

Evaluation des Luftfahrtforschungs- programms (LuFo)

Zusammenfassung zentraler Ergebnisse
und Handlungsempfehlungen

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

Impressum

Institut für Innovation und Technik (iit)
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Steinplatz 1
10623 Berlin
Tel.: +49 30 310078-111
Fax: +49 30 310078-216
E-Mail: info@iit-berlin.de

www.iit-berlin.de

Autoren

Dr. Leo Wangler
Dr. Christiane Kerlen
Prof. Dr. Michael Bräuningner
Dr. Stefan Meyer
Dr. Mark-Oliver Teuber

Layout

A.-S. Piehl, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweis

© frank peters/Fotolia (Titel)
© fotomek/Fotolia (S. 6)
© Vladimir Melnikov/Fotolia (S. 9)
© ugurhan/iStock (S. 11)
© Stockbyte/Thinkstock (S. 20)

Berlin, Februar 2019

Um die Lesbarkeit unseres Berichts möglichst nutzerfreundlich zu gestalten, wird an einigen Stellen die allgemeine Bezeichnung (Auftragnehmer, Mitarbeiter, Experten etc.) gewählt. Wo nicht explizit ausgewiesen, ist die weibliche Form selbstverständlich ebenfalls gemeint.

ISBN: 978-3-89750-204-8

Inhalt

1	Management Summary	5
2	Einleitung	7
2.1	Ziele des Luftfahrtforschungsprogramms.....	7
2.2	Volkswirtschaftliche Bedeutung der Technologieförderung	8
3	Methodisches Vorgehen	10
4	Zentrale Ergebnisse	10
4.1	Kontextbetrachtung	12
4.2	Charakterisierung der Fördernehmer und des Programms	12
4.3	Förderprozesse.....	14
4.4	Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsprojekte	14
4.5	Wirkungen des Luftfahrtforschungsprogramms bei den Zielgruppen	18
4.6	Ergebnisse der Förderung auf Programmebene	18
4.7	Gesamtwirtschaftliche Effekte.....	19
4.8	Wirtschaftlichkeitskontrolle	19
5	Handlungsempfehlungen	20
5.1	Branchenbetrachtung	20
5.2	LuFo-Programmbetrachtung.....	21

Hintergrund:

Anfang Juli 2018 erteilte das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) dem Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH den Auftrag, gemeinsam mit Economic Trends Research, Kerlen Evaluation und Kovalis das Luftfahrtforschungsprogramm (kurz: LuFo) zu evaluieren. Das Evaluationsteam wurde durch drei Experten unterstützt, die ihre langjährigen Erfahrungen aus der Luftfahrtbranche einbrachten: Prof. Dr. Fred Abbink, Prof. Dr. Jürgen Klenner und Prof. Dr. Dieter Schmitt. Sie waren wichtige Partner für die fachliche Einschätzung der Luftfahrtindustrie und -forschung.

Das Evaluationsteam bedankt sich bei allen Beteiligten für ihre Auskunftsbereitschaft, die sich in der Beantwortung der schriftlichen Befragung und der Beteiligung an Interviews und Expertenrunden ausdrückte. Wir bedanken uns zudem ausdrücklich für die sehr konstruktive Zusammenarbeit mit den Mitarbeitenden des BMWi-Referats IV D 2. Unser Dank gilt auch dem Projektträger Luftfahrtforschung (PT-LF), der stets für Fragen zur Verfügung stand.

1 Management Summary

Mit dem Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo) unterstützt die Bundesregierung seit 1995 den Hochtechnologie-Standort Deutschland mit seiner leistungsfähigen und innovativen Luftfahrtindustrie. Sie leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Luftfahrtindustrie, deren Teilhabe am weltweiten Wachstum des Luftverkehrs und dem Aufbau eines umweltverträglicheren Luftverkehrssystems.

Heutige Luftfahrzeuge zeichnen sich durch eine hohe Komplexität und einen hohen Entwicklungsstand aus. Charakteristisch dafür sind sehr lange Forschungs-, Entwicklungs- und Produktzyklen. Maßgeblich für die LuFo-Förderung sind vielversprechende Anwendungen in der zivilen Luftfahrt. Vier Ziele bilden die Schwerpunkte des Förderprogramms:

- 1) Umweltfreundliche Luftfahrt,
- 2) sichere und passagierfreundliche Luftfahrt,
- 3) leistungsfähige und effiziente Luftfahrt und
- 4) Gesamtsystemfähigkeit.

Auf diesen übergeordneten Zielen aufbauend, ist die Schwerpunktsetzung der LuFo-Förderung auf das Innovationssystem und aktuelle Entwicklungen am Industriestandort Deutschland ausgerichtet. Diese Ziele waren maßgeblich für die Evaluation des Luftfahrtforschungsprogramms.

Der Kurzbericht enthält eine Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Evaluation. Im Einzelnen:

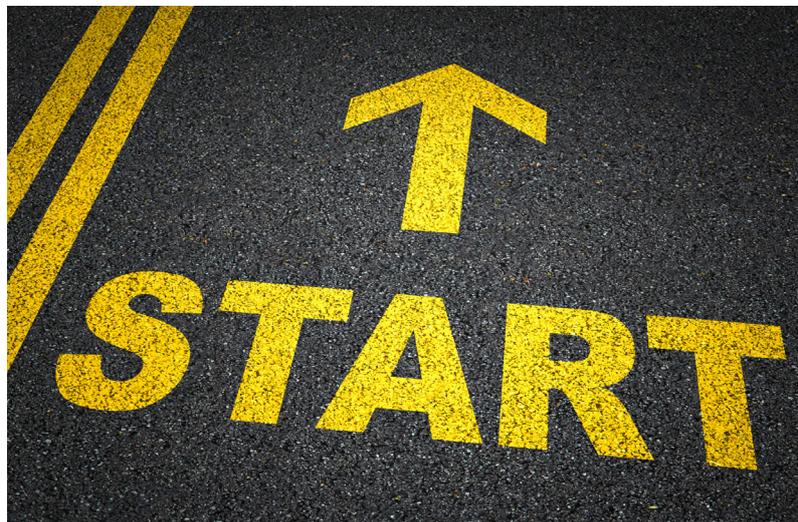
- ▶ Die Luftfahrtbranche und die Luftfahrtforschung in Deutschland sind insgesamt gut aufgestellt. So konnte sich die Luftfahrtbranche in den vergangenen Jahren positiv entwickeln, was sich eindrücklich im Wachstum von Umsatz und Beschäftigung manifestiert. Dank eines global weiter stark steigenden Mobilitätsbedürfnisses bestehen auch weiterhin gute Wachstumsaussichten. Eine Grundlage für die positive Entwicklung der Luftfahrtbranche in Deutschland sind die hohen Ausgaben für Forschung und Entwicklung/Technologie, die in den letzten Jahren jedoch leicht rückläufig waren. Darüber hinaus zeigt der EU-Vergleich, dass Deutschland in Relation zu führenden Ländern wie Frankreich und Großbritannien weiterhin Entwicklungspotenzial hat.
- ▶ LuFo leistet einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der Luftfahrtbranche in Deutschland. Im Evaluationszeitraum 2007–2018 wurden 2.097 Projekte mit einem Gesamtvolumen in Höhe von 3.246 Mio. Euro bewilligt. Die Vorhaben werden mit Programmmitteln in Höhe von 1.781 Mio. Euro unterstützt. Ergänzend wurden und werden von den geförderten Unternehmen private Mittel im Umfang von 1.464 Mio. Euro eingesetzt. Knapp die Hälfte der Einzelprojekte wird von Großunternehmen, ein gutes Drittel von Wissenschaftseinrichtungen und etwa 16 Prozent von KMU durchgeführt.
- ▶ Die von den Projekten angestrebten Ziele werden in hohem Maße erreicht. In den LuFo-geförderten Projekten werden Technologien über mehrere Technologiereifegrade (TRL) weiterentwickelt, am häufigsten über zwei TRL. Hinzu kommt, dass die geförderten Technologien für Unternehmen und Forschungseinrichtungen äußerst relevant sind. In über 84 Prozent der Fälle führen Unternehmen nach Ende der Förderung die Themen fort. Bei den Forschungseinrichtungen werden 85 Prozent der Projektthemen weiterbearbeitet. Außerdem werden durch das LuFo langfristige Kooperationsbeziehungen und dauerhafte Partnerschaften gefördert.
- ▶ Eine bedeutende Rolle hat der Wissens- und Technologietransfer. Nahezu alle Projekte werden von den Forschungseinrichtungen auf Fachkongressen vorgestellt und auch wissenschaftliche Publikationen sind ein weit verbreiteter Weg des Ergebnistransfers. 71 Prozent der Unternehmen präsentieren ihre Ergebnisse auf Fachkongressen oder publizieren sie in Fachzeitschriften (62 Prozent). Ergebnistransfer in Form von Patentierungen erfolgt in 30 Prozent der Unternehmen und Forschungseinrichtungen, wobei von den Unternehmen durchschnittlich rund 4,5 Patente pro Projekt angemeldet werden. Bei den Forschungseinrichtungen liegt der Schnitt bei 1,3 Patenten.
- ▶ Ein weiterer Schwerpunkt der LuFo-Förderung liegt in der Ausbildung bzw. der Qualifizierung des akademischen Nachwuchses in der Luftfahrtbranche. In fast 50 Prozent der Projekte in Unternehmen und in über 80 Prozent der Projekte in Forschungseinrichtungen werden Studienabschlussarbeiten angefertigt, bis zu drei Viertel der Absolventinnen/Absolventen finden eine berufliche Perspektive in der Luftfahrtforschung oder -industrie
- ▶ Schwierigkeiten bei der Zusammenarbeit in den Verbundprojekten resultieren oft aus der Änderung von Zielen und Prioritäten bei Projektpartnern. Auffällig ist beim LuFo jedoch, dass hier häufig auch Änderungen von Zielen und Prioritäten in den eigenen Unternehmen als Schwierigkeit gewertet werden. Auch die mangelnde Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal im eigenen Unternehmen ist eine Herausforderung.
- ▶ Der mit Abstand wichtigste Nutzen der Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die Unternehmen liegt in der Entwicklung neuer Produkte und Prozesse, an zweiter Stelle folgt die Verbesserung existierender Produkte und Prozesse. Mit dem Luftfahrtforschungsprogramm werden damit Innovationen in den Betrieben selbst initiiert.
- ▶ Hauptadressat der LuFo-Förderung ist die zivile Luftfahrtindustrie, hier werden 58 Prozent der Projektergebnisse

verwertet. Die geförderten Unternehmen weisen in allen Dimensionen (Human-, Struktur- und Beziehungskapital) eine vergleichsweise hohe Innovationsfähigkeit auf. Sie schreiben zudem der Programmteilnahme eine deutlich positive Wirkung auf die Entwicklung der Innovationsfähigkeit zu.

- ▶ Die von den Unternehmen beschriebenen Wirkungen des Luftfahrtforschungsprogramms sind stark auf den Erhalt der Forschungskompetenzen ausgerichtet. Im Vordergrund steht der langfristige Erhalt der Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit. Dies drückt sich im Anstoßen von Verbesserungen im Unternehmen aufgrund der Teilnahme am Luftfahrtforschungsprogramm aus.
- ▶ Für Forschungseinrichtungen hat LuFo eine sehr zentrale Bedeutung. Der Erhalt und die Verbesserung der eigenen Position innerhalb der Scientific Community werden viel stärker als bei den Unternehmen und im Vergleich zu anderen Technologieprogrammen direkt auf das Luftfahrtforschungsprogramm zurückgeführt.
- ▶ Mit Blick auf die Programmziele zeigt sich, dass knapp zwei Drittel der Projekte zu einer leistungsfähigen und effizienten Luftfahrtindustrie beitragen. An zweiter Stelle der Nennungen steht das Programmziel „umweltfreundliche Luftfahrt“. Es folgen die Programmziele „Gesamtsystemfähigkeit“ und „Sicherheit und Passagierfreundlichkeit“.
- ▶ Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse ist von geringen Mitnahmeeffekten auszugehen. Es lässt sich jedoch eine Anreizwirkung aufzeigen. Von den Unternehmen werden im Durchschnitt 114.000 Euro zusätzlich, über das Projektbudget (Eigenmittel plus Förderung) hinausgehend, pro Projekt zur Verfügung gestellt. Bei den Forschungseinrichtungen liegt dieser Beitrag pro Projekt bei rund 73.000 Euro.
- ▶ Die durch die LuFo-Förderung ausgelöste Wertschöpfung wirkt mit einem gesamtwirtschaftlichen Multiplikator von

2,0 auf die Produktion, mit einem Multiplikator von 1,9 auf die Bruttowertschöpfung und mit einem Multiplikator von 2,9 auf die Beschäftigung. Unter der Annahme, dass die Zusätzlichkeit der FuE-Ausgaben in erster Linie auf das LuFo zurückzuführen ist, fallen die Multiplikatoren noch höher aus.

- ▶ Insgesamt zeichnet sich ein sehr positives Bild des Luftfahrtforschungsprogramms. Durch die Förderung werden die Programmziele in hohem Maße erreicht, aber auch die Maßnahme selbst wurde wirtschaftlich umgesetzt. LuFo hat ein klares Alleinstellungsmerkmal und grenzt sich dadurch sehr deutlich von anderen Förderprogrammen ab. LuFo wird als branchenspezifisches Programm vom Evaluationsteam nicht in Frage gestellt, vielmehr zielen alle Vorschläge der Projektnehmer wie auch der Expertinnen und Experten auf eine Weiterentwicklung des Förderprogramms ab.
- ▶ Teil der Evaluation sind Handlungsempfehlungen, die sich auf die folgenden Schwerpunkte beziehen: Kleine und mittlere Unternehmen, Spillovers/Technologietransfer, Autonomes und elektrisches Fliegen, künstliche Intelligenz, Gesamtsystemfähigkeit, Zertifizierung, IP-Rechte, Programmlinie Demonstration, Zielsystem und Steuerung und Vernetzung. In dieser Kurzfassung finden sich allein die Kernaussagen zu diesen Themen.



2 Einleitung

Diese Zusammenfassung der Evaluation des Technologieförderprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zur Luftfahrtforschung (LuFo) gliedert sich wie folgt: Auf eine kurze Darstellung der Ziele des LuFo folgt eine Erläuterung zum methodischen Vorgehen bei der Evaluation der Luftfahrtforschungsprogramme IV bis VI. Im anschließenden vierten Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der Evaluation vorgestellt. Aus den Ergebnissen abgeleitete Handlungsempfehlungen schließen den Bericht ab.

