärkt und auf einen TRL 5-8 abzielt, würde somit eine gute Ergänzung zu den bisherigen Förderaktivitäten des Bundes im Themenfeld Leichtbau darstellen.

Auch im europäischen und internationalen Kontext ist Leichtbau ein zentrales Thema (siehe Kapitel 3). Von einer gezielten Vernetzung und strategischen Kooperation mit global führenden Leichtbau-Nationen wie z. B. Frankreich, den Niederlanden, Großbritannien, den USA und Kanada kann daher ein erheblicher Mehrwert erwartet werden.

Auch die im Rahmen der Trendanalyse durchgeführten leitfadengestützten Interviews mit ausgewiesenen Experten bestätigen diese Themenbereiche. Wie in den Interviews noch einmal herausgestellt wurde, ist Leichtbau für die Industrie kein Selbstzweck. Nur in Kombination mit zusätzlichen Funktionen wie z. B. einer verbesserten CO<sub>2</sub>-Bilanz oder einer Erhöhung der Nutzlast wird Leichtbau wirtschaftlich interessant und sinnvoll. Die Themenbereiche Ressourceneffizienz, Recycling und Nachhaltigkeit gewinnen bei den Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Darüber hinaus wird ein besonderer Bedarf an einheitlichen Standards von Leichtbau-Materialien/ -Verfahren sowie Prüfverfahren, in der Standardisierung von Berechnungsverfahren zur Umweltbilanz von Materialien sowie bei der Qualifizierung des Personals gesehen. Für einen branchenübergreifenden Transfer fehlen z. B. Kompetenzen zu den Fragen, welches Material wo einsetzbar ist und wie verschiedene Materialien zusammengefügt werden können.

Als konkrete Anknüpfungspunkte für die Förderung schlägt PtJ auf dieser Basis die folgenden Themenbereiche für das Technologietransfer-Programm Leichtbau vor:

1. Technologieentwicklung
2. Demonstrationsvorhaben
3. Internationalisierung
4. Vernetzung
5. Qualifizierung
6. Standardisierung

Diese sechs Themenbereiche werden in Kapitel 5 näher erläutert. Für ausgewählte Themenbereiche werden im darauffolgenden Schritt Wirkungsmodelle erstellt (Kapitel 6).

## 5. MÖGLICHE FÖRDERANSÄTZE FÜR DAS PROGRAMM

Die Ergebnisse der Analysen zeigen Bedarfe und Förderlücken, die Ansatzpunkte für das geplante Technologietransfer-Programm bieten. Auf dieser Grundlage schlagen wir dem BMWi mögliche Themenbereiche vor, die diese Bedarfe adressieren und Beiträge zur Erreichung der oben formulierten Ziele leisten können. Die Tabelle 1 zeigt die Themenbereiche im Überblick, die anschließend näher erläutert werden.

Tabelle 1: Überblick möglicher Förderansätze für das Technologietransfer-Programm

Bereich	Förderansatz/-themen	Erwartete Ergebnisse
Technologieentwicklung	Integration neuer Technologieentwicklungen als Treiber für nachhaltige Leichtbau-Lösungen; mögliche thematische Schwerpunkte siehe a-c; Adressierung möglichst hoher TRL (5-8)	
a) Digitalisierung und Automatisierung	Simulationsgestützte Entwicklung; vollständig, digitalisierte und automatisierte Prozessketten; Systematische Ansätze zur Bewertung der Technologie bzw. des Reifegrades	Hochwertige Modelle, Simulationen und Prognosewerkzeuge, durchgängige Datenkommunikation in Wertschöpfungsnetzen, Praxisgerechte Schnittstellentools für durchgängige Simulationsketten für Fertigungsprozesse
b) Nachhaltigkeit und Recycling	Integration der Lebenszyklusanalyse (LCA) in die Produktentwicklung, Entwicklung effizienter Verfahren für das hochwertige Recycling von Leichtbau-Materialien	Verbesserte LCA-Methoden und -Daten, ganzheitliche Bilanzierungsansätze, neue Recyclingtechnologien
c) Innovative Konstruktionsprinzipien	Neue Konstruktionsprinzipien (z. B. Bionik, Einsatz additiver Fertigung), funktionsintegrierter Leichtbau, Systemlösungen	Bauteiloptimierung, Serientauglichkeit, Einsparung von Kosten; Senkung Fertigungsaufwand, Bauraum und Gewicht durch alternative Gestaltungsprinzipien; 3D-Druck für Metalle
Demonstrationsvorhaben	Pilothafte industrielle Umsetzungen mit Leuchtturm-Charakter: (a) Förderung kleinerer Demonstrationsprojekte und (b) Aufbau von Pilotanlagen; Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungsnetze / branchenübergreifend, Ziel: TRL 6-8	Gesteigerte Marktfähigkeit für Leichtbau-Produkte und – Technologien, sichtbare Demonstrationsstandorte, industrielle Referenzanlagen, Serientauglichkeit

Internationalisierung	Gezielte Vernetzung und Kooperation mit global führenden Leichtbaunationen (z.B. USA, Kanada): Unternehmen und Forschungseinrichtungen, Workshops, Anbahnungsreisen, ggf. Ankopplung an G7/20	Wissenstransfer (von den „Besten“ lernen), strategische Kooperationen, Projektanbahnungen
Vernetzung	Ausbau von Netzwerken für den Technologietransfer: branchenübergreifende Netzwerke, existierende Netzwerke verknüpfen (z. B. Leichtbaunetzwerke mit Branchennetzwerken), KMU und weitere Unternehmen entlang der Wertschöpfungsnetze	Wissenstransfer über Unternehmens- und Branchengrenzen, neue Kooperationen, Projektanbahnungen
Qualifizierung	Aus-, Fort- und Weiterbildung für Ingenieure und Techniker in neuen Leichtbautechnologien, Austausch von Fachkräften und Entwicklungsprogramme für KMU, Kooperationen mit IHK, Hochschulen, Technologiezentren, Bund/Länder, ggf. BMBF	Stringente, bedarfsgerechte Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen, Ausbildungskonzepte, Schulungen, Webinar-Reihe, Lehrpläne und -materialien
Standardisierung	Standardisierung von (hybriden) Leichtbaumaterialien und –Technologien, Entwicklung von (zerstörungsfreien) Prüfmethode, Materialdatenbanken, systematische Erhebung von Kennwerten, Unterstützung von Standardisierungsaktivitäten zur Qualitätssicherung	Prüfmethoden für neue Leichtbaumaterialien, standardisierte Verfahren zur Datengenerierung, Datenmanagement, Modellierung, Simulation oder Systemanalyse, standardisierte Datenaustauschformate und Schnittstellen, Datenbanken, Standards für Materialien sowie Füge- und Fertigungstechniken

## Technologieentwicklung zur Stärkung der deutschen Wirtschaft

Eine fokussierte Förderung von Technologieentwicklung bietet sich dort an, wo neue Technologien einen erheblichen Schub für den Leichtbau versprechen, um neue Anwendungspotenziale zu erschließen, Kosten zu senken und die Serientauglichkeit zu verbessern. Insbesondere die Themen Digitalisierung und Automatisierung (a) versprechen dies und standen im Kontext Leichtbau bislang nicht im Vordergrund der Förderung. Weitere Zukunftsthemen, die erhebliches Potenzial für den Leichtbau bieten, sind Nachhaltigkeit und Recycling (b) sowie Innovative Konstruktionsprinzipien (c).

In Abgrenzung von bestehenden Förderprogrammen sollten keine grundlagenorientierten Forschungsaktivitäten, sondern konkrete Entwicklungsfragen zur Integration und Umsetzung in industrielle Produktionsprozesse im Vordergrund stehen. Branchenspezifische Entwicklungen (z. B. für die Luftfahrt oder die maritime Industrie), die im Rahmen bestehender Technologieprogramme bereits abgedeckt sind, sollten nicht dupliziert werden. Vielmehr sollte eine gute Anschlussfähigkeit und Komplementarität der Förderung hergestellt werden. Eine Kooperation bzw. abgestimmte Arbeitsteilung mit einschlägigen Förderprogrammen im BMBF und BMWi könnte sich für die Förderung der Technologieentwicklung anbieten oder alternativ eine Fokussierung auf hohe TRL (5-8). Die Anwenderbranchen Maschinenbau und Bauindustrie könnten besondere Berücksichtigung finden, um Förderlücken im Themenfeld Leichtbau zu schließen.

### a) Digitalisierung und Automatisierung

Die digitale Transformation in der Industrie ist ein Schwerpunktthema des BMWi. Sie ist die Grundvoraussetzung, um Zukunftstechnologien wie Künstliche Intelligenz (KI) und Quanten-

computing (QC) nutzen zu können. Insbesondere für Schlüsseltechnologien wie den Leichtbau wird es daher entscheidend sein, entsprechende Kompetenzen auszubauen und zu bündeln, um die Potenziale voll ausschöpfen zu können. Zu erwarten sind bessere Modelle, Simulationen und Prognosewerkzeuge, intelligente Fertigungsprozesse sowie erhebliche Produktivitätssteigerungen durch Automatisierung im Leichtbau. Entscheidende Wettbewerbsvorteile werden durch die bestmögliche Abstimmung von Prozessen in Entwicklung und Fertigung erwartet. Am Ende stehen modulare, wandlungsfähige und übertragbare Fertigungs- und Prozessstrukturen und die verstärkte Nutzung digitaler Zwillinge für die Produktentwicklung. Die Entscheidung für einen neuen Werkstoff bzw. eine neue Technologie stellt eine zentrale Herausforderung für Unternehmen dar. Systematische Ansätze zur Bewertung einer Technologie bzw. des Reifegrades würden eine bessere Chancen- und Risikobetrachtung ermöglichen. Wichtig wird es auch sein einfache und praktikable Zugänge zu den Zukunftstechnologien aufzuzeigen – insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

### **b) Nachhaltigkeit und Recycling**

Im Fokus stehen für die Leichtbau-Industrie zunehmend die Aspekte Nachhaltigkeit und Recycling. Ein gesonderter Fokus liegt dabei auf der Steigerung der Kreislauffähigkeit und auf der Entwicklung und der Optimierung von hochwertigen Recyclinglösungen für Leichtbaumaterialien und –bauteile. Bei der Förderung entsprechender Technologie- und Produktentwicklungen sollten unbedingt eine entsprechende Lebenszyklusperspektive vorausgesetzt und begleitende Untersuchungen eingeplant werden, um nachzuweisen, dass durch die Neuentwicklungen tatsächlich ein positiver Beitrag zur Ressourcen- und Energieeffizienz über den gesamten Lebensweg erbracht wird.

### **c) Innovative Konstruktionsprinzipien**

Neue Konstruktionsprinzipien und -verfahren (z. B. Bionik, Einsatz additiver Fertigung) sowie der funktionsintegrierte Leichtbau bieten der Industrie ein enormes Potenzial für Effizienzsteigerungen bei gleichzeitiger Kosteneinsparung und sind damit ein interessantes zukünftiges Förderthema. Durch alternative Konstruktionsweisen eröffnet der Leichtbau branchenübergreifend Wege zur Bauteiloptimierung in Bezug auf z. B. Belastbarkeit, Fertigungsaufwand, Bauraum und Gewicht. Als Ergebnis werden signifikante Einsparungen von Ressourcen, Energie und Emissionen erwartet. Von einem zügigen Transfer innovativer Verfahren und Werkstoffe in die Anwendung erhofft man sich daher deutliche Wettbewerbssteigerungen für die Unternehmen. Eine gesteigerte Ressourceneffizienz und der intelligente Einsatz von Substituten sollen darüber hinaus zum Klima- und Umweltschutz beitragen. Für das Technologietransfer-Programm sind dabei vor allem Ansätze von Interesse, die das Potenzial haben, in absehbarer Zeit Marktreife zu erlangen.

### **Demonstrationsvorhaben**

Um neuen Technologien den Markteintritt zu erleichtern und Risiken bei der Skalierung und ersten industriellen Umsetzung abzufedern, ist die Realisierung von Demonstrationsvorhaben wichtig. Ziel sind Technologiereifegrade (TRL) im Bereich 6-8, um die industrielle Praxistauglichkeit und Skalierbarkeit nachzuweisen. Es geht zum einen um die Förderung von Einzel- und Verbundprojekten (Demonstrationsprojekte), die eine vielversprechende Techno-

logie gezielt im industrieorientierten Umfeld testen (TRL 6-7). Zum anderen soll durch den Aufbau von Pilotanlagen der reale Einsatz eines System-Prototyps demonstriert werden (d. h. TRL 7-8). Dies können Unternehmen ohne öffentliche Förderung oft nicht leisten. Demonstrationsprojekte können Leuchtturm-Charakter mit großer Strahlkraft für das Thema Leichtbau und das BMWi (z. B. Leitungstermine bei Anlageneinweihung) haben. Über den Standort hinaus werden dadurch Akzeptanz und Vertrauen in die Technologie gestärkt, um weitere Umsetzungen in anderen Unternehmen anzustoßen. Im Vordergrund sollten Unternehmen stehen, die bereit sind, erhebliche eigene Investitionen und Risiken zu tragen, um Innovationen anzustoßen. Insbesondere branchenübergreifende Kooperationen zwischen Unternehmen in Wertschöpfungsnetzen könnten damit unterstützt werden. Eine Kooperation mit dem etablierten Umweltinnovationsprogramm (UIP) des BMU, das gelegentlich definierte Themenschwerpunkte für einzelne Förderrunden ausschreibt, könnte sich anbieten. Im Rahmen des UIP werden erste industrielle Umsetzungen von umweltentlastenden Technologien/Anlagen mit Zuschüssen oder zinsvergünstigten Krediten gefördert.

### **Internationalisierung**

Um die internationale Vernetzung deutscher Leichtbau-Akteure mit den führenden Leichtbau-Nationen zu unterstützen, könnten fokussiert Kooperationen mit ausgewählten Ländern gefördert werden. Dabei sind das internationale Wettbewerbsumfeld und mögliche Konkurrenzsituationen zu beachten. Deshalb sollte auf Länder fokussiert werden, bei denen eine gute und vertrauensvolle Kooperationsbasis und gegenseitiges Interesse besteht (Win-Win-Situation) und ein erheblicher Mehrwert aus der Zusammenarbeit deutscher und internationaler Unternehmen und Forschungseinrichtungen erwartet wird (z. B. USA, Kanada). Politisch könnte an die Initiativen der G7 und G20 zur Ressourceneffizienz angeknüpft werden.

Mögliche Formate könnten gemeinsame Veranstaltungen (Workshops, Konferenzen), Infrastrukturen/Netzwerke, Anbahnungsreisen und Personalaustausch sein. Auf Erfahrungen aus den Förderaktivitäten des Markterschließungsprogramms (MEP) und des Managerfortbildungsprogramms des BMWi oder des Internationalen Büros des BMBF (Anbahnung von Forschungsk Kooperationen) könnte darauf aufgebaut werden.

### **Vernetzung**

Über die bereits etablierten regionalen und nationalen Leichtbaunetzwerke hinaus werden Impulse für den Wissens- und Technologietransfer durch gezielte Vernetzung in neuen Konstellationen erwartet.

Branchenübergreifende Netzwerke ermöglichen einen Blick über den Tellerrand und eröffnen Perspektiven auf Entwicklungen aus anderen Branchen. Trotz branchenspezifischer Anforderungen und Besonderheiten könnte auf diese Weise ein beschleunigter Wissenstransfer angeregt werden, z. B. indem Erfahrungen und Erkenntnisse aus Vorreiter-Branchen des Leichtbaus (Luftfahrt, Automobil) auf andere Branchen (Maschinenbau, Bauen) übertragen werden. Für Know-How-Träger und Technologieanbieter ergeben sich dadurch mögliche neue Kooperationen und Geschäftsentwicklungen.

Weitere Möglichkeiten zum Wissens- und Technologietransfer bietet die Verknüpfung vorhandener Netzwerke, z. B. Leichtbau-Netzwerke mit branchenspezifischen Netzwerken.

Dadurch werden Leichtbau-Kompetenzen gebündelt sichtbar und für Branchenvertreter innerhalb etablierter Netzwerke zugänglich gemacht.

Insbesondere KMU könnten von einer stärkeren Vernetzung mit anderen Unternehmen entlang der Wertschöpfungsnetze profitieren. Aufgrund beschränkter Ressourcen und finanzieller Möglichkeiten sowie hoher Risiken bei Produktionsanpassungen können einige KMU nicht eigenständig in die erforderlichen Maschinen, Anlagen und Know-How für Leichtbau investieren.

### **Qualifizierung**

Leichtbau-Innovationen stellen oft wesentlich veränderte Anforderungen an die Mitarbeitenden in Unternehmen, die mit neuen Materialien, Konstruktionen und Fertigungstechnologien umgehen. Das betrifft sowohl die Produktentwickler, Ingenieure, Techniker als auch weitere Fachkräfte und Auszubildende. Eine gute und breite Material-, Produkt- und Fertigungskennntnis sind das Fundament für einen branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfer. Insofern ist eine entsprechende Qualifizierung der Mitarbeitenden in vielen Unternehmen, insbesondere KMU, eine große Herausforderung.

Förderansätze ergeben sich bei der Entwicklung von Aus-, Fort- und Weiterbildungskonzepten, Infrastrukturen, Lehrplänen und -materialien, um die Mitarbeitenden für neue Leichtbautechnologien zu befähigen. Module zur Bildung und Qualifizierung könnten in größeren Verbundprojekten zur Technologieentwicklung integriert oder eigenständig verfolgt werden. Hier bietet sich eine enge Kooperation mit vorhandenen Strukturen und Institutionen der Länder an, z. B. IHK und Berufsbildungszentren. Vorhandene Erfolgsbeispiele aus einzelnen Bundesländern könnten auf andere Bundesländer bzw. bundesweit übertragen werden. Vorhandene Technologiezentren oder Technikumsanlagen an Hochschulen oder Forschungseinrichtungen bieten ebenfalls Möglichkeiten zur Ausbildung von Fachkräften aus Unternehmen. Speziell für KMU könnten auch Programme zum Personalaustausch/-entwicklung für die eigenen Fachkräfte bzw. zum temporären Einsatz von externen Experten im eigenen Unternehmen interessant sein.

Unter Beachtung der föderalen Zuständigkeiten auf Bundes- und Landesebene wäre ggf. eine Kooperation mit dem BMBF zur Förderung von (Berufs-)Bildungsaspekten für den Leichtbau möglich.

### **Standardisierung**

Bei der Entwicklung neuer Leichtbau-Materialien, -Verfahren und -Technologien werden fehlende Materialkennwerte, Prüfmethode und Standards als ein Hemmnis für deren Einsatz gesehen. Der Bedarf an Maßnahmen zur Qualitätssicherung und -verbesserung ist daher hoch. Zwei zentrale Aspekte aus dem Blickwinkel der Industrie konnten im Rahmen der Experteninterviews identifiziert werden: die Standardisierung von (hybriden) Leichtbau-Materialien und -Technologien und die Entwicklung von standardisierten Prüfmethode für neue Leichtbau-Materialien (Kapitel 3). Zum Abbau der Hemmnisse könnten darüber hinaus sowohl grundlegende Arbeiten zur Datenerhebung, -prüfung und -bereitstellung in entsprechenden Datenbanken (z. B. bei Forschungseinrichtungen, Hochschulen, BAM) als auch vorbereitende Aktivitäten für Normen, Standardisierung und Zertifizierungssysteme gefördert

werden. Diese schaffen die Grundlage für den qualitätsgesicherten Einsatz von Leichtbaulösungen und erhöhen Vertrauen und Zuverlässigkeit. Eine Zusammenarbeit mit den einschlägigen Normungsgremien (z. B. DIN, VDI), Prüf- und Zertifizierungsstellen (z. B. TÜV) und Bundeseinrichtungen (z. B. BAM) bietet sich dafür an.

### **Zwischenfazit**

Die Analysen zu Entwicklungsstand und Trends (Kapitel 3) zeigen mehrere Ansatzpunkte für das geplante Technologietransfer-Programm Leichtbau. Für die weiteren Wirkungsanalysen empfehlen wir eine Priorisierung der sechs oben dargestellten Themenbereiche.

Der Themenbereich „Qualifizierung“ erscheint trotz seiner grundsätzlichen Relevanz nicht als prioritärer Fokus für das Technologietransfer-Programm Leichtbau. Eine effiziente Umsetzung erfordert nicht nur initial eine Ressortabstimmung mit dem BMBF sondern auch die intensive Einbindung der Länder und die enge Absprache und Kooperation mit geeigneten Partnern. Eine Umsetzung sollte daher entsprechend vorbereitet und ggf. in anderer Weise – als begleitende Aktivität neben dem Technologietransfer-Programm – angestrebt werden.

Für die Entwicklung der nationalen Förderprogramme ist auch ein guter Überblick über das internationale Wettbewerbsumfeld und – wo nötig – auch die Einbindung internationaler Kompetenzen und entsprechende Kooperationen notwendig, um international kompetitive Entwicklungen im Bereich Leichtbau zu ermöglichen. Die Umsetzung internationaler Projekte und Konsortien erfordert zunächst vorgelagerte Absprachen auf ministerieller Ebene zu gemeinsamen Förderzielen und zum grundsätzlichen Modus operandi. Eine entsprechende internationale Komponente sollte in das Technologietransfer-Programm Leichtbau aufgenommen werden – vor dem Hintergrund der verfügbaren Mittel aber eher zu einem späteren Zeitpunkt.

Im Folgenden werden daher zunächst nur für die vier Themenbereiche „Technologieentwicklung“, „Demonstrationsvorhaben“, „Standardisierung“ und „Vernetzung“ Wirkungsmodelle erstellt.

## **6. WIRKUNGSMODELLE UND INTERVENTIONSLOGIK**

Die für das Technologietransfer-Programm definierten Programmziele und die Vorschläge für mögliche Förderansätze sind in Kapitel 4 und 5 beschrieben. Sie sollen die Schlüsseltechnologie Leichtbau als Innovationstreiber für nachhaltiges Wirtschaften etablieren und dadurch substantziell zum Abbau von Hemmnissen im Bereich Technologietransfer beitragen. Um zusätzlich die Relevanz, die Wirkungsbeziehungen und die Qualität der vorgeschlagenen Maßnahmen abschätzen zu können, sind aufbauend darauf eine Wirkungsanalyse, die Entwicklung eines Indikatorensystems und die Abschätzung externer Einflussfaktoren vorgesehen.

Die Effektivität eines Förderprogramms hängt von vielen Faktoren ab. Wesentliche Komponenten stellen eine auf den fachlichen Bedarf zugeschnittene Programmausgestaltung und die Qualität der Umsetzung dar. Bei modernen Förderprogrammen liegt ein weiterer Fokus auf dem Bereich Monitoring und Evaluation: eine stringente Ergebnis- und Zielorientierung

sind dabei ebenso gefordert wie eine systematische programmbegleitende Wirkungskontrolle. Ein integraler Bestandteil des Evaluationskonzeptes ist daher eine Beschreibung der voraussichtlichen Ergebnisse und Wirkungen in einem Wirkungsmodell. Ein solches Wirkungsmodell umfasst fünf Arbeits- und Wirkebenen: *Input*, die damit verbundenen geplanten Aktivitäten, *Output*, *Outcome* und *Impact* einer Intervention. Klare Aussagen im Rahmen einer Wirkungskontrolle sind nur möglich, wenn diese Arbeits- und Wirkebenen klar voneinander getrennt werden. Die hier zu Grunde liegende Definition der jeweiligen Ebenen ist aus Abbildung 6 ersichtlich.

Im Wirkungsmodell wird als *Output* das unmittelbare Ergebnis der Aktivitäten verstanden. Das *Outcome* beschreibt die mittelbaren Wirkungen und Effekte auf die Zielgruppe selbst. Hier ist von einem mittelfristigen Charakter auszugehen. Bei den *Impacts* handelt es sich um das langfristige und breite Wirkungsspektrum der bewerteten Maßnahme. Diese Wirkungen strahlen auch über die Zielgruppe hinaus und können auch Auswirkungen auf eine gesamte Branche oder die Gesellschaft beinhalten.

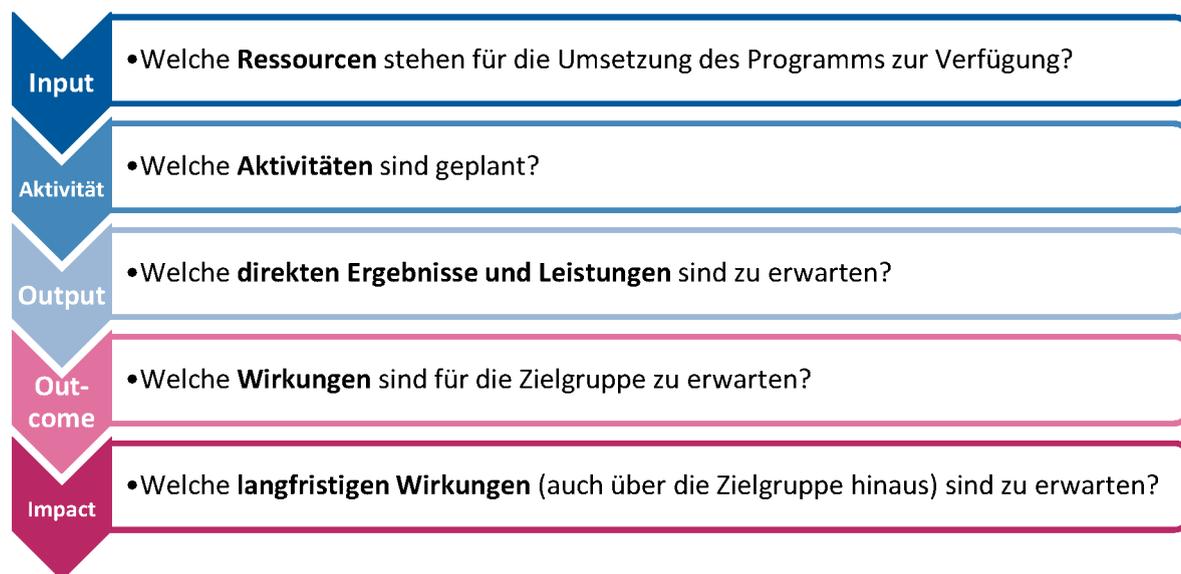


Abbildung 6: Definition der fünf Arbeits- und Wirkebenen für das Wirkungsmodell.

Ziel der Wirkungsanalyse ist es, im Rahmen eines logischen Modells die Wirkungsziele eines Programms zu beschreiben und in Beziehung zu den eingesetzten Ressourcen und den erbrachten Leistungen zu setzen. Auf dieser Grundlage ist zum einen eine konsistentere Programmerstellung und Schärfung der Programmvision vor dem Start möglich. Zum anderen erlaubt die kontinuierliche Überprüfung der Wirkungsannahmen während der laufenden Maßnahme eine gezielte Steuerung und Weiterentwicklung des Programms.

In Rücksprache mit dem BMWi wurden die folgenden vier Themenbereiche für eine weitergehende Wirkungsanalyse ausgewählt: „Technologieentwicklung“, „Demonstrationsvorhaben“, „Standardisierung“ und „Vernetzung“. Für diese vier Themenbereiche wurden jeweils die relevanten Wirkungsketten in einem Wirkungsmodell erarbeitet.

## 6.1. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „TECHNOLOGIEENTWICKLUNG“

Der vorgeschlagene Themenbereich „Technologieentwicklung“ umfasst drei thematische Stränge mit besonders hoher Relevanz für den Leichtbau („Digitalisierung und Automatisierung“, „Nachhaltigkeit und Recycling“ und „Innovative Konstruktionsprinzipien“). Abbildung 7 zeigt das entwickelte Wirkungsmodell für den Themenbereich „Technologieentwicklung“.

Mit dem dargestellten Wirkungsmodell werden Wirkmechanismen und die kausalen Zusammenhänge zwischen den geplanten Ressourcen, durchzuführenden Maßnahmen, erwarteten Ergebnissen und deren Wirkung auf die angestrebten Ziele beschrieben. Im Falle der Förderung im Bereich „Technologieentwicklung“ werden durch die drei definierten Förderthemen vier der fünf handlungsleitenden Ziele unmittelbar adressiert. Mit der Förderung des Themas „Digitalisierung und Automatisierung“ sind im Erfolgsfall einerseits die Schaffung durchgängig digitalisierter und verknüpfter Wertschöpfungsnetze und andererseits eine breitere industrielle Anwendung des Leichtbaus verbunden. Von der Umsetzung des Förderthemas „Nachhaltigkeit und Recycling“ kann ein signifikanter Beitrag zur Erreichung der Klima- und Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung erwartet werden. Die Förderung „Innovativer Konstruktionsprinzipien“ soll insbesondere Innovations- und Wertschöpfungspotenziale heben und trägt durch die anvisierte Ressourceneffizienz und -substitution sowie die neuen Konstruktionstechniken und Werkstoffe zu Klima- und Umweltschutz bei. Hiermit ist auch die Erwartung verbunden, die enormen Potenziale des Leichtbaus für Branchen mit derzeit geringem Leichtbau-Anteil nutzen zu können.