2.1 Ziele des Luftfahrtforschungsprogramms

Das Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung fördert Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der zivilen Luftfahrt. Die vier wesentlichen Ziele des Förderprogramms

- 1) Umweltfreundliche Luftfahrt,
- 2) sichere und passagierfreundliche Luftfahrt,
- 3) leistungsfähige und effiziente Luftfahrt und
- 4) Gesamtsystemfähigkeit

sind kongruent zur "Strategic Research and Innovation Agenda" (SRIA) des "Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe" (ACARE) der EU-Kommission, in dessen Rahmen die folgenden fünf zentralen "Challenges" definiert wurden: (1) Adressierung gesellschaftlicher und ökonomischer Bedürfnisse, (2) Aufrechterhaltung und Ausbau der industriellen Technologieführerschaft, (3) Schutz der Umwelt und der Energieversorgung, (4) Gewährleistung von Sicherheit und (5) Priorisierung auf Forschung, Testumgebungen und Bildungssysteme. Die SRIA-Umweltvorgaben (ACARE 2018)¹ wirken sich auf die Technologieentwicklung aus und sind wie folgt spezifiziert:

	2020	2035	2050
Kraftstoffverbrauch*	-43 %	-60 %	-75 %
CO ₂ -Emissionen	-43 %	-60 %	-75 %
No _x -Emissionen	-80 %	-84 %	-90 %
Wahrgenommener Lärm		-55 %	-65 %

Tabelle 1: SRIA-Umweltvorgaben
(*Pro Passagierkilometer, zugrunde gelegt werden die Werte des Jahres 2000)

Weitere Ziele bestehen darin, die Zertifizierungskosten um 50 Prozent zu senken und die Luftfahrt noch sicherer zu machen (Reduktion von Unfällen um 80 Prozent).

Ein ergänzendes Ziel des Luftfahrtforschungsprogramms sind Erhalt und Ausbau der technologischen (Kern-)Fähigkeiten, die notwendig sind, um Produkte und Dienstleistungen für Luftfahrzeuge zu entwickeln. Die Verbreiterung und Vertiefung der Kompetenzen der in der Branche tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie eine weitere Stärkung der Forschungsinfrastruktur sind weitere Ziele.

Das gesamtökonomische Ziel besteht darin, durch LuFo die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu stärken und Arbeitsplätze entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Luftfahrtindustrie von Forschung über Entwicklung und Produktion bis hin zu MRO²-Dienstleistungen in Deutschland zu erhalten und nachhaltig auszubauen. Einen aktuellen Schwerpunkt bildet die Digitalisierung von luftfahrtspezifischen Fertigungsverfahren und Produkten (unter dem Stichwort Industrie 4.0). Als neuer Schwerpunkt ist im LuFo VI die künstliche Intelligenz (KI) hinzugekommen. Der Umwelt- und Nachhaltigkeitsbezug soll im LuFo u. a. durch eine neue Förderlinie „elektrisches/hybrides Fliegen“ weiter ausgebaut werden. Die Programmlinie „disruptive Technologien“ ergänzt den Themenschwerpunkt der bisherigen Förderlinie „ökoeffizientes Fliegen“.

¹ ACARE (2018): Protecting the environment and the energy supply. The goals of Flightpath 2050. Online verfügbar unter <https://www.acare4europe.org/sria/flightpath-2050-goals/protecting-environment-and-energy-supply-0>, zuletzt geprüft am 27.09.2018.

² Maintenance, Repair and Overhaul = Wartung, Reparatur und Instandsetzung/Generalüberholung.

Programm- linien	Disziplinen					
	Passagier- freundliche und ökoeffiziente Kabine	Entwicklung digitaler Ka- binenservices, leistungsfähige, sichere und energieeffizien- te Systeme	Leise und effzi- ente Antriebe	Innovative Strukturen für Starr- und Drehflügler	Flugphysik	Sichere, effiziente und umweltverträg- liche Luftfahrt- prozesse, Flug- führung und Flugsicherung
Ökoeffizien- tes Fliegen	Zuwendungsberechtigt: Wissenschaftseinrichtungen (WIS) (Hochschulen und außeruniversitäre Forschungs- einrichtungen). Maximale Förderquote: 100 %					
KMU	Zuwendungsberechtigt: KMU und WIS. KMU als Verbundführer Maximale Förderquote KMU: 65 % (maximal 500.000 Euro Zuwendung je Partner) Maximale Förderquote WIS: 100 % (maximal 750.000 Euro Zuwendung je Partner)					
Technologie	Zuwendungsberechtigt: Gewerbliche Wirtschaft (Industrie [IND] und KMU) und WIS. Maximale Förderquoten: IND 50 %, KMU 65 % und WIS 100 %. Schwerpunkt bei IND/KMU im Bereich der industriellen Forschung					
Industrie 4.0/MRO						
Demonstra- tion	Zuwendungsberechtigt: IND und KMU. Maximale Förderquoten: IND: 25 %, KMU: 40 %					

Abbildung 1: Programmlinien und Disziplinen des LuFo-Programms (dargestellt für den Call LuFo V-3), Quelle: Eigene Darstellung

Die Themenschwerpunkte der geförderten Vorhaben lassen sich im LuFo unterschiedlichen Programmlinien und Disziplinen zuordnen. Die bisherigen Themen³ sind in Abbildung 1 aufgeführt (Bundesanzeiger 2016)⁴.

Damit fügt sich LuFo in das europäische FuE-Gesamtsystem ein. Auf diesen übergeordneten Zielen aufbauend ist die Schwerpunktsetzung der LuFo-Förderung auf das Innovationssystem und aktuelle Entwicklungen am Industriestandort Deutschland ausgerichtet. Dies wird beispielsweise anhand aktueller Schwerpunktsetzungen im Bereich Industrie 4.0, elektrisch/hybrides Fliegen, Künstliche Intelligenz (KI) sowie der Fokussierung auf KMU ersichtlich.

2.2 Volkswirtschaftliche Bedeutung der Technologieförderung

Voraussetzung für die staatliche Unterstützung durch Förderinstrumente ist das Vorliegen von Marktversagen. In diesen Fällen ist eine wettbewerbliche Struktur entweder nicht möglich oder nicht effizient, sodass zielgerichtete staatliche Eingriffe in den Markt sinnvoll sein können, da sie allgemein wohlfahrtssteigernd wirken. Die in der ökonomischen Literatur diskutierten Gründe für Marktversagen sind natürliche Monopole und Unteilbarkeiten, Externalitäten und Informationsasymmetrien (Fritsch 2014)⁵. Dabei sind für Technologieentwicklungen in der Luftfahrtindustrie besonders Externalitäten bedeutsam. Externalitäten können positiv wirken, wie beispielsweise im Fall von technologischen Überwälzungen (Spillover) in andere Branchen, oder aber negativ, wie beispielsweise im Fall von umwelt-schädigenden Schadstoffemissionen.

3 Aktuelle Änderungen im LuFo VI ausgenommen.

4 Bundesanzeiger (2016): Bekanntmachung zur Förderung von Forschungs- und Technologievorhaben im Rahmen des fünften nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms: Dritter Programmaufruf. Online verfügbar unter www.dlr.de/pt-lf/Portaldata/50/Resources/dokumente/lufo-v/Bekanntmachung_LuFo_V-3.pdf, zuletzt geprüft am 27.09.2018.

5 Fritsch, Michael (2014): Marktversagen und Wirtschaftspolitik. Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns. 9. Aufl. München: Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften



Zum Thema technologischer Überwälzungen stellt die EU-Kommission fest, dass die Luftfahrtindustrie eine Schlüsseltechnologie ist, die in verschiedener Hinsicht positive Externalitäten generiert (vgl. KOM 2005). Dies gilt grundsätzlich für die Entwicklung und den Bau von Luftfahrzeugen und die damit einhergehenden intersektoralen Wissens- und Technologie-Spillover, die durch die enge Verknüpfung zwischen den OEM und den nachgelagerten Luftfahrzeugausrüstern (Tier-1 bis Tier-n) begünstigt werden. Positive Externalitäten entstehen auch durch Spin-offs aus den Luftfahrtunternehmen heraus.