Der Themenbereich „Technologieentwicklung“ ist damit für die Erreichung aller in Kapitel 4 definierten politischen Ziele unmittelbar relevant. Die neuen Technologien stellen die Grundlage für den Ausbau von Schlüsselkompetenzen dar und stärken die technologische Souveränität und Kapazität auf industrieller Ebene. Sie unterstützen die Erschließung neuer Zukunftsmärkte. Der zu erwartende Wettbewerbsvorteil für den deutschen Leichtbau-Sektor resultiert in der Sicherung von Unternehmen und Arbeitsplätzen und damit in der Stärkung des Industriestandorts Deutschland.



Abbildung 7: Wirkungsmodell für den Themenbereich „Technologieentwicklung“.

## 6.2. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „DEMONSTRATIONSVORHABEN“

Neue Leichtbau-Verfahren und -Technologien fokussierter und schneller in die Anwendung zu bringen ist das Ziel dieses Themenbereichs. Es geht um die Förderung hoher TRL: während vielversprechende Technologien im Rahmen von Demonstrationsvorhaben im industrieorientierten Umfeld getestet werden sollen (TRL 6-7), steht bei der Umsetzung von Pilotanlagen der reale Einsatz eines System-Prototyps im Fokus (TRL 7-8). Risiken bei der Skalierung sollen reduziert und der Markteintritt so erleichtert werden. Abbildung 8 zeigt das entwickelte Wirkungsmodell für den Themenbereich „Demonstrationsvorhaben“.

Bei einer Einordnung der erwarteten Wirkungen in das beschriebene Zielsystem (Kapitel 4) zeigt sich die hohe Relevanz für das Technologietransfer-Programm Leichtbau. Die Förderung von Demonstrationsvorhaben adressiert mindestens zwei der fünf handlungsleitenden Ziele unmittelbar: „Leichtbau in die breite Anwendung bringen“ und „Innovations- und Wertschöpfungspotenziale des Leichtbaus heben“. Abhängig vom thematischen Fokus und Umfang der Projekte ist ggf. auch ein maßgeblicher Beitrag zum Klimaschutz und zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele zu erwarten.

Mindestens drei der vier definierten politischen Ziele werden auf diese Weise direkt adressiert. Erfolgreiche Demonstrationsvorhaben und insbesondere Pilotanlagen verschaffen den geförderten Unternehmen einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil. Die beschleunigte Markteinführung der neuen Leichtbau-Technologien und -Verfahren trägt direkt zur Zukunftssicherung der beteiligten Unternehmen und der dortigen Arbeitsplätze bei. Bestehende Schlüsselkompetenzen werden erhalten und weiter ausgebaut. Die Innovationskraft erhöht sich entsprechend durch die Übertragung der neuen Verfahren auf andere Unternehmen und Branchen. Der technologische Vorsprung wird dadurch ausgebaut und der Industriestandort Deutschland gesichert und gestärkt. Beinhaltet der thematische Fokus der geförderten Projekte auch den Bereich Nachhaltigkeit und Recycling, werden alle politischen Ziele abgedeckt.



Abbildung 8: Wirkungsmodell für den Themenbereich „Demonstrationsvorhaben“.

### 6.3. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „STANDARDISIERUNG“

Die Analysen zu Entwicklungsstand und Trends (Kapitel 3) zeigen einen erheblichen Bedarf an Maßnahmen zur konsequenten Qualitätssicherung und -verbesserung. Die frühzeitige Einbindung von Standardisierungs- und Normungsaktivitäten in Innovationsvorhaben birgt Chancen für die im Leichtbau tätigen Unternehmen. Im Zuge der Entwicklung neuer Leichtbau-Materialien, -Verfahren und -Technologien stellen z. B. fehlende Materialkennwerte, Prüfmethode und Standards gravierende Hemmnisse für deren branchenübergreifenden Einsatz dar. Auch die Realisierung durchgängig digitalisierter und verknüpfter Wertschöpfungsprozesse stellt eine Herausforderung dar.

fungsnetze erfordert einheitliche Austauschformate und Schnittstellen. Aus Abbildung 9 ist das entwickelte Wirkungsmodell für den Themenbereich „Standardisierung“ ersichtlich.



Abbildung 9: Wirkungsmodell für den Themenbereich „Standardisierung“.

Die anvisierten Förderansätze im Themenbereich „Standardisierung“ wirken direkt auf zwei der fünf handlungsleitenden Ziele. Die Ergebnisse der vorgeschlagenen Standardisierungs- und Normierungsaktivitäten sorgen insbesondere für eine verbesserte Daten- und Methodenbasis, für die Einführung von Branchenstandards und für eine Flexibilisierung von Verfah-

ren. Das kann den Technologietransfer beschleunigen und hilft nicht nur, Innovations- und Wertschöpfungspotenziale des Leichtbaus zu heben, sondern auch den Leichtbau in die breitere industrielle Anwendung zu bringen. Dass durch die Einführung verbesserter Standards und Normen sowie einheitlicher Prüfverfahren unmittelbar auch die anderen Themenbereiche beeinflusst werden können, steigert die Relevanz des Themenbereichs zusätzlich. Die Digitalisierung im Leichtbau-Sektor gewinnt beispielsweise durch flankierende, gut abgestimmte Maßnahmen zur Standardisierung an Schlagkraft und Bedeutung.

Der Themenbereich „Standardisierung“ trägt zur Erreichung der ersten beiden in Kapitel 4 definierten politischen Ziele bei. Eine hohe Qualität zeichnet die Produkte und Verfahren deutscher Unternehmen aus und sorgt für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit und die Sicherung des Industriestandorts Deutschland. Es gilt zudem, sich im Sinne der deutschen Leichtbau-Akteure den größtmöglichen Einfluss auf die Festlegung von internationalen Standardisierungs- und Zulassungsverfahren zu sichern.

#### **6.4. WIRKUNGSMODELL FÜR DEN BEREICH „VERNETZUNG“**

In der nationalen Förderung finden branchenübergreifende Ansätze im Leichtbau bisher kaum Berücksichtigung (siehe Kapitel 3). Der Know-how-Transfer zwischen Anwenderbranchen findet derzeit nur unzureichend statt, ist aber essenziell um (noch) spezifische innovative Leichtbau-Verfahren und -Technologien branchenübergreifend in die Anwendung zu bringen. Ein grundlegender Bedarf an dieser Form der übergreifenden Vernetzung wurde auch explizit im Rahmen der Experteninterviews geäußert. Von einem vereinfachten Transfer erhofft man sich die Erschließung innovativer Technologien für die eigene Branche und signifikante Effizienzsteigerungen. Aus Abbildung 10 ist das entwickelte Wirkungsmodell für den Themenbereich „Vernetzung“ ersichtlich.

Der Themenbereich „Vernetzung“ adressiert als einziger systematisch und in direkter Weise das handlungsleitende Ziel „Branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfer fördern“. Die im logischen Modell aufgezeigten Wirkungsziele sind deckungsgleich mit dem entwickelten Zielsystem und weisen somit die größtmögliche Relevanz auf. Langfristig gesehen unterstützen erfolgreiche branchenübergreifende Netzwerke auch weitere handlungsleitende Ziele, z. B. die breitere industrielle Anwendung des Leichtbaus sowie die Nutzung neuer Innovations- und Wertschöpfungspotenziale.

Der vorliegende Themenbereich ist damit für die Erreichung der ersten drei der in Kapitel 4 definierten politischen Ziele relevant. Die entscheidenden Kernelemente sind hier erstens die Effizienzsteigerung durch einen verbesserten Wissens- und Technologietransfer, zweitens die darauf aufbauende Übertragung erfolgreicher Konzepte in andere Branchen und drittens der Ausbau technologischer Schlüsselkompetenzen. Damit stärkt die branchenübergreifende Vernetzung erfolgreiche und innovative Leichtbau-Technologien, erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und trägt so zur Sicherung und Stärkung des Industriestandortes bei.



Abbildung 10: Wirkungsmodell für den Themenbereich „Vernetzung“.

## Zwischenfazit

Die vorliegenden Wirkungsmodelle beschreiben die intendierte Wirkung für die vier Themenbereiche. Sie erlauben eine Bewertung im Hinblick auf die vorhandenen Ressourcen und das definierte Zielsystem. Zusammenfassend zeigen die entwickelten Wirkungsmodelle die Relevanz für alle vier Themenbereiche und stellen die Bedeutung eines breit angelegten Technologietransfer-Programms heraus. Während der Bereich „Technologieentwicklung“ durch seinen breiten fachlichen Fokus einen Bezug zu fast allen politischen und handlungsleitenden Zielen herstellt, sind die Wirkungen der drei anderen Schwerpunkte deutlich fokussierter und ergänzen die Technologieentwicklung wirksam. Auch im Rahmen der durchgeführten Experteninterviews wurde auf die Relevanz der ausgewählten vier Themenbereiche für die zukünftige Leichtbau-Förderung hingewiesen.

Die beiden Themenbereiche „Standardisierung“ und „Vernetzung“ stellen Querschnittsthemen mit Bedeutung für alle fachlichen Leichtbau-Maßnahmen dar. Das Thema „Vernetzung“ hat dabei ein Alleinstellungsmerkmal: nur hierüber wird systematisch und umfassend das handlungsleitende Ziel zum branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfer adressiert.

Vor dem Hintergrund der derzeit eingeplanten finanziellen Ressourcen für das Technologietransfer-Programm Leichtbau (ca. 4,25 Mio. € p.a.) ist eine derart breit angelegte Förderung allerdings nicht gleichzeitig zu realisieren. Für eine weitere Priorisierung der vier Themenbereiche müssen daher weitere Faktoren in die Bewertung einbezogen werden. Die Betrachtung folgender Aspekte erscheint hierfür interessant:

Die **Umsetzbarkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen** ist stark abhängig vom Themenbereich und von der finanziellen Ausstattung des Technologietransfer-Programms. Die Förderthemen „Technologieentwicklung“, „Standardisierung“ und „Vernetzung“ können kurz- bis mittelfristig in die Umsetzung gebracht werden. Dagegen ist insbesondere die Förderung von Pilotanlagen mit hohen (Investitions-) Kosten und dadurch mit einer eher mittel- bis langfristigen Umsetzbarkeit verbunden. Trotz der zu erbringenden Eigenmittel der geförderten Unternehmen ist mit Kosten im Bereich von typischerweise 5-10 Mio. EUR für größere Pilotanlagen zu rechnen. Eine Finanzierung aus dem Technologietransfer-Programm Leichtbau erscheint bei der derzeitigen finanziellen Ausstattung daher nicht realistisch. Ein entsprechender Förderauftrag könnte zunächst auf die Durchführung von kleineren Demonstrationsvorhaben beschränkt werden. Im Falle einer entsprechenden Aufstockung der Mittel könnte man im Rahmen einer späteren Programmphase die Förderung großer Pilotanlagen anvisieren.

Betrachtet man die **zeitliche Wirksamkeit** von Fördermaßnahmen in den Themenbereichen unterscheiden sich die Zeithorizonte, in denen Ergebnisse erwartet werden können, deutlich voneinander. Für die Bereiche „Technologieentwicklung“ und „Demonstrationsvorhaben“ kann von einer kurz- bis mittelfristigen Perspektive ausgegangen werden. Aktivitäten im Themenbereich „Standardisierung“ bedürfen zum Teil intensiver Prozesse zur Datengenerierung, zum Abgleich von Methoden und zur Abstimmung von allgemeingültigen Standards. Umfassende Ergebnisse mit Ausstrahleffekt auf die Leichtbau-Branche sind hier eher mittelfristig zu erwarten. Der Zeithorizont für den Technologietransfer im Themenbereich „Vernetzung“ ist mittel- bis langfristig anzusetzen. Während die Durchführung von entsprechenden Transferworkshops und die darauf aufbauende Gründung sinnvoller und effizienter Netzwer-

ke über die Branchengrenzen hinaus kurz- bis mittelfristig realisierbar ist, kann mit Übertragung von Lösungsansätzen von Branche zu Branche erst mittel- bis langfristig gerechnet werden.

Der **Adressatenkreis** ist für die einzelnen Themenbereiche unterschiedlich. Er richtet sich nach dem gesetzten Fokus und der Anwendungsnähe. Während der Themenbereich „Demonstrationsvorhaben“ schwerpunktmäßig Unternehmen adressieren wird, sollten für den Themenbereich „Technologieentwicklung“ auch Forschungseinrichtungen und Hochschulen eingebunden werden können. Die Themen „Standardisierung“ und „Vernetzung“ erfordern ggf. zusätzlich die Einbindung von Verbänden, Interessensgruppen und Multiplikatoren.

Die Tabelle 2 zeigt abschließend eine Zusammenfassung der möglichen Kriterien, welche zur Priorisierung der vier Themenbereiche herangezogen werden können.

Tabelle 2: Zusammenfassung möglicher Kriterien zur Priorisierung der vier Themenbereiche

Bereich	Relevanz	Umsetzbarkeit	Zeitliche Wirksamkeit	Adressatenkreis
Technologieentwicklung	Hoch	Direkt	Kurz- bis mittelfristig	Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen
Demonstrationsvorhaben	Sehr hoch	(Direkt)	Kurz- bis mittelfristig	Unternehmen, (Forschungseinrichtungen)
Standardisierung	Hoch	Direkt	Mittelfristig	Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen, Verbände
Vernetzung	Hoch	Direkt	Mittel- bis langfristig	Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen, Verbände, Multiplikatoren

Betrachtet man die vier Themenbereiche zusätzlich vor dem Hintergrund klima- und nachhaltigkeitspolitischer Aspekte, treten die beiden Bereiche „Technologieentwicklung“ und „Demonstrationsvorhaben“ in den Vordergrund. Abhängig vom thematischen Fokus der geförderten Projekte stellen Ressourceneffizienz und Emissionsminderung zentrale Projektziele dar, so dass ein substanzieller Beitrag zum Klimaschutz möglich ist.

Eine positive Wechselwirkung zwischen den Themenbereichen kann durch geeignete Management-Maßnahmen erzielt werden und zu erheblichen Effizienzsteigerungen des Technologietransfer-Programms führen. Deutliche Synergien sind beispielsweise zwischen den Bereichen „Technologieentwicklung“ und „Demonstrationsvorhaben“, „Technologieentwicklung“ und „Vernetzung“ sowie „Technologieentwicklung“ (Digitalisierung) und „Standardisierung“ zu erkennen. Eine gute Balance zwischen Technologieentwicklung und Demonstrationsvorhaben einerseits und den beiden Querschnittsthemen andererseits ist anzuraten.

## 7. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR AUSGESTALTUNG DES FÖRDERPROGRAMMS

### 7.1. PROGRAMMSTRUKTUR UND OPTIONEN ZUR WEITERENTWICKLUNG

Die beschriebenen Themenbereiche zur Förderung sind Empfehlungen auf Basis der Ergebnisse unserer Analysen. Restriktionen ergeben sich durch die finanzielle Ausstattung des geplanten Programms, den verfügbaren Zeitrahmen für den Start der Förderung und durch den beihilferechtlichen Rahmen der EU.

Das Technologietransfer-Programm ist zunächst für zehn Jahre angelegt. Die Hauptzielgruppe stellen aufgrund der Anwendungsstufe der Projekte Unternehmen dar, welche Forschungseinrichtungen und Hochschulen als Partner einbinden können. Um die Marktfähigkeit der Leichtbau-Werkstoffe zu erhöhen, soll insbesondere die Förderung hoher TRL (Level 5-8) realisiert werden. Im Bundeshaushalt sind beim BMWi unter dem Titel 68315 bis 2023 ca. 13 Mio. € (ca. 4,25 Mio. € p.a.) vorgesehen. Die derzeit vorgesehene Mittelausstattung für das Technologietransfer-Programm reicht nicht aus, um die beschriebenen Förderansätze umfassend und gleichzeitig zu adressieren. Daher sollten die Förderansätze wie beschrieben priorisiert und ggf. zeitlich gestaffelt werden, um eine massive Überzeichnung des Programms zu vermeiden. Andernfalls würde erheblicher Zusatzaufwand bei Antragstellern, Projektträger und BMWi entstehen und die Vielzahl abzulehnender Anträge aufgrund begrenzter Haushaltsmittel würde ein hohes Frustrationspotenzial für die Antragsteller bedeuten. Unabhängig davon sollte seitens BMWi geprüft werden, ob zusätzliche Mittel für das Technologietransfer-Programm bereitgestellt werden können, um die Programmziele zügiger und umfassender zu erreichen.

Die Umsetzung des Technologietransfer-Programms könnte stufenweise erfolgen, indem mit einer ersten Förderbekanntmachung der Rahmen und die Ziele des Programms aufgespannt (Zeithorizont 10 Jahre) und erste priorisierte Themen zur Förderung ausgeschrieben werden. Weitere Fortschreibungen und Ergänzungen könnten dann im Programmverlauf durch weitere Förderaufrufe oder Änderungsbekanntmachungen erfolgen. Das bietet den Vorteil, neue Erkenntnisse und Themen kontinuierlich aufgreifen zu können (z. B. aus dem laufenden Strategieprozess des BMWi), wechselnde Schwerpunkte des Programms setzen zu können, bei Bedarf nachzusteuern (z. B. im Ergebnis begleitenden Monitorings/Evaluationen) oder das Programm zu erweitern (z. B. bei zusätzlich verfügbaren Fördermitteln).

Ein stufenweise angelegtes Programm erfordert die Priorisierung der Themenbereiche. Die dafür in Frage kommenden Aspekte sind in Kapitel 6 erläutert und betreffen die Beiträge zur Zielerreichung des Technologietransfer-Programms (Relevanz), die Dringlichkeit der Förderthemen, die Umsetzbarkeit, die zeitliche Wirksamkeit und den Adressatenkreis. Es sollte auch berücksichtigt werden, dass begleitende Aktivitäten im Rahmen der Leichtbau-Initiative des BMWi und der geplanten Leichtbau-Strategie einige Themen aufgreifen können, die neben dem Technologietransfer-Programm weiterverfolgt werden. Dies kommt z. B. für Maßnahmen zur Internationalisierung oder Qualifizierung in Frage. Eine vorläufige Zurückstellung dieser Themenbereiche für das Technologietransfer-Programm erscheint daher grundsätzlich möglich.

In Abwägung der genannten Aspekte empfehlen wir unter den aktuellen finanziellen Rahmenbedingungen, in einem ersten Förderaufruf folgende Themenbereiche zu adressieren:

- > Technologieentwicklung (hohe Relevanz, direkte Umsetzbarkeit, kurz- bis mittelfristige zeitliche Wirksamkeit, Adressatenkreis insbesondere Unternehmen und Forschungseinrichtungen/Hochschulen, klaren thematischen Fokus oder Ziel-TRL vorgeben um massive Überzeichnung zu vermeiden)
- > Vernetzung (liegt im Kern des Technologietransfer-Programms, von Experten mehrfach empfohlen, Ergebnissen wird hohe Bedeutung zugemessen, Vernetzung kurzfristig anstoßen, alle relevanten Akteure einbinden, zeitliche Wirksamkeit der Effekte ist aber eher mittel- bis langfristig)
- > Standardisierung (braucht zeitlichen Vorlauf für erwartete Effekte, von grundlegender Bedeutung für ganze Branchen und Anwendungsbereiche, konkrete Aktivitäten können zügig angestoßen werden, breite Akteurseinbindung).

Die vorgenommene Wirkungsanalyse (Kapitel 6) basiert auf dem aktuellen Entwicklungsstand und den aktuellen Trends im Leichtbau. Sie markiert den Startpunkt für das Technologietransfer-Programm. Wesentlich für den Erfolg des Programms wird zukünftig eine kontinuierliche Begleitung und Weiterentwicklung sein. Neben einer stringenten Ergebnis- und Zielkontrolle ist es ebenso notwendig, neue Trends zu identifizieren (ggf. durch begleitende Studien oder Förderung thematisch offener Initiativ-Projekte im Einzelfall) und mit dem Technologietransfer-Programm zu adressieren, sowie bestehende Engpässe und Hindernisse für den Transfer zu ermitteln. Zukünftige Förderaufrufe können dann entsprechend auf diese Bedarfe und Entwicklungen zugeschnitten werden und schärfen so den Fokus des Technologietransfer-Programms Leichtbau. Die **strategische Programmsteuerung** durch das BMWi kann auf drei Ebenen unterstützt werden. Erstens sollte für die Umsetzung des Technologietransfer-Programms Leichtbau ein Projektträger eingebunden werden, in dessen Leistungsspektrum neben der organisatorischen Unterstützung auch die fachlich-strategische Beratung des BMWi zur Programmsteuerung und -weiterentwicklung enthalten sein könnte. Zweitens erscheint eine durchgängige strategische Begleitung und Beratung durch ein Expertengremium über die Programmlaufzeit hinweg sinnvoll. Hierfür könnten etablierte Gremien der Initiative Leichtbau, z. B. Strategiekreis der Länder und der Beirat, genutzt werden. Drittens und bei Bedarf ergänzend, könnten externe Studien beauftragt werden, um entsprechende Fragestellungen zu vertiefen.

In Ergänzung zu den Förderaktivitäten innerhalb des geplanten Technologietransfer-Programms sollten **Schnittstellen und Synergien zu bestehenden Förderprogrammen** genutzt werden. Insbesondere etablierte technologieoffene Förderprogramme (z. B. ZIM, EXIST, WIPANO) bieten ein großes Potenzial zur Unterstützung von Technologieentwicklungen und Transfer im Leichtbau (Vernetzung und Kooperation, Technologieentwicklung, Forschungstransfer und Gründerstipendien, Patente und Normung). Branchenspezifische Programme mit erheblichem Leichtbauanteil (z. B. LuFo-Programm oder Maritimes Forschungsprogramm des BMWi) bieten darüber hinaus erhebliche Potenziale zur Weiterentwicklung von Leichtbautechnologien für branchenspezifische Anwendungen. Fördermöglichkeiten zur Automatisierung und Digitalisierung (z. B. „Mittelstand-Digital“, „Forum Digitale Technologien“) sind dabei ebenso relevant.

Die genannten Programme sollten nicht dupliziert, sondern flankierend zum geplanten Technologietransfer-Programm mobilisiert werden. Damit wird eine komplementäre Ausrichtung der Programme gewährleistet und ein Multiplikatoreffekt für den Leichtbau durch die zusätzlichen Fördermittel dieser Programme, die in Leichtbauthemen fließen, erreicht. Es wird deshalb empfohlen, Anreize und Schnittstellen zu schaffen und bestehende Programme gezielt in der Leichtbau-Szene zu bewerben, damit Leichtbau-Akteure und -Themen eine noch stärkere Beteiligung in den komplementären Programmen erreichen. Das Technologietransfer-Programm wiederum kann durch die Förderung branchenübergreifender Projekte und Weiterentwicklung bis zu hohen TRL gute Anschlussmöglichkeiten an die genannten Programme bieten, um den branchenübergreifenden Transfer und die Übertragung von Forschungsergebnissen in die industrielle Praxis zu unterstützen.

## 7.2. MANAGEMENT, MONITORING UND KOMMUNIKATION

Für ein effizientes Management des Technologietransfer-Programms ist die Beauftragung eines Projektträgers geplant, der auch Aufgaben zum begleitenden Monitoring (datengestützte Zielerreichungskontrolle auf Basis von Statusberichten der Projekte) und zur Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit übernehmen könnte.

Bei Bedarf könnte ein wissenschaftliches Begleitvorhaben im Rahmen des Technologietransfer-Programms übergreifende Erhebungen, Studien und Analysen durchführen, die die Programmbetreuung durch den PT und die Steuerung durch BMWi unterstützen.

Es wird außerdem empfohlen, eine Kommunikationsstrategie für das Technologietransfer-Programm zu entwickeln, um das neue Förderprogramm bekannt zu machen und eine zielgruppengerechte, wirksame und effiziente Kommunikation nach innen (BMWi) und außen (Förderinteressenten, Leichtbau-Community, Politik, Branchenverbände, Unternehmen, NGOs, weitere Stakeholder) sicherzustellen. Eine enge Verzahnung mit vorhandenen Strukturen (z. B. Geschäftsstelle Leichtbau), Informationskanälen (Webseiten zur Initiative Leichtbau, LEICHTBAUATLAS) und Formaten (z. B. Forum Leichtbau) bietet sich dafür an. Einerseits sollten Informationen für Förderinteressenten klar und leicht verständlich transportiert werden, andererseits sollten Erfolge und Highlights der geförderten Projekte des Technologietransfer-Programms in geeigneter Form für den politischen Raum und für die interessierte (Fach-) Öffentlichkeit bereitgestellt werden.

## 7.3. MÖGLICHE EXTERNE EINFLUSSFAKTOREN

Die im Rahmen der Wirkungsmodelle dargestellten direkten Einflussmöglichkeiten können stark durch externe Faktoren begleitet werden. Letztere können die erfolgreiche Umsetzung des Technologietransfer-Programms entscheidend beeinflussen und sollten daher bei der Programmbegleitung und Weiterentwicklung mitberücksichtigt werden.

Starke **Synergieeffekte** sind aufgrund des Fokus und der Relevanz des Technologietransfer-Programmes, mit weiteren Förderprogrammen des BMWi zu erwarten. Eine optimale Abstimmung mit komplementären Förderprogrammen des BMWi unterstreicht die bestehenden Alleinstellungsmerkmale des Technologietransfer-Programms und schafft zusätzliche Anreize für die Leichtbau-Akteure. Auf diese Weise kann eine größere Hebelwirkung der BMWi-Fördermittel erzielt werden. Auch die Initiativen und Programme anderer Ressorts sollten bei der Weiterentwicklung des Technologietransfer-Programms berücksichtigt werden. Interes-

sante BMBF-Förderbekanntmachungen mit direktem Leichtbau-Bezug fördern insbesondere Werkstoffinnovationen und die Entwicklung neuer Produktionstechniken mit niedrigerem technologischen Reifegrad (z. B. Forschungscampi ARENA 2036 und Open Hybrid LabFactory, ProMat\_3D, MaterialDigital, HyMat2). Sie können Ansatzpunkte für die zukünftigen Förderthemen des Technologietransfer-Programms Leichtbau liefern. Das langjährig etablierte Umweltinnovationsprogramm UIP des BMU fördert Investitionen zur ersten großtechnischen Umsetzung von umweltentlastenden Technologien durch Zuschüsse bzw. zinsvergünstigte Kredite. In diesem Rahmen könnten grundsätzlich auch Demonstrationsvorhaben im Bereich Leichtbau förderfähig sein, wenn der erwartete Beitrag zur Umweltentlastung klar ausgewiesen werden kann (z. B. durch Einsparung von Energie und Ressourcen gegenüber dem Stand der Technik). Damit könnten über das Technologietransfer-Programm hinaus weitere Show Cases für den Leichtbau in Deutschland generiert werden.

Aufgrund der gezielten **Innovationsförderung** der Bundesregierung (z. B. Agentur für Sprunginnovationen, Strategie Künstliche Intelligenz) sind in den kommenden Jahren Sprunginnovationen mit Einfluss auf Leichtbau-Produkte und -Verfahren zu erwarten. Insbesondere in den Bereichen Digitalisierung und Künstliche Intelligenz werden entscheidende Entwicklungssprünge mit breitem Ausstrahleffekt erwartet. Es gilt, diese Innovationen zeitnah und effizient in den bestehenden Rahmen des Technologietransfer-Programms einzubinden und den maximal möglichen Nutzen daraus zu generieren.

Der Bundestag plant die Einführung einer **steuerlichen Förderung von Forschung und Entwicklung**. Ein entsprechender Gesetzentwurf (Forschungszulagengesetz – FZulG, 19/10940) liegt vor und das Gesetz soll zum 1. Januar 2020 in Kraft treten. Die steuerliche Forschungsförderung soll mit rund 1,5 Milliarden Euro pro Jahr als Ergänzung zur Projektförderung dienen. Mögliche Auswirkungen können zum derzeitigen Stand noch nicht abgeschätzt werden.