Wissens- und Technologie-Spillover sind jedoch auch intersektoral zu beobachten und werden dadurch unterstützt, dass beispielsweise Luftfahrzeugausrüster als Hochtechnologieunternehmen häufig in unterschiedlichen Industriekontexten aktiv sind und Schlüsseltechnologien mit hoher volkswirtschaftlicher Relevanz herstellen, die über die Luftfahrtbranche hinausgehen. Damit hat die Luftfahrtindustrie nicht nur eine sektorspezifische Bedeutung (Luftfahrtunternehmen, Luftverkehrsinfrastruktur), sondern ist übergreifend bedeutender Impulsgeber für die nationalen Innovationssysteme.

Durch die beschriebenen Wissens- und Technologie-Spillover erhalten die forschenden Unternehmen nicht alle Erträge aus ihrer Forschungsaktivität, sondern nur kleine Teile. Dies führt dazu, dass die Ausgaben für Forschung und Entwicklung zu gering ausfallen (Arrow 1962)⁶. Um die Innovationen auf ein gesellschaftlich erwünschtes Maß anzuheben sind staatliche Unterstützungen notwendig.

In den letzten Jahren hat sich der Fokus der Luftfahrtforschung stark in den Umweltbereich verlagert, um damit zielgerichtet die gesellschaftlichen Anforderungen zu adressieren. So muss die Umweltverträglichkeit des Fliegens zum Beispiel durch Effizienzsteigerungen beim Treibstoffverbrauch oder durch die Reduktion der Lärmbelastigung verbessert werden. Die Ziele bezüglich der Reduktion von negativen Umweltexternalitäten sind u.a. in der Clean Sky/Clean Sky II-Initiative zusammengefasst (Europäische Kommission 2007)⁷. Dabei besteht das Problem, dass die Reduktion der negativen Externalitäten zwar einen gesellschaftlich wichtigen Nutzen stiftet, dieser aber nicht monetär entlohnt wird. Insofern ist auch hier davon auszugehen, dass die Ausgaben für FuE zu gering ausfallen.

Hinsichtlich der Innovationen im Umweltbereich ist somit mit einem doppelten Marktversagen zu rechnen: Die Innovationen sind grundsätzlich zu gering und die im Umweltbereich sind dies in besonderem Maße. Ohne zusätzliche staatliche Anreize wäre deshalb mit zu geringen umweltrelevanten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Luftfahrt zu rechnen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass eine gezielte Förderung der Forschung und Entwicklung zur Steigerung des umweltverträglichen Fliegens zu einer doppelten Dividende für die Gesellschaft über zusätzliche FuE-Leistungen und Umweltinnovationen führt.

6 Arrow, Kenneth Joseph (1962): Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In: Richard Robinson Nelson (Hg.): The Rate and Direction of Innovative Activity: Economic and Social Factors. Princeton, S. 609–625.

7 Europäische Kommission (2007): Verordnung des Rates zur Gründung eines gemeinsamen Unternehmens zur Umsetzung der Technologieinitiative „Clean Sky“. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2007/DE/1-2007-315-DE-F1-1.Pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2018.

3 Methodisches Vorgehen

Aufgabe war es, LuFo V-2 und V-3 (2015-2022) begleitend zu evaluieren sowie für LuFo IV-1 - IV-3 und V-1 (2007-2018) eine Ex-post-Evaluation vorzunehmen. Die Aufgabe umfasst zudem eine Ex-ante-Evaluation für das aktuelle Luftfahrtforschungsprogramm VI für die Förderperiode ab 2019.

Für die Ex-post-Evaluation standen dabei Zielerreichung und Wirksamkeit des Programms im Fokus der Betrachtungen, bei der begleitenden Evaluation kamen neben dem aktuellen Projektfortschritt Fragen der Vernetzung der Akteure sowie die Analyse von Steuerungsmöglichkeiten im laufenden Programm hinzu. Die Ex-ante-Evaluation liefert Ergebnisse für die inhaltliche Fokussierung des Programms ebenso wie für eine passgenaue Weiterentwicklung des Programmdesigns und der Förderinstrumente. Sie berücksichtigt dabei die bereits geleisteten Vorarbeiten, bpsw. des Bundesverbands BDLI (Technologie-Roadmap) zur Eruiierung des aktuellen und zukünftigen Forschungsbedarfs im Luftfahrtbereich sowie die vorliegende Programmplanung.

Anspruch der Evaluation ist es darüber hinaus Hinweise zu liefern, ob bzw. inwiefern die Vorgaben von § 7 Abs. 2 BHO hinsichtlich Zielerreichung, Wirkungskontrolle und Wirtschaftlichkeit (Maßnahmen- und Vollzugswirtschaftlichkeit) der Förderung erfüllt werden.

Die Evaluation erfolgte auf Basis eines theoriebasierten Wirkungsmodells, das die Grundlage für ein sektorspezifisches, indikatorgestütztes Evaluierungssystem bildete. Zu den Datenquellen der Evaluation gehören LuFo-Förderdaten und Auswertungen der Profi-Datenbank (Projektförderinformationssystem – profi), EU-Förderdaten der Cordis-Datenbank, Sekundärmaterial (Studien, Statistiken, etc.) sowie Interviews mit 36 Expertinnen und Experten. Hinzu kam eine Expertenrunde in Berlin, die Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbände abdeckte und Interviews mit dem Projektträger Luftfahrtforschung PT-LF sowie dem Referat. Eine weitere wichtige Datenquelle ist die Online-Befragung aller Fördernehmer. Bei Rücklaufquoten zwischen 60,9 und 80,4 Prozent auf Ebene der Verbundvorhaben können sehr verlässliche Angaben zu den Resultaten des Programms auf der Ebene der Forschungs- und Entwicklungsprojekte gemacht werden.

4 Zentrale Ergebnisse

Die hier folgenden Abschnitte fassen die zentralen Evaluationsergebnisse zusammen, insbesondere: Kontextbetrachtung, Charakterisierung der Fördernehmer und des Programms, Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsprojekte, Wirkungen des Luftfahrtforschungsprogramms bei den Zielgruppen, Ergebnisse der Förderung auf Programmebene, gesamtwirtschaftliche Effekte der Forschungs- und Entwicklungsausgaben und Wirtschaftlichkeitskontrolle.