Mit dem Technologietransfer-Programm ist durch die Vorgabe zur Förderung hoher TRL eine starke Marktnähe verbunden. Dies setzt eine ausreichende Innovationsbeteiligung der Unternehmen voraus. Die zukünftige **Konjunkturentwicklung** wird daher starken Einfluss auf die Entwicklung haben. Besteht eine unsichere Wirtschaftslage sinkt in der Regel die Investitionsbereitschaft von (Groß-) Unternehmen und es ist eine steigende Nachfrage nach öffentlicher FE-Förderung zu erwarten. Eine veränderte Zusammensetzung von Verbundprojekten kann die Folge sein.

Auf europäischer bzw. internationaler Ebene sind mehrere externe Einflussfaktoren denkbar. Die finale Ausgestaltung des EU-Forschungsrahmenprogramms „Horizon Europe“ hat ggf. direkten Effekt auf die Planung und Umsetzung nationaler Förderprogramme. Ebenso stellen veränderte oder neue Vorgaben der EU zur Einführung von Produkten und Normen die Unternehmen vor Herausforderungen. Eine gute Kenntnis der Leichtbau-Förderprogramme anderer Länder liefert einen Überblick über das internationale Wettbewerbsumfeld. Das bietet die Möglichkeit, im Rahmen des Technologietransfer-Programms schnell auf neue Trends und Bedarfe zu reagieren und, wo notwendig, internationale Kooperationen einzugehen.

## 8. MÖGLICHE INDIKATORENSETS

Die in Kapitel 6 entwickelten Wirkungsmodelle bilden die Interventionslogik des geplanten Technologietransfer-Programms Leichtbau ab und ermöglichen eine Bewertung der voraussichtlichen Wirkungen des Programms auf die angestrebten Ziele. Eine effektive Programmsteuerung und regelmäßige Evaluation des Programms erfordern darauf aufbauend die Definition von geeigneten Messkriterien – sogenannten Indikatoren. Indikatoren sind die Basis für eine transparente und möglichst objektive Bewertung der verschiedenen Dimensionen der entwickelten Wirkungsmodelle. Sie dienen in der Planungsphase der Beschreibung des Programmfortschritts und der Programmleistung. In der Umsetzungsphase erlauben sie die kontinuierliche Fortschrittskontrolle, Steuerung und Weiterentwicklung des Programms. Nach Abschluss eines Programms ist auf ihrer Basis eine Analyse und Erfolgskontrolle des Programms möglich. Damit stellen Indikatoren das entscheidende Hilfsmittel für Monitoring und Evaluation eines Programms dar. Grundlage bei der Indikatoren-Entwicklung sind die SMART-Kriterien, nach denen Ziele möglichst spezifisch, messbar, akzeptiert, realistisch und terminierbar sein sollen.

In Absprache mit dem BMWi erfolgt die Entwicklung von möglichen Indikatoren zunächst nur für den Themenbereich, welcher im Fokus des ersten Förderaufrufs stehen soll. Die im Folgenden dargestellten Indikatoren betreffen daher den Themenbereich „Technologieentwicklung“. Es handelt sich um Vorschläge, aus denen vor dem Start des Technologietransfer-Programms ein geeignetes Indikatoren-Set für die Programmsteuerung ausgewählt werden sollte.

Man unterscheidet entsprechend der Stufe der Wirkungskette drei Typen von Indikatoren: Inputindikatoren, Outputindikatoren und Ergebnisindikatoren. Für jede Stufe ist im Folgenden ein initiales Set von Indikatoren vorgeschlagen, um die Maßnahmen quantitativ messbar oder zumindest qualitativ vergleichbar zu machen.

### Inputindikatoren

Inputindikatoren messen die verwendeten Ressourcen und geben so Aufschluss darüber, was tatsächlich in ein Projekt investiert wurde. Für das Technologietransfer-Programm Leichtbau können folgende Indikatoren zur Bewertung des Ressourceneinsatzes herangezogen werden:

- > Anzahl der involvierten Mitarbeiter (BMW, Projektträger, Berater/Experten)
- > Summe der eingesetzten Arbeitszeit (BMW, Projektträger)
- > Eingesetzte finanzielle Ressourcen des BMW für:
  - o Fördermaßnahmen des Technologietransfer-Programms Leichtbau
  - o Projektträgerleistungen
  - o Qualitätssicherung
  - o Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit

Um den aktuellen Status des Technologietransfer-Programms zu ermitteln, ist die regelmäßige Erfassung und Überprüfung der vorgeschlagenen Inputindikatoren durch BMWi und Projektträger sinnvoll.

### **Outputindikatoren**

Die Effizienz des Programms kann durch Outputindikatoren überprüft werden. Sie messen, was mit den verwendeten Ressourcen produziert bzw. erreicht wird. Für diese Stufe der Wirkungskette sind folgende Indikatoren geeignet, um den Projekterfolg quantitativ messbar oder zumindest qualitativ vergleichbar zu beschreiben:

#### Anzahl und Struktur der geförderten Projekte

- > *Anzahl der geförderten Projekte (Einzel- und Verbundprojekte)*
- > *Durchschnittliche Verbundgröße (Anzahl der Partner und Fördermittel pro Verbundprojekt)*
- > *Anzahl der geförderten Unternehmen und Verteilung nach Typ (Großunternehmen, KMU, Startups) und Branchen*
- > *Durchschnittliche Förderquote im Förderaufruf (Relation von Zuwendungssumme zu Gesamtsumme des Vorhabens)*
- > *Mobilisierte finanzielle Ressourcen der beteiligten Unternehmen (Eigenmittel der Verbundpartner, Investitionen und Anschlussaktivitäten)*

#### Messbare Outputs im Themenbereich „Technologieentwicklung“

- > *Durchschnittlich erzielter technologischer Reifegrad (TRL) im jeweiligen Förderthema*
- > Verteilung der Förderthemen Digitalisierung/ Automatisierung, Nachhaltigkeit/ Recycling und Innovative Konstruktionsprinzipien in den geförderten Projekten
- > *Anzahl verbesserter Recycling-Verfahren bzw. erhöhtes Recyclingpotenzial (Anteil in Prozent) für definierte Produkt- oder Materialgruppen*
- > *Anzahl der neuen oder verbesserten digitalen Methoden und Werkzeuge für den Leichtbau*
- > *Anzahl neuer Leichtbau-Konstruktionstechniken und -Werkstoffe*
- > Anzahl standardisierter Austauschformate und Schnittstellen in den Prozessstufen
- > *Anzahl an Produkten und Verfahren mit Potenzial zur Patentierung*

Um eine begleitende Fortschrittskontrolle so gezielt und effizient wie möglich zu gestalten, ist die Auswahl geeigneter Indikatoren – sogenannter Leitindikatoren – notwendig. Diese sollten die Breite der angestrebten Outputs abdecken und sich gleichzeitig auf die zur Programmsteuerung notwendigen Informationen beschränken. Dabei bedarf es Kapazitäten und Ressourcen, um die notwendigen Daten zu ermitteln und auszuwerten. Diese sollten in einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen, so dass die projektspezifischen Daten möglichst unmittelbar im Rahmen der regelmäßigen Berichterstattung von den geförderten Projektpartnern erhoben werden können. Der Projektträger bzw. ein entsprechendes Begleitvorhaben kann die gesammelten Daten dann für die gesamte Fördermaßnahme ag-

gregieren, auswerten und für die Programmsteuerung für BMWi aufbereiten. Geeignete Leitindikatoren für den Themenbereich „Technologieentwicklung“ sind in der Auflistung oben kursiv und farbig dargestellt.

### **Ergebnisindikatoren**

Mit Hilfe von Ergebnisindikatoren kann die Effektivität des Förderprogramms bewertet werden. Sie messen die Resultate, die mit den Outputs erzielt werden und geben so Aufschluss über den Stand der erreichten Wirkungen. Hier unterscheidet man zwei Ebenen. Die erste beschreibt Indikatoren für die mittelbaren Wirkungen für die Zielgruppe. Folgende Indikatoren sind auf dieser Stufe zur Bewertung des Projekterfolgs geeignet:

- > Anzahl der durch die Förderung umgesetzten Erfolgsbeispiele in Unternehmen
- > *Eingesparte Ressourcen durch Digitalisierung, neue Recyclingverfahren und Funktionsintegration (Personal, Material, Energie, Zeit)*
- > Anzahl von Unternehmen, die LCA in ihre Produktentwicklung integrierten
- > *Anzahl bzw. Anteil der geförderten Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die als Resultat der Förderung neue Leichtbau-Produkte, -Technologien und -Verfahren implementiert haben*
- > Anteil der simulationsgestützten Entwicklung im Unternehmen
- > Anteil geförderter Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die für ihre Leichtbau-Aktivitäten systematisch standardisierte Formate und Verfahren einsetzen
- > *Anteil der durch die Förderung digitalisierten/ automatisierten Prozessschritte in der Produktentwicklung und -fertigung*
- > Anteil der Leichtbau-spezifischen F&I-Ausgaben der geförderten Unternehmen
- > Anzahl neu identifizierter Anwendungsbereiche für den Leichtbau
- > *Anzahl der als Resultat der Förderung angemeldeten Patente*

Auf der zweiten Ebene werden Indikatoren vorgeschlagen, die für die Messung langfristiger Wirkungen mit Effekten über die Zielgruppe hinaus (z. B. gesamte Branche, Gesellschaft) geeignet sind. Folgende Indikatoren bieten sich an:

- > *Anteil des Leichtbaus in den Zielbranchen (bezogen auf Gesamtumsatz/ Wertschöpfung)*
- > Grad des Methoden- und Technologietransfers in weitere Unternehmensbereiche und Branchen
- > *Anteil der erfolgreich in den Markt eingeführten Produkte/ Verfahren*
- > *Wiederverwendungs- und Recyclingquote für (neue) Leichtbau-Materialien und -Produkte*
- > *Verringerung des Rohstoff- und Energiebedarfs sowie Treibhausgasemissionen durch Leichtbau über den Lebensweg*
- > Aufgrund der geförderten Projekte geschaffene oder gesicherte, Leichtbau-spezifische Arbeitsplätze
- > *Marktanteil deutscher Unternehmen im internationalen Wettbewerb*

Auch für die Ebene der Ergebnisindikatoren sollten geeignete Leitindikatoren ausgewählt werden. Die entsprechenden Vorschläge dazu sind in der Auflistung oben kursiv und farbig dargestellt. Bei den Ergebnisindikatoren ist zu berücksichtigen, dass diese meist erst mit einigem zeitlichen Abstand nach Abschluss der Förderprojekte erhoben werden können bzw. durch abgefragte Erwartungen der geförderten Projektpartner ergänzt werden müssen. Hierfür bieten sich zeitlich gestaffelte Erhebungen zum Projektende (mit dem Schlussbericht), ein Jahr nach dem Projektende (kurzfristig umgesetzte Ergebnisse) und 2-3 Jahre nach Projektende (mittelfristig umgesetzte Ergebnisse) an.

### **Zwischenfazit**

Die festgelegten Indikatoren dienen als Meilensteine für die Programmsteuerung. Für die drei Indikatorentypen werden möglichst gut und einfach messbare sowie aussagekräftige Leitindikatoren empfohlen. Zwecks Erfolgskontrolle ist es sinnvoll, alle vorgeschlagenen Inputindikatoren zu verwenden. Die vorgeschlagenen Leitindikatoren für das Output des Programms umfassen neben Anzahl und Struktur der geförderten Projekte den Entwicklungsgrad von Produkten und Verfahren, die Anzahl verbesserter Produkte, Methoden und Verfahren und deren Potenzial zur Patentierung. Um die Wirkung auf die Zielgruppe erfassbar zu machen, sind besonders die Ergebnisindikatoren als Leitindikatoren geeignet, welche den Implementierungsgrad von Produkten, Methoden und Verfahren beschreiben, eingesparte Ressourcen erfassen und angemeldete Patente beziffern. Die Erfassung der empfohlenen Leitindikatoren zur Messung der langfristigen Wirkung ist mit höherem Aufwand verbunden, lässt aber einen wertvollen Bezug zu den gesetzten Zielen zu. Für die zentralen Leitindikatoren sollten vor Programmstart überprüfbare Zielwerte festgelegt werden. Diese sollten in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen und dem gewählten thematischen Fokus ein realistisches Bild wiedergeben. Im Rahmen der Programmbegleitung ist dann in geeigneten Zeitabständen ein Vergleich dieses Zielwertes mit dem aktuellen IST-Wert (Kennwert) möglich. Die zur Ermittlung der Kennwerte notwendigen Ressourcen sollten in einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen.

Eine Verbesserung der Ergebnis- und Erfolgskontrolle lässt sich auch auf der späteren Projektebene realisieren. Hierfür empfehlen sich projektbezogen ebenfalls die Auswahl eines passenden Indikatoren-Sets und die klare Definition von Zielwerten. Sind für eine effektive Programmsteuerung Kenndaten von Zuwendungsempfängern notwendig, sollte eine entsprechende Verpflichtung zur Mitwirkung in den Nebenbestimmungen zum Zuwendungsbescheid integriert werden.

Wird das Technologietransfer-Programm Leichtbau entsprechend der Empfehlungen in Kapitel 7 als stufenweises Förderprogramm angelegt, werden sukzessive weitere Themenbereiche in die Förderung aufgenommen. Jeder Themenbereich erfordert die Definition eigener spezifischer Indikatoren-Sets. Die Indikatoren und die zugehörigen Zielwerte müssen daher bei Bedarf dem konkreten Förderthema angepasst und weiterentwickelt werden.

Zusammenfassend bilden die ex ante festgelegten Indikatoren ein transparentes Evaluationssystem. Das BMWi kann dieses System auch als Grundlage für zukünftige begleitende oder Ex-post-Evaluationen nutzen, um Effektivität, Effizienz, Kohärenz und Relevanz des Programms zu bewerten.