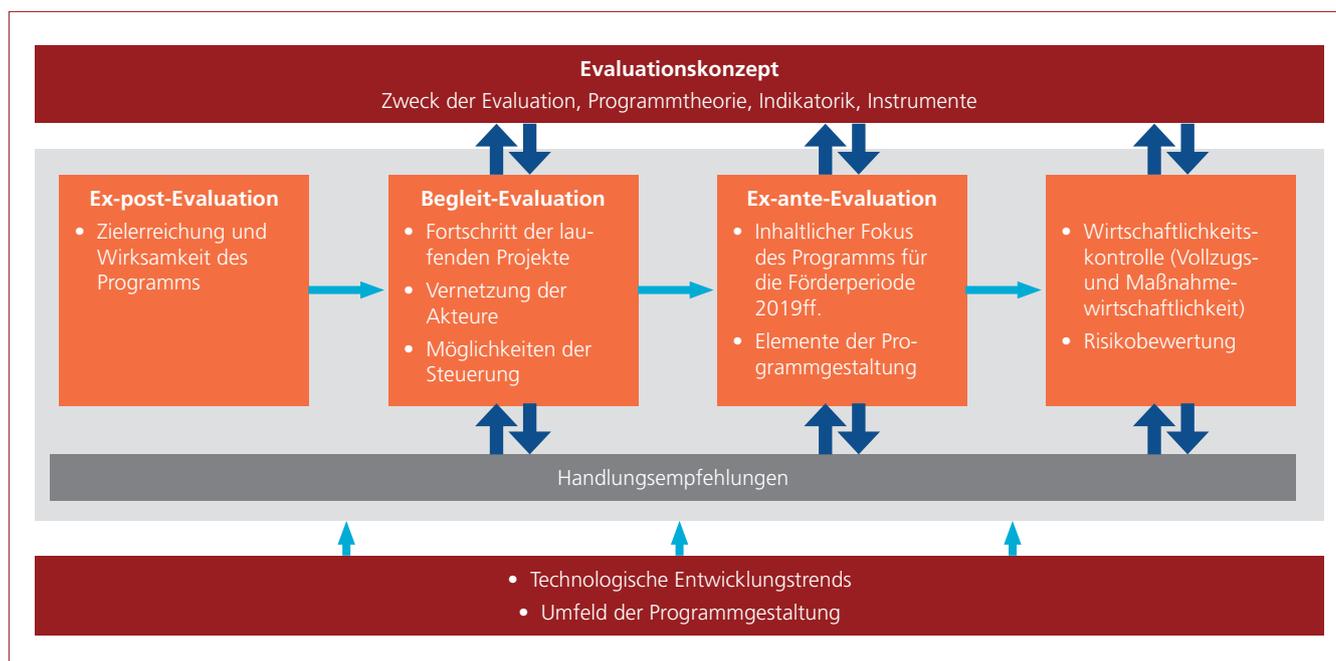


Abbildung 2: Wesentliche Arbeitspakete der Evaluation, Quelle: Eigene Darstellung



4.1 Kontextbetrachtung

Die Luftfahrtbranche hat sich in den vergangenen Jahren positiv entwickelt, was sich eindrücklich im Wachstum von Umsatz und Beschäftigung manifestiert. Bei einem global weiter stark steigenden Mobilitätsbedürfnis bestehen auch zukünftig gute Wachstumsaussichten. Grundlage für die positive Entwicklung der Luftfahrtbranche in Deutschland sind hohe Ausgaben für Forschung und Entwicklung/Technologie.

Die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken für die Luftfahrtindustrie und Luftfahrtforschung in Deutschland sind in der nebenstehenden SWOT-Analyse zusammengefasst.

Die SWOT-Analyse zeigt, dass die Luftfahrtbranche und die Luftfahrtforschung in Deutschland insgesamt gut aufgestellt sind. In der Vergangenheit war – aufbauend auf bestehenden Stärken – ein Wachstum innerhalb des Luftfahrtsektors zu beobachten. Es zeigen sich jedoch auch Schwächen und Risiken für die Luftfahrtbranche und das Forschungs- und Innovationssystem. Daraus ergibt sich politischer Handlungsbedarf zur Stärkung der Branche.

Teil der Analyse ist die Betrachtung der Gesamtsystemfähigkeit. Diese kann in drei zentralen Ausprägungen auftreten: Beurteilungsfähigkeit, Spezifikationsfähigkeit und Umsetzungsfähigkeit. Relativ gut aufgestellt ist Deutschland im Bereich der Spezifikationsfähigkeit und Beurteilungsfähigkeit. Hinsichtlich der Umsetzungsfähigkeit hat das Luftfahrtinnovationssystem in Deutschland hingegen Defizite. Es gibt jedoch erste Anzeichen dafür, dass perspektivisch die Beurteilungsfähigkeit zurückgehen könnte, weil es auch in ausgewählten Feldern der Luftfahrtforschung an Hochschulen immer schwieriger wird, Lehrstühle zu besetzen, worunter längerfristig die Ausbildung von Fachkräften leidet (Levedag et al. 2018)⁸. Aktuelle Entwicklungen hin zu neuen Luftfahrzeugen eröffnen Chancen, um künftig im Bereich der Gesamtsystemfähigkeit insbesondere bei der Umsetzungsfähigkeit wieder Impulse zu setzen. Dies würde sich positiv auf den Erhalt der Gesamtsystemfähigkeit auswirken.

Die einzelnen LuFo-Disziplinen sind weit gefasst und decken damit die relevanten Entwicklungsschwerpunkte ab, um die Gesamtsystemfähigkeit hinsichtlich Beurteilungs- und Spezifikationsfähigkeit bei der Entwicklung von Luftfahrzeugen zu erhalten. Zentral für die Weiterentwicklung der für LuFo relevanten Technologieschwerpunkte ist die Roadmap des BDLI. Die führenden Luftfahrtunternehmen aus Deutschland haben dadurch die Möglichkeit, sehr gezielt Einfluss auf die zukünftigen

Technologie-Roadmaps zu nehmen. Weil für die strategische Ausrichtung die ACARE-Ziele der EU-Kommission maßgeblich sind, sind grundsätzlich wichtige Voraussetzungen gegeben, um die Technologieentwicklungen über LuFo hinaus passfähig für die EU-Förderung im Rahmen von Clean Sky (CS) voranzutreiben.

Bei der Analyse der EU-Förderung durch Clean Sky zeigt sich, dass Unternehmen aus Frankreich insgesamt am stärksten von der EU-Förderung profitieren. Bei den Forschungseinrichtungen ist ein anderes Bild zu beobachten. Hier sind die Akteure aus Deutschland gefragte internationale Kooperationspartner (zu nennen sind insbesondere das DLR, Fraunhofer wie auch die technischen Universitäten). Der EU-Vergleich macht deutlich, dass Deutschland in Relation zu führenden Ländern wie Frankreich und Großbritannien weiterhin Entwicklungspotenzial hat. Zwar gelingt es einzelnen nationalen Akteuren bisher gut, sich in die EU-Förderung im Rahmen von CS zu integrieren, doch wird von den Luftfahrtunternehmen aus Deutschland das mit der EU-Förderung verbundene Potenzial insgesamt zu wenig ausgeschöpft.

4.2 Charakterisierung der Fördernehmer und des Programms

2.097 Projekte mit einem Gesamtvolumen in Höhe von 3.246 Mio. Euro wurden zwischen 2007 und Mitte 2018 bewilligt und mit Programmmitteln in Höhe von 1.781 Mio. Euro unterstützt. Ergänzend wurden und werden von den geförderten Unternehmen private Mittel im Umfang von 1.464 Mio. Euro eingesetzt. Der durchschnittliche Förderanteil beträgt 55 Prozent, er ist über die Aufrufe angestiegen, was auf eine stärkere Beteiligung von KMU und Forschungseinrichtungen zurückzuführen ist. Knapp die Hälfte der Einzelprojekte wird von Großunternehmen, ein gutes Drittel von Wissenschaftseinrichtungen und etwa 16 Prozent von KMU durchgeführt. Die Anteile der KMU und der Wissenschaftseinrichtungen an den Programmmitteln sind über die Aufrufe kontinuierlich gestiegen. Die Programmmittel für KMU haben sich seit LuFo IV-1 fast verfünffacht, die FuE-Investitionen der KMU sind ähnlich stark gestiegen. KMU wurden zuletzt in vier Programmlinien gefördert, wobei die Programmlinien „KMU“, und „Technologie“ die zentralen Träger der KMU-Förderung sind.

⁸ Levedag, Stefan; Klingauf, Uwe; Hornung, Mirko; Klenner, Jürgen; Messerschmid, Ernst; Radespiel, Rolf (2018): Zukunftsfähigkeit der Luftfahrtforschung in Deutschland. In: Leopoldina (Diskussion Nr. 17). Online verfügbar unter https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2018_Diskussionspapier_Luftfahrtforschung.pdf, zuletzt geprüft am 04.10.2018.

Stärken	Schwächen
<p>Luftfahrtindustrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Wertschöpfung und Beschäftigung in einem wachsenden Markt ▶ Hohes Wachstum durch global steigende Mobilitätsnachfrage ▶ Hohe Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie aufgrund <ul style="list-style-type: none"> • einer sehr guten Ausbildung der Ingenieure und Facharbeiter • sehr effizienter Produktionsprozesse • hoher FuE-Investitionen <p>Luftfahrtforschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ LuFo wird als strukturell relevant wahrgenommen und zwingt zu einer langfristigen Forschungsstrategie, bei der auch die Grundlagenforschung einbezogen wird ▶ Förderung auch höherer TRL-Stufen ▶ Förderung von Forschungsvorhaben zur Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen ▶ Breite und langfristig angelegte Forschungsförderung durch das LuFo ▶ Effiziente Strukturen im LuFo, insbesondere gute Informationen und Betreuung durch den Projektträger 	<p>Luftfahrtindustrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ In den letzten Jahren sind die FuE-Investitionen zurückgegangen ▶ Kleinteilige Zuliefererstruktur ▶ Innovationen bei den Luftfahrzeugen eher inkrementell ▶ Die Gesamtsystemfähigkeit ist gefährdet (oder in bestimmten Ausprägungen nicht mehr vorhanden) ▶ Aufgrund kleiner Serien geringere Möglichkeiten über Standardisierung und Automatisierung Effizienzfortschritte zu erzielen ▶ Schwierigkeiten, technologische Entwicklungen in andere Branchen zu transferieren <p>Luftfahrtforschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hohe Einstiegshürden für KMU ▶ Geringer Anteil an interdisziplinärer Forschung ▶ Lange Antrags- und Planungszeiten ▶ Hoher administrativer Aufwand
Chancen	Risiken
<p>Luftfahrtindustrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Weiterhin hohes Wachstum aufgrund weiter zunehmender Mobilitätsbedürfnisse ▶ Weitere Effizienzsteigerungen insbesondere im Zusammenhang mit Produktionsverfahren aus dem Bereich Industrie 4.0 sind möglich <p>Luftfahrtforschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Gute Positionierung der Branchen in Zukunftsthemen der Luftfahrt (autonomes Fliegen, alternative Antriebe), aber auch bei Technologien für den Produktionsprozess (Bereich Industrie 4.0/KI) 	<p>Luftfahrtindustrie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Gefahr eines Akzeptanzverlustes durch Verfehlen von Umweltzielen ▶ Fachkräftemangel aufgrund der demografischen Entwicklung und fehlender Attraktivität von MINT-Fächern ▶ Verlust an Wettbewerbsfähigkeit aufgrund zurückgehender Kompetenzen ▶ Ein Rückgang der Gesamtsystemfähigkeit reduziert die Attraktivität der Ausbildung <p>Luftfahrtforschung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Schneller Wechsel der Forschungsthemen ▶ Zunehmende Verlagerung von Forschungsaktivitäten auf nachgelagerte Luftfahrzeugausrüster und damit erhöhte Entwicklungsrisiken entlang der Wertschöpfungskette

Tabelle 2: SWOT-Analyse, Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Förderprozesse

Insgesamt werden die Verfahren bei LuFo V von den Fördernehmern relativ gut bewertet (Durchschnitt: 2,5). Im Vergleich zu ähnlichen Programmen liegt LuFo V damit im Durchschnitt. Die Unterstützungs- und Beratungsleistungen des PT-LF werden von allen Akteursgruppen als sehr angemessen wahrgenommen. Bei den Experteninterviews hat sich die überwiegende Mehrheit der Großunternehmen, wissenschaftlichen Einrichtungen, der Verbände und ein Großteil der KMU grundsätzlich zufrieden mit dem Förderverfahren von LuFo V gezeigt. Die Verfahren werden überwiegend als angemessen eingeordnet.

4.4 Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsprojekte

Die von den einzelnen Projekten angestrebten Ziele sind sowohl auf die für Technologieförderprogramme typischen Aspekte (Entwicklung neuer und Verbesserung vorhandener Technolo-

gien) gerichtet, als auch auf Aspekte, die die Branchenfokussierung mit sich bringt (Erhalt und Verbesserung der eigenen Position in Markt und wissenschaftlicher Community). Damit ergibt sich ein stimmiges Bild für ein branchenspezifisches Technologieförderprogramm. Die von den Projekten angestrebten Ziele werden in hohem Maße erreicht. Die Erweiterung des Grundlagenwissens und die Verbesserung bestehender Technologien liegen in der Rangliste noch vor der Entwicklung neuer Technologien. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Neuentwicklungen grundsätzlich mit höheren Unsicherheiten und Risiken behaftet sind. Wissenszuwachs und inkrementelle Verbesserung sind bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten leichter zu realisieren. Die Verbesserung der eigenen Position fällt bei den Unternehmen in der Rangliste der erzielten Ergebnisse hinter die Erreichung technologisch-inhaltlicher Ziele zurück.

In den LuFo-geförderten Projekten werden Technologien über mehrere Technologiereifegrade (TRL)⁹ weiterentwickelt, am häufigsten über zwei TRL. Die Angaben für die angestrebten (orange) und tatsächlich erreichten Technologiereifegrade