## 9. BEWERTUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT

Gemäß den Vorgaben der BHO und des BMF zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von geplanten Maßnahmen sind grundsätzlich das Sparsamkeits- und Ergiebigkeitsprinzip für den Einsatz öffentlicher Haushaltsmittel zu berücksichtigen. Für das geplante Technologietransfer-Programm bedeutet dies, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln das bestmögliche Ergebnis zu erzielen und die Mittel möglichst sparsam einzusetzen.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit des geplanten Förderprogramms sind sowohl die Maßnahmenwirtschaftlichkeit (Mittleinsatz im Verhältnis zu den angestrebten Zielen) als auch die Vollzugswirtschaftlichkeit (Mittleinsatz in Bezug zu den für die Umsetzung der Maßnahme erforderlichen Ressourcen) zu betrachten.

Dabei erscheinen folgende Aspekte für die Wirtschaftlichkeit des Programms vordringlich:

- > Mit den eingesetzten Haushaltsmitteln soll ein möglichst großer volkswirtschaftlicher Nutzen in Bezug auf die Förderziele erzielt werden (Maßnahmenwirtschaftlichkeit);
- > Die Auswahl der Projekte und Abwicklung der Förderung soll möglichst effizient und kostengünstig erfolgen (Vollzugswirtschaftlichkeit);
- > Durch die eingesetzten staatlichen Mittel sollen zusätzliche private Mittel mobilisiert werden (Hebelwirkung).

Ausgangspunkt sind die zuvor identifizierten Förderbedarfe und das entwickelte Zielsystem. Diese begründen die Notwendigkeit der geplanten öffentlichen Förderung. Das Bundesinteresse besteht demnach in einer Stärkung der Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit deutscher Unternehmen im Bereich Leichtbau, um durch spezifische Förderung des Wissens- und Technologietransfers die eingangs beschriebenen politischen Ziele zu erreichen und damit die Schlüsseltechnologie Leichtbau als Innovationstreiber für nachhaltiges Wirtschaften zu etablieren.

Eine abschließende Wirtschaftlichkeitskontrolle ist ex-ante nicht möglich, weil dafür tatsächlich erreichte Wirkungen mit einem zeitlichen Abstand zur Förderung untersucht werden müssten. Deshalb stützen wir unsere Bewertung auf antizipierte Kosten, Nutzen und Wirkungen, die mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden sind bzw. auf getroffenen Annahmen beruhen. Da nicht alle Nutzen und Wirkungen quantitativ beschrieben werden können, beziehen wir qualitative Daten und subjektive Bewertungen mit ein. Das Bewertungsschema zur Wirtschaftlichkeit kann darüber hinaus als Grundlage für eine spätere Aktualisierung oder zur Erfolgskontrolle während oder nach Ende der Programmlaufzeit durch das BMWi genutzt werden.

### 9.1. VERGLEICH VON HANDLUNGSAKTIVITÄTEN

Um die oben beschriebenen politischen Ziele im Bereich Leichtbau zu erreichen, bedarf es einer Förderung, die spezifisch hinsichtlich des Themas und der beteiligten Akteure wirkt. Dabei kommen unterschiedliche Varianten bezüglich Umfang und Art der Förderung und der geförderten Zielgruppen in Betracht. Wenn man von den nach aktueller Haushaltsplanung angesetzten ca. 4,25 Mio. € p.a. Fördermitteln ausgeht, erscheint eine Fokussierung auf be-

stimmte Förderansätze (z. B. Technologieentwicklung) oder bestimmte Zielgruppen (z. B. Unternehmen) naheliegend. Falls zu einem späteren Zeitpunkt eine höhere Mittelausstattung für das Programm möglich ist, könnten weitere Fördergegenstände und breitere Zielgruppen adressiert werden. Deshalb wird eine Option mit erhöhter Mittelausstattung (Annahme: 15 Mio. € p.a.) ebenfalls betrachtet. Als Betrachtungszeitraum wird eine Programmlaufzeit von fünf Jahren angenommen.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit vergleichen wir deshalb folgende prinzipiell mögliche Handlungsalternativen hinsichtlich ihrer Kosten, Nutzen und Risiken:

- > Variante A: Bedingt rückzahlbare Zuschüsse für Investitionen in Leichtbau-Technologien (Rückzahlung bei wirtschaftlich erfolgreichem Einsatz im Unternehmen)
- > Variante B: Förderung mit nicht rückzahlbaren Zuwendungen: nur Technologieentwicklung, nur für Unternehmen
- > Variante C: Förderung mit nicht rückzahlbaren Zuwendungen: nur Technologieentwicklung, für Unternehmen und Forschungseinrichtungen, Hochschulen
- > Variante D: Förderung mit nicht rückzahlbaren Zuwendungen (erhöhte Mittelausstattung): alle o.g. Förderansätze, für Unternehmen und Forschungseinrichtungen, Hochschulen

### **Variante A**

In dieser Variante wird die Förderung durch bedingt rückzahlbare Zuschüsse angenommen, d. h. im Falle einer erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse mit einer wirtschaftlichen Realisierung im Unternehmen (Amortisation innerhalb von x Jahren aufgrund verringerter Kosten oder zusätzlicher Erlöse) müssen die Fördermittel zurückgezahlt werden. Als Zielgruppe kommen in diesem Fall nur Unternehmen in Betracht, die mit Investitionen in innovative Leichtbau-Technologien eigene wirtschaftliche Interessen verfolgen. Durch die Förderung wird das Risiko des technologischen oder wirtschaftlichen Scheiterns für das investierende Unternehmen abgedeckt. Im Falle einer erfolgreichen Umsetzung sind allerdings die Fördermittel vollständig zurückzuzahlen. Damit verbleibt ein erhebliches wirtschaftliches Risiko bei den investierenden Unternehmen. Deshalb ist davon auszugehen, dass nur eine begrenzte Anzahl von Unternehmen mit diesem Förderinstrument erreicht wird. Insbesondere risikoreiche Innovationen mit hohem Investitionsbedarf und längeren Amortisationszeiten sowie Projekte bei kleinen und jungen Unternehmen mit dünner Kapitaldecke werden damit kaum realisiert werden. Die Investitionen der Unternehmen in Anlagentechnik und FE-Aufwendungen werden nur in dem Maß erfolgen, die einen unmittelbaren wirtschaftlichen Nutzen erwarten lassen („low hanging fruits“ im Bereich Technologieentwicklung). Außerdem entsteht ein erheblicher Kontrollaufwand beim PT für die Nachverfolgung und Vereinnahmung der Rückzahlungen. Es besteht weiterhin das Risiko, dass die geförderten Unternehmen ein Eigeninteresse haben, die öffentliche Förderung als möglichst nicht erfolgreich darzustellen, um die Rückzahlung zu umgehen.

### **Variante B**

Im Unterschied zur Variante A erfolgt die Förderung mit nicht rückzahlbaren Zuwendungen. Der Fördergegenstand bleibt aufgrund der begrenzten Fördermittel weiterhin auf den Bereich Technologieentwicklung beschränkt und es werden nur Unternehmen gefördert. Da seitens der geförderten Unternehmen keine Rückzahlung von Fördermitteln zu befürchten ist, wird erwartet, dass mit diesem Instrument mehr Unternehmen als in Variante A erreicht werden und auch risikoreichere Technologie-Projekte angegangen werden. Durch die Zusammenarbeit von mehreren Unternehmen in Verbundprojekten können innovativere Projekte realisiert und der unternehmensübergreifende Wissens- und Technologietransfer unterstützt werden.

### **Variante C**

Im Unterschied zur Variante B wird hier die Zielgruppe der Technologie-Förderung erweitert, d. h. Forschungseinrichtungen und Hochschulen können sich im Verbund mit Unternehmen beteiligen. Dadurch werden Kooperationen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft in forschungsintensiven Verbundprojekten ermöglicht, der Wissenstransfer und die Ergebnisverbreitung gefördert und zusätzliche Innovationspotenziale in Projekten mit hohen Forschungs- und Entwicklungsrisiken erschlossen. Unternehmen werden dadurch in die Lage versetzt, Projekte zu realisieren, die sie ohne Unterstützung aus der Wissenschaft nicht eigenständig umsetzen könnten.

### **Variante D**

In dieser Variante wird eine erhöhte Mittelausstattung für das Technologietransfer-Programm angenommen (15 Mio. € p.a.). Damit könnten deutlich mehr Verbundprojekte im Bereich Technologieentwicklung gefördert und auch größere Projekte mit erhöhtem Mittelbedarf (z. B. Demonstrationsvorhaben mit größeren Anlageninvestitionen) und weitere Fördergegenstände (z. B. Standardisierung, Vernetzung) im Technologietransfer-Programm berücksichtigt werden. In diesem Rahmen könnten die gesamte Bandbreite der beschriebenen möglichen Förderansätze adressiert, der branchenübergreifende Wissens- und Technologietransfer deutlich verstärkt und mehr Projekte realisiert werden. Die in den Wirkungsmodellen beschriebenen Effekte der einzelnen Themenbereiche lassen im Zusammenspiel deutlich höhere Beiträge zu den handlungsleitenden Förderzielen des Technologietransfer-Programms erwarten.

### **Vergleichende Bewertung der Varianten**

Einen Überblick über die Bewertung von Kosten und Nutzen für die betrachteten vier Varianten gibt Tabelle 3. Kostenseitig unterscheiden sich die Varianten zunächst hinsichtlich der von BMWi bereitgestellten Fördermittel (Annahme A-C: 4,25 M€ p.a., D: 15 M€ p.a.). Als Kostenanteil für die Beauftragung eines Projektträgers (PT) sind für Variante B und C gemäß dem aktuellen Haushaltsentwurf für das Haushaltsjahr 2020 jeweils 0,25 M€ p.a. eingeplant. Bei Variante A ist von höheren PT-Kosten auszugehen (Annahme 0,35 M€ p.a.), weil die wirtschaftliche Erfolgskontrolle und Nachverfolgung und Vereinnahmung von Rückzahlungen zu einem erhöhten administrativen Aufwand führt. Bei Variante D hingegen ist aufgrund von Skaleneffekten ein geringerer PT-Kostenanteil in Relation zum Gesamtvolumen zu erwarten (Basiskosten für PT-Infrastruktur steigen nicht proportional, bei zunehmender Projektanzahl

und größeren Einzelbewilligungen z.B. für Demonstrationsvorhaben wird der PT-Kostenanteil pro Fördermittel-Euro damit geringer). Bei Variante A werden die Kosten durch vereinnahmte Rückzahlungen im Falle wirtschaftlich erfolgreicher Investitionen der geförderten Unternehmen verringert (Annahme 50 % Erfolgsquote = 50 % Rückzahlung der eingesetzten Fördermittel).

Die Nutzen der verschiedenen Varianten werden in Bezug auf die in Kapitel 4 formulierten fünf handlungsleitenden Ziele (HZ1-5) bewertet:

- > HZ1: Leichtbau in die breite industrielle Anwendung bringen
- > HZ2: Innovations- und Wertschöpfungspotentiale des Leichtbaus heben
- > HZ3: Branchen- und materialübergreifenden Wissens- und Technologietransfer fördern
- > HZ4: Durchgängig digitalisierte, verknüpfte Wertschöpfungsnetze schaffen
- > HZ5: Maßgeblichen Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeits- und Klimaziele leisten

Dabei sind die fünf Ziele HZ1-5 gleichrangig berücksichtigt und werden für jede Variante jeweils mit einem Nutzwert zwischen 0 und 1 bewertet und anschließend zu einem Gesamtwert addiert. Bei Variante D wird aufgrund des höheren Mitteleinsatzes und der sich ergänzenden unterschiedlichen Förderansätze der höchste Nutzen erwartet, der deshalb jeweils auf 1,0 gesetzt wird. Bei den anderen Varianten erfolgte eine Einschätzung des erwarteten Nutzwertes für HZ1-5 in Relation zu Variante D als Referenz. Die Abstufungen in den subjektiven Bewertungen begründen sich folgendermaßen:

- > HZ1: Beteiligung von mehr Unternehmen mit risikoreicheren Projekten bei B und C gegenüber A; deutlich mehr Projekte, mehr Wissens- und Technologietransfer und Demonstrationsvorhaben mit großer Strahlkraft bei D
- > HZ2: Höhere Potenziale durch unternehmensübergreifende Kooperation (B gegenüber A) und weiterer Anstieg durch Einbindung von Partnern aus der Wissenschaft (Variante C), um risikoreichere Projekte zu ermöglichen. Höchste Effekte bei D wegen größerer Anzahl und Volumen der Projekte und ergänzende Förderansätze (Standardisierung, Vernetzung)
- > HZ3: Kein Effekt bei Variante A (Einzelprojekte von Unternehmen), zunehmende Effekte bei Variante B (Verbundprojekte von Unternehmen) und C (Wissenstransfer aus der Wissenschaft in die Wirtschaft), höchste Effekte bei D durch steigende Anzahl der Projekte, größere Verbundprojekte mit mehr Partnern und ergänzende Aktivitäten zur Vernetzung
- > HZ4: In Variante B und C werden anspruchsvollere Digitalisierungsprojekte im Vergleich zu A ermöglicht; bei D deutliche Steigerung durch Anzahl der Projekte und die Möglichkeit entlang der Wertschöpfungskette größere Verbundprojekte mit mehr beteiligten Unternehmen zu realisieren
- > HZ5: In Variante A am geringsten aufgrund des vordergründigen wirtschaftlichen Interesses der investierenden Unternehmen, bei B und C zunehmend aufgrund von Sy-

nergieeffekten durch Kooperation zwischen Unternehmen und durch risikoreichere Entwicklungen im Zusammenspiel mit der Wissenschaft (z. B. neue Recyclingverfahren und belastbare Bewertung der Ressourceneffizienzeffekte über den Lebensweg), bei D am höchsten durch die Möglichkeit mehr Projekte zu realisieren und den gesamten Kreislauf von der Materialherstellung bis zum Recycling und Kreislaufführung mit allen beteiligten Akteuren in größeren Verbundprojekten anzugehen.

Als Gesamtergebnis wird das Verhältnis Kosten/ Nutzwert (addiert) angegeben, d. h. ein geringerer Zahlenwert bedeutet geringere wirtschaftliche Aufwendungen seitens BMWi im Verhältnis zum erzielten Nutzen (Beitrag zu den Förderzielen) und ist erstrebenswert.