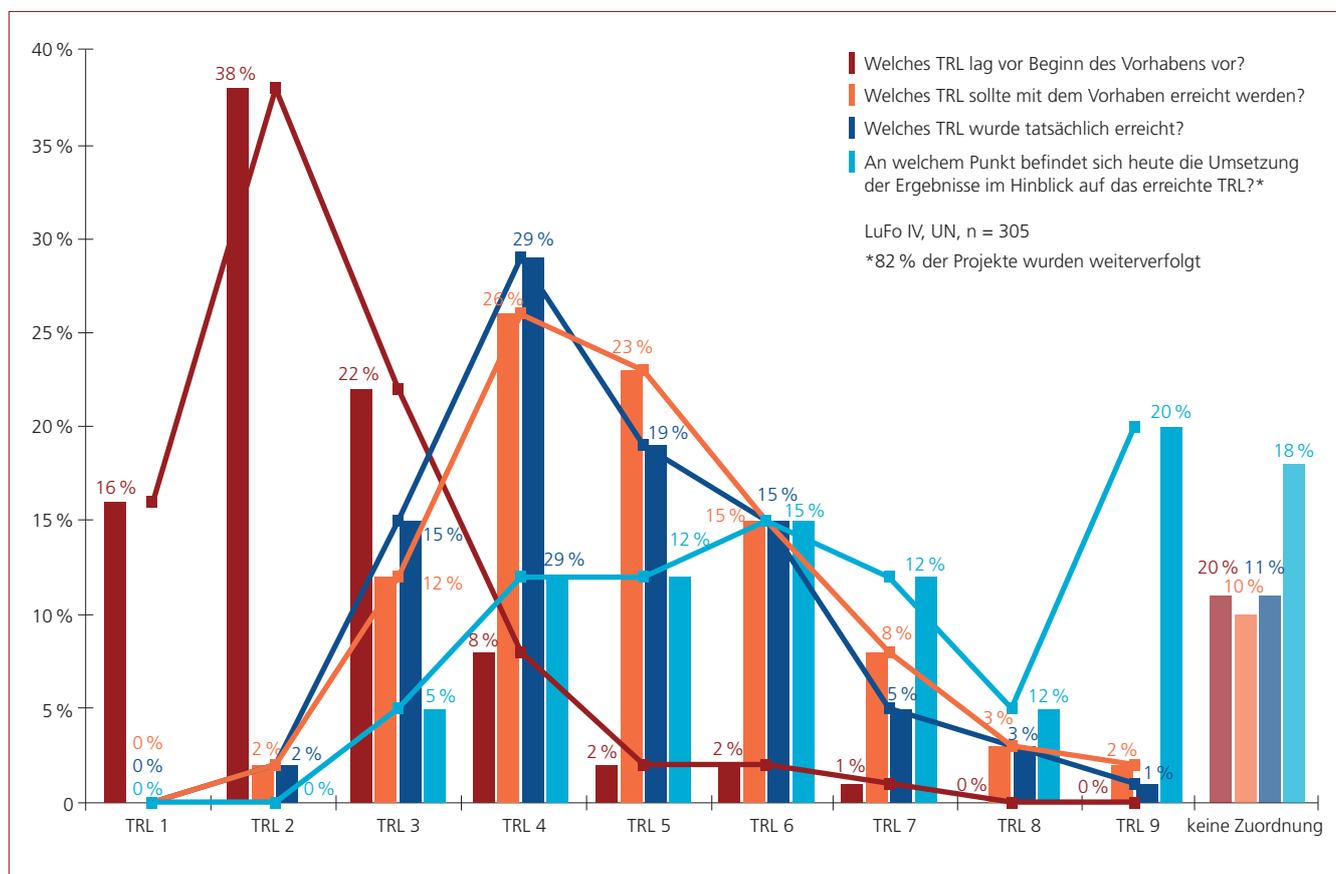


Abbildung 3: Stand der Technologiereifegrade der Projekte in Unternehmen zum Befragungszeitpunkt, Quelle: Eigene Darstellung

9 TRL steht für "Technology Readiness Level".

(dunkelblau) liegen eng beieinander: 75 Prozent der Projekte erzielen das TRL, das sie angestrebt haben. Die geförderten Technologien sind für Unternehmen und Forschungseinrichtungen so relevant, dass sie weiter bearbeitet werden. In über 84 Prozent der Fälle führen Unternehmen nach Ende der Förderung die Themen fort. 20 Prozent dieser Projekte haben zum Befragungszeitpunkt Marktreife erlangt.

Bei den Forschungseinrichtungen werden 85 Prozent der Projektthemen weiterbearbeitet. Hier werden – wie für Forschungseinrichtungen zu erwarten – zum Befragungszeitpunkt kaum TRL über 6 erzielt.

Nahezu alle Projekte werden von den Forschungseinrichtungen auf Fachkongressen vorgestellt und auch wissenschaftliche Publikationen sind ein weit verbreiteter Weg des Ergebnistransfers. 71 Prozent der Unternehmen präsentieren ihre Ergebnisse auf Fachkongressen oder publizieren sie in Fachzeitschriften (62 Prozent). Ergebnistransfer in Form von Patentierungen erfolgt in 30 Prozent der Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Bei diesen Unternehmen werden durchschnittlich rund 4,5 Patente pro Projekt angemeldet, bei den Forschungseinrichtungen liegt der Schnitt bei 1,3 Patenten.

Zum Transfer der Ergebnisse in andere Einrichtungen und Branchen tragen die Forschungseinrichtungen in stärkerem Maße bei als die Unternehmen. Die in LuFo erarbeiteten technologischen Ergebnisse werden zu über 80 Prozent auch außerhalb der eigenen Einrichtung weiter genutzt. Dabei profitieren insbesondere andere Einrichtungen der Luftfahrt von den Entwicklungen. Eine Nutzung in anderen Branchen findet bei 20 Prozent der Projektergebnisse statt.

LuFo-Projekte leisten einen wichtigen Beitrag zur Qualifizierung des akademischen Nachwuchses in der Luftfahrtbranche. In fast 50 Prozent der Projekte in Unternehmen und in über 80 Prozent der Projekte in Forschungseinrichtungen werden Studienabschlussarbeiten angefertigt. Bis zu drei Viertel des akademischen Nachwuchses findet eine berufliche Perspektive in der Luftfahrtforschung oder -industrie. In einem Fünftel der Projekte in Unternehmen und in gut der Hälfte der Projekte in Forschungseinrichtungen werden zudem Promotionen angefertigt. 70 bis 80 Prozent der jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bleiben in der Luftfahrtbranche tätig.

Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit in Verbundprojekten resultieren – wie bei anderen Technologieprogrammen – oft aus der Änderung von Zielen und Prioritäten bei Projektpartnern. Auffällig ist beim Luftfahrtforschungsprogramm jedoch, dass hier häufig auch Änderungen von Zielen und Prioritäten in den eigenen Unternehmen als Schwierigkeit gewertet werden. Auch die mangelnde Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal im eigenen Unternehmen stellt eine Herausforderung dar.

Durch das Luftfahrtforschungsprogramm werden langfristige Kooperationsbeziehungen gefördert. Über die Hälfte der Projekte berichtet, dass aus ihnen dauerhafte Partnerschaften erwachsen sind. In diese Netzwerke sind nicht nur Unternehmen, sondern auch Forschungseinrichtungen fest eingebunden.

Der mit Abstand wichtigste Nutzen der Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die Unternehmen liegt in der Entwicklung neuer Produkte und Prozesse, an zweiter Stelle folgt die Verbesserung existierender Produkte und Prozesse. Mit dem Luftfahrtforschungsprogramm werden Innovationen gefördert.

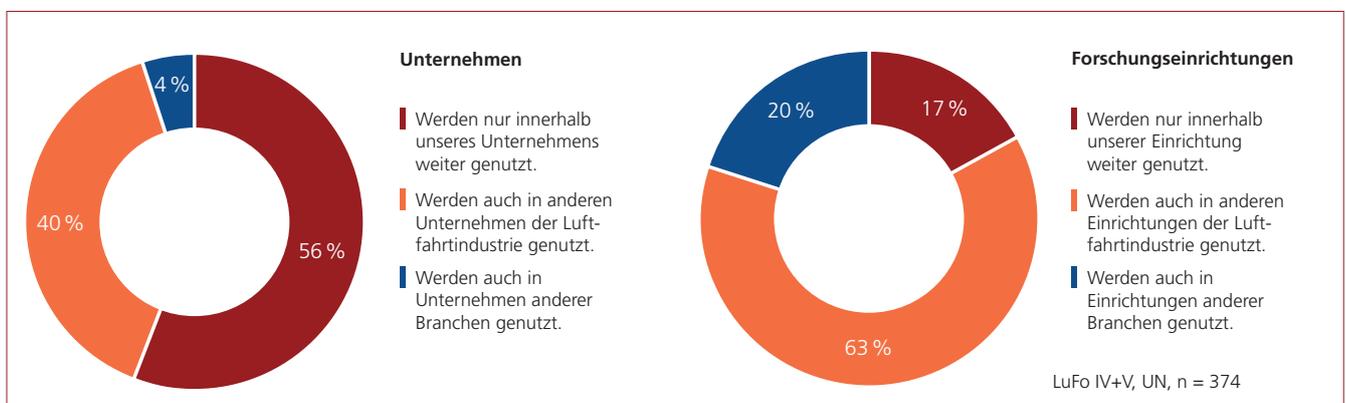


Abbildung 4: Technologischer Spillover von Ergebnissen der Forschungsprojekte, Quelle: Eigene Darstellung