Tabelle 3: Bewertung der Handlungsalternativen bezüglich Kosten und Nutzwert (bezogen auf Förderziele)

	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
<b>Kosten</b>				
Mittel BMWi	5 x 4,25 M€	5 x 4,25 M€	5 x 4,25 M€	5 x 15 M€
...für PT	5 x 0,35 M€	5 x 0,25 M€	5 x 0,25 M€	5 x 0,5 M€
...für Projekte	5 x 3,90 M€	5 x 4,00 M€	5 x 4,00 M€	5 x 14,5 M€
Rückzahlung	9,75 M€	0	0	0
gesamt	11,50 M€	21,25 M€	21,25 M€	75 M€
<b>Nutzen</b>				
HZ1	0,1	0,2	0,2	1,0
HZ2	0,2	0,3	0,4	1,0
HZ3	0,0	0,2	0,3	1,0
HZ4	0,2	0,3	0,3	1,0
HZ5	0,1	0,2	0,3	1,0
gesamt	0,6	1,2	1,5	5,0
<b>Kosten / Nutzwert</b>	19,2	17,7	14,2	15,0

Im Vergleich der Kosten-Nutzen-Relationen schneidet die Variante C unter den getroffenen Annahmen und Bewertungen am besten ab. Das spricht für eine Einbindung von Forschungseinrichtungen und Hochschulen neben Unternehmen als Zielgruppe der Förderung mit nicht rückzahlbaren Zuwendungen.

Die Variante D zeigt die zweitbeste Kosten-Nutzen-Relation, nahe dem Ergebnis der Variante C. In der Variante D sind jedoch deutlich höhere Gesamteffekte in Bezug auf die Förderziele und das damit verfolgte Bundesinteresse zu erwarten, so dass auch diese Variante als Alternative in Betracht gezogen werden sollte, wenn entsprechende zusätzliche Fördermittel für das Technologietransfer-Programm bereitgestellt werden können.

Im Vergleich schneiden die Varianten A und B deutlich schlechter ab. Eine Realisierung dieser Varianten wird daher nicht empfohlen.

## 9.2. EMPFEHLUNGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHEN UMSETZUNG

Die Wirtschaftlichkeit der Umsetzung des Programms (Vollzugswirtschaftlichkeit) wird maßgeblich durch die Prozesskosten der Programmbetreuung beeinflusst. Eine bessere Vollzugswirtschaftlichkeit verschafft zusätzliche Spielräume für die Förderung (und damit zusätzliche Effekte in Bezug auf die Förderziele), weil ein geringerer Anteil der eingesetzten Mittel des BMWi für die Umsetzung verwendet wird und ein größerer Anteil die eigentlichen Adressaten der Förderung erreicht. Für eine wirtschaftliche Umsetzung und schlanke Prozesskosten des Technologietransfer-Programms empfehlen wir:

- > Beauftragung eines erfahrenen PT mit der Programmabwicklung, möglichst Beileihung zur Verringerung des administrativen Aufwandes im BMWi und zur Verringerung der Bearbeitungszeiten
- > Planbare Zeithorizonte mit regelmäßigen Stichtagen (z. B. halbjährlich) zur Einreichung von Projektideen
- > Zweistufiges Antrags- und Auswahlverfahren, d. h. zunächst kurze aussagefähige Projektskizzen in vorgegebener Struktur, förmliche Antragstellung mit detaillierter Vorhabenbeschreibung erst nach positiver Bewertung und Aufforderung durch PT
- > PT-interne fachliche Bewertung und Ranking der Projektideen nach festgelegten Kriterien, Abstimmung der priorisierten und zur Förderung empfohlenen Projekte mit BMWi und danach Aufforderung zur förmlichen Antragstellung
- > Nutzung von klaren Vorlagen und Hilfestellungen für die Antragsteller und elektronische Antragssysteme/Projektbanken zum Handling der Skizzen und Anträge (geringere Fehleranfälligkeit, weniger Nachforderungen im Zuge der Antragsprüfung)
- > Angemessene Projektstrukturen und –größen in Bezug zu den ausgeschriebenen Fördergegenständen und bereitgestellten Fördermitteln (Steuerung der erwarteten Antrags- und Projektzahlen durch zugeschnittene Förderbekanntmachungen und entsprechende Beratung der Förderinteressenten)
- > Vorhandene Strukturen und Informationskanäle für die Öffentlichkeitsarbeit nutzen, z. B. die Webseiten zur Initiative Leichtbau und die Geschäftsstelle Leichtbau mit ihren Netzwerken und Veranstaltungen.

## 10. FAZIT UND AUSBLICK

Die durchgeführte Ex-Ante-Evaluation bestätigt den Förderbedarf zum Ausbau des Wissens- und Technologietransfer im Bereich Leichtbau. Der Leichtbau hat große ökonomische Bedeutung für zentrale Wirtschaftsbranchen wie z. B. den Automobilbau und die Luftfahrtindustrie und bietet Potenziale zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Ressourceneffizienz in weiteren Branchen und neuen Anwendungsbereichen. Deutschland ist in zentralen Forschungs-, Entwicklungs- und Technologiebereichen gut aufgestellt, liegt aber im internationalen Vergleich sowohl bei der Zahl der Patentanmeldungen als auch bei den Transferaktivitä-

ten im Bereich Leichtbau zurück. Durch das geplante Technologietransfer-Programm können diese Bedarfe adressiert werden und es sind maßgebliche Beiträge zu zentralen Zielen der Industriepolitik und den Klimaschutz- und Nachhaltigkeitszielen der Bundesregierung zu erwarten. Eine komplementäre Ausrichtung zu vorhandenen Förderprogrammen kann insbesondere durch den Fokus auf branchenübergreifende Ansätze entlang der Leichtbau-Wertschöpfungskette und die Realisierung hoher TRL im Bereich 5-8 erreicht werden.

Die entwickelten Wirkungsmodelle, das initiale Indikatorenset und das Bewertungsschema zur Wirtschaftlichkeit der geplanten Maßnahmen sind aufgrund der Betrachtung vor Beginn der geplanten Förderung mit natürlichen Unsicherheiten behaftet und basieren auf Annahmen und antizipierten Effekten. Sie sind aber eine solide Basis, die für spätere Aktualisierungen und Erweiterungen des Programms angepasst und weiter konkretisiert werden kann. Für ein begleitendes Monitoring zur Programmsteuerung und ggf. geplante begleitende oder Ex-Post-Evaluationen des Förderprogramms wurden damit methodische Grundlagen geschaffen.

Bei der Umsetzung des langfristig angelegten Technologietransfer-Programms sollten Möglichkeiten für spätere Aktualisierungen der Themenfelder, Erweiterungen der Fördergegenstände oder weitere Förderphasen geschaffen werden. Damit wird ein flexibler Programmrahmen aufgespannt, der aufgrund zukünftiger Entwicklungen und neuer Erkenntnisse (z. B. aus dem laufenden Strategieprozess Leichtbau) bei Bedarf angepasst werden kann. Um die identifizierten möglichen Förderansätze umfassend zu adressieren, sollten nach Möglichkeit zusätzliche Fördermittel über die bislang veranschlagten 4,25 Mio. € p.a. hinaus bereitgestellt werden. Andernfalls kann nur ein Teil davon mit dem geplanten Budget adäquat abgedeckt werden und es sollte eine entsprechende Priorisierung und ggf. zeitliche Staffelung der Förderung erfolgen.

## LITERATURVERZEICHNIS

Folgende Quellen und Veröffentlichungen wurden für die Analysen im Rahmen der Ex-Ante-Evaluation genutzt:

Agarwal, J., et al, *“Progress of novel techniques for lightweight automobile applications through innovative eco-friendly composite materials: A review”*, J. Thermopl. Comp. Mater. 1-36 (2019)

Amram, Y. H. M., Farzadnia, N. and Ali, A. A. A., *“Properties and applications of foamed concrete; a review”*, Construc. & Building Mater. 101 990-1005 (2015)

Anon., *“A Look at the Future of Lightweighting: Challenges, and how tapes and adhesives can help meet them”*, 3M Publications (2018)

Anon., *“Automobiler Leichtbau – Berylls Marktperspektive “Karosserieleichtbau””*, Berylls Strategy Advisors (2013)

Anon., *“Automotive lightweight – Heavy impact”* Economic Symposium Alpbach, Berylls Strategy Advisors (2016)

Anon., *“Composite Material Applications in Aerospace”*, Insight 09, Aerospace Technology Inst. (2018)

Anon., *“Global vehicle lightweighting - technology, trends and the future, 2019 Q2 Edition”*, Aroq Ltd. (2019)

Anon., *“Impact of Demand Uncertainty for Automotive Powertrains and Body on Bulk Materials”*, presented to World Materials Forum, McKinsey & Co. (2018)

Anon., *“The National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006-2020)”*, The State Council, The People’s Republic of China, (2016)

Arifurrahman, F. et al, *“On the Lightweight Structural Design for Electric Road and Railway Vehicles using Fiber Reinforced Polymer Composites – A Review”*, Int. J. Sust. Transp. Tech. 1 21-29 (2018)

Atkins, C. et al, *“Topological design of lightweight additively manufactured mirrors for space”*, Adv. Optic. Mech. Tech. Telescopes Instrumentation III, Proc. of SPIE Vol. 10706, 107060I (2018)

Axtman S. J. and Wilck, J. H., *“A Review of Aviation Manufacturing and Supply Chain Processes”*, Int. J. Sup. Chain. Mgt. 4 22-27 (2015)

Baron, J., *“Identifying Real World Barriers to Implementing Lightweighting Technologies and Challenges in Estimating the Increase in Costs”*, Report, Centre Automotive Res., (2016)

Baumann, M., Haase, W., et al, *“Leichtbau im Bauwesen: Ein Praxis-Leitfaden zur Entwicklung und Anwendung ressourcen- und emissionsreduzierter Bauprodukte”*, Minis. f. Wirtsch., Arbeit u. Wohnungs- b. Baden-Württemberg (2018)

Braga, D. F. O. et al, "Advanced design for lightweight structures: Review and prospects", Prog. Aerosp. Sci. 69 29-39 (2014)

Breitschwerdt, D. et al, "Performance and disruption – A perspective on the automotive supplier landscape and major technology trends", Adv. Industries, McKinsey & Co. (2016)

Buchanan, C. A., "Lightweight Shipping Containers: Life Cycle Impacts on Multimodal Freight Transportation", MSc Thesis, Uni. Michigan (2018)

Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Forschung und Innovation für die Menschen – Die Hightech-Strategie 2025“, Publikation (August 2018, Link: <https://www.hightech-strategie.de/de/hightech-strategie-2025-1726.html>)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen“, Publikation (November 2016, Link: <https://www.bmu.de/publikation/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-ii-programm-zur-nachhaltigen-nutzung-und-zum-schutz-der-natue/>)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Nationale Industriestrategie 2030 - Strategische Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik“, Publikation (Februar 2019, Link: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/nationale-industriestrategie-2030.html>)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Rohstoffstrategie der Bundesregierung - Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen“, Publikation (Oktober 2010, Link: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/rohstoffe-und-ressourcen.html>)

Bundesregierung, „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Aktualisierung 2018“ (Oktober 2018, Link: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/eine-strategie-begleitet-uns/die-deutsche-nachhaltigkeitsstrategie>)

Bundesregierung, „Digitalisierung gestalten - Umsetzungsstrategie der Bundesregierung“, Publikation (März 2019, Link: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digital-made-in-de/die-digitalstrategie-der-bundesregierung-1549554>)

Bundesregierung, „Ein neuer Aufbruch für Europa, Eine neue Dynamik für Deutschland, Ein neuer Zusammenhalt für unser Land – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD - 19. Legislaturperiode“ (März 2018, Link: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/koalitionsvertrag-zwischen-cdu-csu-und-spd-195906>)

Bundesregierung, „Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung“, Publikation (November 2018, Link: <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>)

Cecchel et al, "Lightweighting in light commercial vehicles: cradle-to-grave life cycle assessment of a safety-relevant component", Int. J. Life Cycle Assessment 23 2043-2054 (2018)

Chica, L. and Alzate, A., "Cellular concrete review: New trends for application in construction", Construc. & Building Mater. 200 637-647 (2019)

Del Sol, I. et al, "Thin-Wall Machining of Light Alloys: A Review of Models and Industrial Approaches", Materials 12 2012 (2019)

- Dér, A. et al, "*Life cycle engineering of carbon fibres for lightweight structures*", *Procedia CIRP* 69 43-48 (2018)
- Dieckhoff, P., Möhlmann, R. und van Ackeren, J., "*Biologische Transformation und Bioökonomie*", Fraunhofer White Paper, Fraunhofer Gesell. (2018)
- Dixit, M. K., "*3-D Printing in Building Construction: A Literature Review of Opportunities and Challenges of Reducing Life Cycle Energy and Carbon of Buildings*", *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 290 012012 (2019)
- Doorbar, P. J. and Kyle-Henney, S., "*Development of Continuously-Reinforced Metal Matrix Composites for Aerospace Applications*", *Compreh. Composite Mater.* II 4 439-463, (2018)
- Ehlert-Hoshmand, J. et al, "*Die Rolle von Stahl in der Elektromobilität*", *Handelsblatt Res. Inst.* (2018)
- Farooq, M. A. et al, "*Lightweighting technologies: Analyzing strategic and economic implications of advanced manufacturing processes*", *Int. J Prod. Econ.* 206 268-279 (2018)
- Fitzgerald, B. and Mazumadar, S. "*Major Light weighting Trends Shaping the Automotive Industry*", presented to Composites Europe, Lucintel (2018)
- Gorbatikh, L., Wardle, B. L. and Lomov, S. V., "*Hierarchical lightweight composite materials for structural applications*", *MRS Bulletin* 41 672-677 (2016)
- Gouzman, I. et al., "*Advances in Polyimide-Based Materials for Space Applications*", *Adv. Mater.* 31 1807738 (2019)
- Gude, M. et al, "*FOREL-Studie 2018: Ressourceneffizienter Leichtbau für die Mobilität Wandel – Prognose – Transfer*", Plattform FOREL (2018)
- Hanif, A. et al, "*Green lightweight laminated cementitious composite (LCC) for wind energy harvesting – A novel application of LCCs*", *Case Studies in Constr. Mater.* 10 1-10 (2018)
- Hayes, A. et al, "*Structural Optimization of a Direct-Drive Wind Turbine Generator Inspired by Additive Manufacturing*", *Procedia Manufacturing* 26 740-752 (2018)
- Herrmann, C. et al, "*Life cycle engineering of lightweight structures*", *CIRP Ann. – Manuf. Tech.* 67 651-672 (2018)
- Hertwich, E. G. et al, "*Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics - a review*", *Environ, Res. Lett.* 14 043004 (2019)
- Heuss, R. et al, "*Lightweight, Heavy Impact*", *Adv. Industries, McKinsey & Co.* (2012)
- Ierides, M. and Mbang, S., "*Development of materials and process technologies for the lightweight vehicles of tomorrow*", *Lightweight Automobiles ALLIANCE Project, EARPA FORUM Forum 2018* (2018)
- Isenstadt, J. et al, "*Lightweighting technology development and trends in U. S. passenger vehicles*", *Int. Council Clean Transport. Working Paper* (2016)

- Kaluza, A. et al, "Conceptual Development of Hybrid Structures Towards Eco-Efficient Vehicle Lightweighting", *Designing Sust. Tech., Prod. Policies* 181-191 (2018)
- Kahl, M. et al "Special report: Vehicle lightweighting" Automotive World Ltd., (2016)
- Kromoser B., Preinstorfer P. and Kollegger J., "Building lightweight structures with carbon-fiber-reinforced polymer-reinforced ultra-highperformance concrete: Research approach, construction materials, and conceptual design of three building components", *Structural Concrete*. 20 730–744 (2019)
- Lässig, R. et al, "Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen – Perspektiven für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau", Roland Berger Strategy Consultants (2012)
- Lehmus, D. et al, "New Materials and Processes for Transport Applications: Going Hybrid and Beyond", *Adv. Eng. Mater.* 21 1900056 (2019)
- Leichtbau BW GmbH, „Leichtbau: Neues Denken braucht das Land“, Whitepaper (2017)
- Leichtbau BW GmbH, "Trends und Märkte im Leichtbau", Studie (2015)
- Leichtbau BW GmbH, "Wertschöpfungspotenziale im Leichtbau", Studie (2016)
- Le Feuvre, R. A. and Scrutton, N. S., "A living Foundry for Synthetic Biological Materials: A synthetic biology roadmap to new advanced materials", *Synth. & Systems. Biotechn.* 3 105-112 (2018)
- Lee, W. G. et al, "The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys", *Proc IMechE Part F; J Rail and Rapid Transit* 232 25-42 (2016)
- Lewis, G. M. et al, "Green Principles for Vehicle Lightweighting" *Environ. Sci. Technol.* 53 2063-4077 (2019)
- Li, H. et al, "Current Research and Challenges in Innovative Technology of Joining Dissimilar Materials for Electric Vehicles", *Adv. High Strength Steel Press Hardening* 363-380 (2019)
- Mamanpush, S. H. et al, "Extruded Fiber-Reinforced Composites Manufactured from Recycled Wind Turbine Blade Material", *Waste & Biomass Valorization* [Doi.org/10.1007/s12649-019-00659-0](https://doi.org/10.1007/s12649-019-00659-0) (2019)
- Mayyas, A. T. et al, "Sustainable lightweight vehicle design: a case study in eco-material selection for body-in-white", *Leightw. Comp. Struct. In Transport* 267-302 (2016)
- Milovanoff, A. et al, "A Dynamic Fleet Model of U.S Light-Duty Vehicle Lightweighting and Associated Greenhouse Gas Emissions from 2016 to 2050", *Environ. Sci. Technol.* 53 2199-2208 (2019)
- Mohr, D. et al, "The road to 2020 and beyond: What's driving the global automotive industry?", *Adv. Industries, McKinsey & Co.* (2013)
- Nazir, A. et al, "A state-of-the-art review on types, design, optimization, and additive manufacturing of cellular structures", *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* 1-22 (2019)
- O'Meara, S. "The materials reality of China", *Nature* 567 S1-S6 (2019)

Panwar, N. and Chauhan, A., "Fabrication methods of particulate reinforced Aluminium metal matrix composite – A review", Mater. Today: proceedings 5 5933-5939 (2018)

Park, C.-K. et al "Investigation of opportunities for lightweight vehicles using advanced plastics and composites", Report No. DOT HS 811 692, Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration (2012)

Preziosi, N. et al, "China – Challenges and Prospects from an Industrial and Innovation Powerhouse", EUR 29737 EN, Publications Office, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-02997-7, doi:10.2760/445820, JRC116516.

Ren L. et al, "Magnesium application in railway rolling stocks: A new challenge and opportunity for lightweighting", Int. J. Lightw. Mater. Manuf. 1 81-88 (2018)

Ross, K. et al, "Advances in dissimilar metals joining through temperature control of friction stir welding", MRS Bulletin 44 613-618 (2019)

Schleinkofer, U. et al, "Resource-efficient manufacturing systems through lightweight construction by using a combined development approach", Procedia CIRP 72 856-861 (2018)

Schubert, M. et al, "Multifunctional and lightweight load-bearing composite structures for satellites", MATEC Web Conf. 233 00019 (2018)

Sobek, W., "Ultraleichtbau", Stahlbau 83 784-789 (2014)

Taub, A. and Babu, S. S. "Opportunities and Challenges for Introducing New Lightweight Metals in Transportation", Int. J. Powder Metall. 54 27-33 (2018)

Taub, A. I and Luo, A. A., "Advanced lightweight materials and manufacturing processes for automotive applications", MRS Bulletin 40 1045-1053 (2015)

Taub, A. et al, "Materials for Automotive Lightweighting", Annu. Rev. Mater. Res. 49 327-359 (2019)

Tirrell, D. A. et al, "Biomaterials: Important Areas for Future Investment 2012 NSF Biomaterials Workshop", Natl. Sci. Found. (2013)

Ulainov, C. et al, "Analysis and selection of materials for the design of lightweight railway vehicles", IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Engineer. 292 012072 (2018)

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, „Bestandsaufnahme Leichtbau in Deutschland“, Kurzstudie (2015)

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, „Ressourceneffizienz im Leichtbau“, Studie (2016)

Weichers, R. and Meyerhoff, A. "Maschinenbau in Zahl und Bild 2019 - Mechanical engineering – figures and charts 2019", VDMA-Bericht (2019)

Yang, Z., "Fuel-efficiency technology trend assessment for LDVs in China: Vehicle technology", Int. Council Clean Transport. Working Paper (2018)

Zhu, L. et al, "Light-weighting in aerospace component and system design", Propul. Power Res. 7 103-119 (2018)



## ANHANG 1: INTERVIEWLEITFADEN

### 1. ZUM HINTERGRUND

Im Auftrag des BMWi führen wir leitfadengestützte Experteninterviews mit ausgewählten zentralen Akteuren durch. Das Ziel der Interviews ist es, Trends für den Technologietransfer im Bereich Leichtbau zu validieren und Hemmnisse zu identifizieren. Wo möglich, sollen konkrete Ansatzpunkte für Förderaktivitäten des BMWi abgeleitet werden. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse zur Wirkungsanalyse herangezogen werden.

### 2. INFORMATIONEN ZUM INTERVIEWPARTNER

- › Datum des Interviews
- › Name des Gesprächspartners
- › Firma bzw. Institution
- › Funktion
- › Arbeitsgebiet

### 3. INTERVIEWLEITFRAGEN

#### Branchen/ Akteure

- › Wer sind die entscheidenden Akteure (Stakeholder) in Deutschland? (FE-Einrichtungen, Industrie, Sonstige, welche Branchen?)
- › Welche Wirtschaftsbranchen nehmen aus Ihrer Sicht eine Vorreiterrolle im Leichtbau ein?
- › Wo liegen die branchenspezifischen Unterschiede?
- › Welche wirtschaftliche Bedeutung hat der Leichtbau für Ihr Unternehmen bzw. für Ihre Branche?
- › Wie schätzen Sie das Marktumfeld/Marktpotenzial für neue Leichtbau-Technologien ein?
- › Was ist nötig, um dieses Marktpotenzial zu erschließen? (Schafft die Industrie das selbst oder ist dazu staatliche Förderung notwendig?)

- › Welche Rahmenbedingungen benötigen Sie?

### **Aktueller Entwicklungsstand**

- › Wie bewerten Sie den aktuellen Entwicklungsstand im Leichtbau
  - entlang der Wertschöpfungskette
  - entlang des Lebenszyklus der Leichtbau-Werkstoffe und
  - bezüglich der Technologien in den relevanten Wirtschaftsbranchen?  
(Festlegung auf Branchen erforderlich)
- › Gibt es werkstoff- bzw. technologie-spezifische Unterschiede (Al, Stahl, Mg, CFK, Hybrid-Ansätze u.a.)
- › Welche technologie- und branchenübergreifenden Ansätze sind für Sie relevant?

### **Erfolgsbeispiele**

- › Nennen Sie bitte konkrete Erfolgsbeispiele aus dem Bereich Leichtbau.
- › Was war Ihrer Meinung nach ausschlaggebend für den Erfolg dieser Projekte?

### **Vernetzung**

- › Wer sind Ihre wichtigsten Kooperationspartner?
- › Gibt es interessante Kooperationen, die Sie in Zukunft eingehen wollen?
- › Sehen Sie konkreten Unterstützungsbedarf zur Findung neuer Kooperationspartner?

### **Position Deutschlands im internationalen Vergleich**

- › Wie ist Deutschland im Vergleich zum internationalen Umfeld aufgestellt?
- › Sind in Deutschland alle wichtigen Akteure vorhanden, um den Leichtbau entscheidend voranzubringen (haben wir eine geschlossene Wertschöpfungskette oder fehlen uns Kompetenzen?)
- › Ist es erforderlich Akteure aus dem (europäischen) Ausland einzubinden, um entscheidend voran zu kommen?

### **Trends**

- › Wo sehen Sie die aktuellen Trends zum Thema Leichtbau?
- › Wie bewerten Sie die Bedeutung von neuen Technologien, wie z. B. Digitalisierung oder Bionik für den Leichtbau?

- › Für welche Anwendungen sehen Sie zukünftig besonderes Potential und warum? Wo erwarten Sie entscheidende Entwicklungssprünge (in 2, 5 und 10 - 20 Jahren) und warum?

### **Recycling – Nachhaltigkeit**

- › Welchen Stellenwert nehmen die Bereiche Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Recycling für Sie und Ihr Unternehmen ein?
- › Welche Rolle spielen diese Aspekte für Ihre Leichtbau-Aktivitäten?
- › Welchen konkreten Handlungsbedarf sehen Sie diesbezüglich?

### **Hemmnisse/ Bottlenecks / Potenziale**

- › Mit welchen Limitierungen sind Sie aktuell konfrontiert?
- › Was sind die zentralen Herausforderungen und Hemmnisse (wissenschaftlich-technologisch, regulativ, ökonomisch, oder sonstige) für den Technologietransfer im Leichtbau, die einen industriellen Einsatz verzögern?
- › Sind die Hemmnisse branchenabhängig?
- › Welche Unterstützung ist notwendig, um diesen Herausforderungen zu begegnen?
- › Wie könnte ein Förderprogramm für Technologietransfer aussehen?
- › Was verstehen Sie unter Technologietransfer und wie könnte ein Förderprogramm für Technologietransfer aus Ihrer Sicht am besten unterstützen?

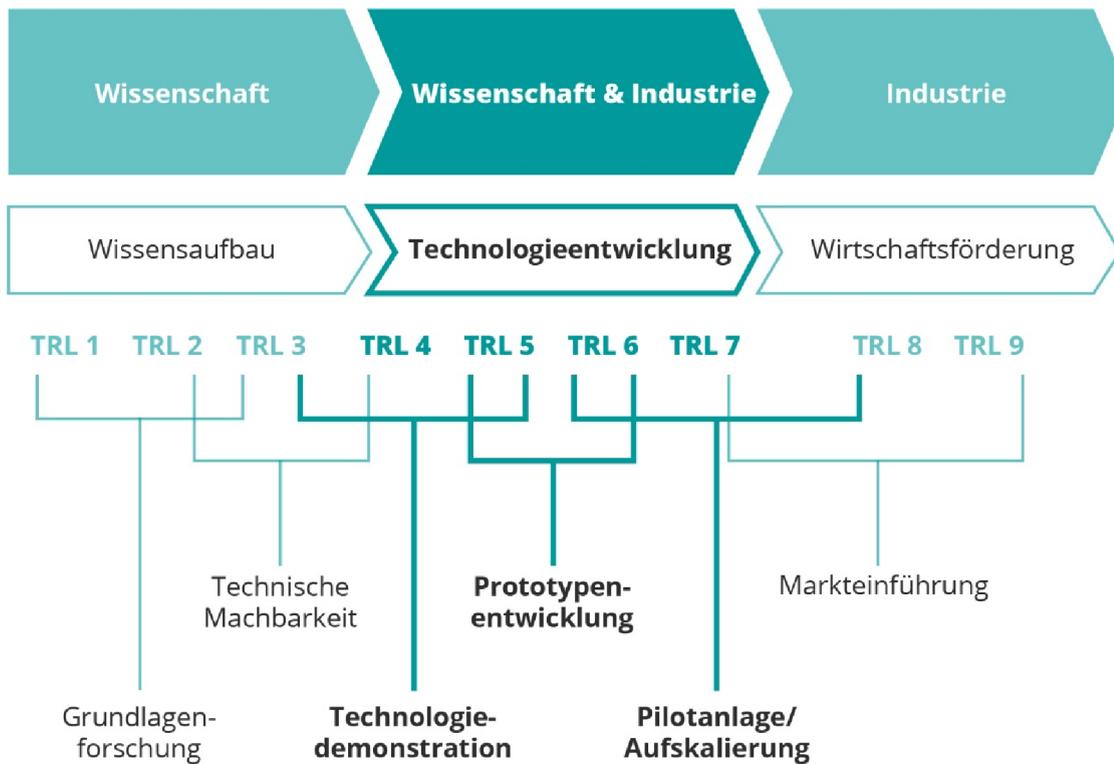
## **4. FAZIT (INTERN)**

*Am Ende des Interviews sollte ein gemeinsames kurzes Fazit stehen. Wichtig sind:*

- › Zusammenfassung der white spots und/oder Bereiche mit besonderem Potential
- › Zusammenfassung der Entwicklungsdefizite und Transferhindernisse
- › Bewertungen und Einschätzungen des Interviewpartners

*Wichtige allgemeine Anmerkungen im Interview bitte dokumentieren („es fehlt“, „unumgänglich ist“, „bleibt zu klären“ usw.)*

## ANHANG 2: TECHNOLOGISCHER REIFEGRAD (TRL)



TRL = Technology Readiness Level/Technologischer Reifegrad

(Quelle: PtJ)