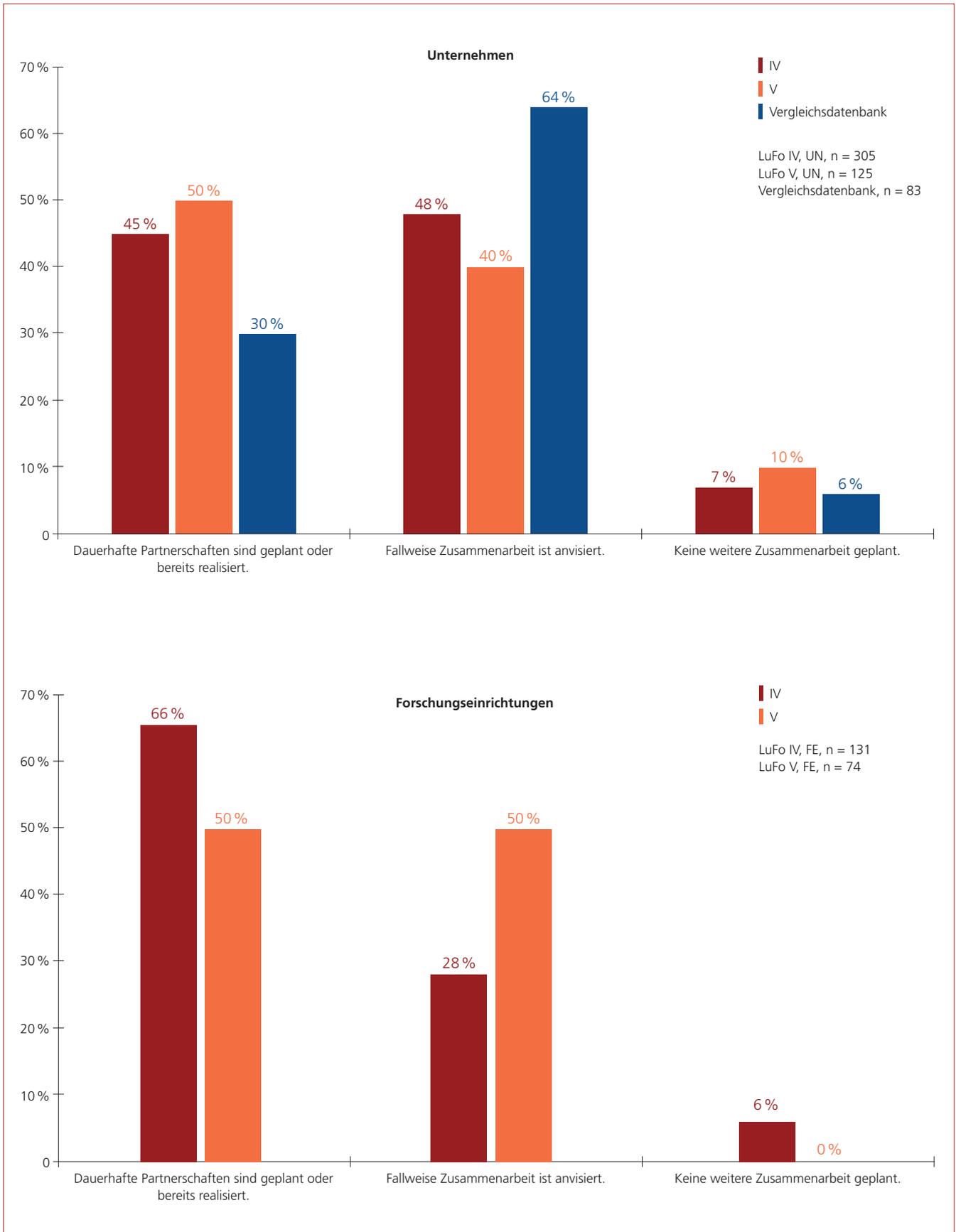


Abbildung 5: Fortsetzung der Kooperation nach Abschluss des Projektes, Quelle: Eigene Darstellung

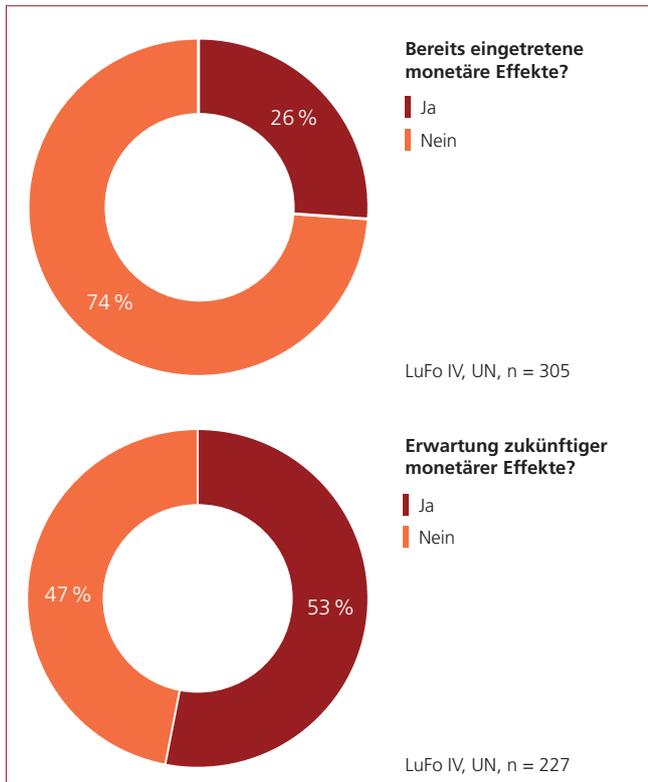


Abbildung 6: Eingetretene und erwartete zukünftige monetäre Effekte aufgrund der geförderten Vorhaben, Quelle: Eigene Darstellung

Obwohl in der Luftfahrt besonders lange Entwicklungszeiten üblich sind, bevor Entwicklungen Marktreife erlangen, haben bereits über ein Viertel der LuFo-IV-Projekte monetäre Effekte für die beteiligten Unternehmen erzielt. Für Projekte, denen

zum Befragungszeitpunkt noch keine ökonomischen Effekte zugeordnet werden konnten, werden jedoch mehrheitlich in den nächsten fünf Jahren noch Wirkungen erwartet. Eine eindeutige Quantifizierung dieser Effekte fällt den Antwortenden schwer.

Bei allen Schwierigkeiten, die ökonomischen Effekte im Einzelfall abzuschätzen, zeigt auch die Frage nach den Effekten im Vergleich zum Projektbudget die hohen Risiken, die mit FuE-Vorhaben in der Luftfahrt verbunden sind. Jedoch gibt knapp die Hälfte aller Antwortenden an, dass der finanzielle Vorteil, der sich aus dem Vorhaben ergibt, deutlich höher ausfällt, als die dafür getätigten Investitionen.

Auch in den Forschungseinrichtungen werden monetäre Effekte erzielt. Diese treten zeitlich früher ein als bei Unternehmen. Wie bei den Unternehmen machen nur wenige Forschungseinrichtungen Angaben zu in Euro messbaren Effekten. Finanziell am bedeutendsten sind die Einwerbung von Mitteln aus weiteren Förderprojekten, aus EU-Programmen, LuFo und anderen Bundes- und Landesprogrammen sowie Aufträge aus der Industrie.

Drei Viertel der Projekte führen in den Unternehmen zu einer Sicherung vorhandener Arbeitsplätze. Knapp die Hälfte der Befragten berichtet von zusätzlich geschaffenen Arbeitsplätzen.

Die Verwertung der Ergebnisse erfolgt zu 58 Prozent vollständig in der zivilen Luftfahrt. Teilweise werden die Ergebnisse auch in anderen Bereichen verwertet (zu 20 Prozent). Somit findet durch LuFo eine zielgerichtete Branchenförderung statt.

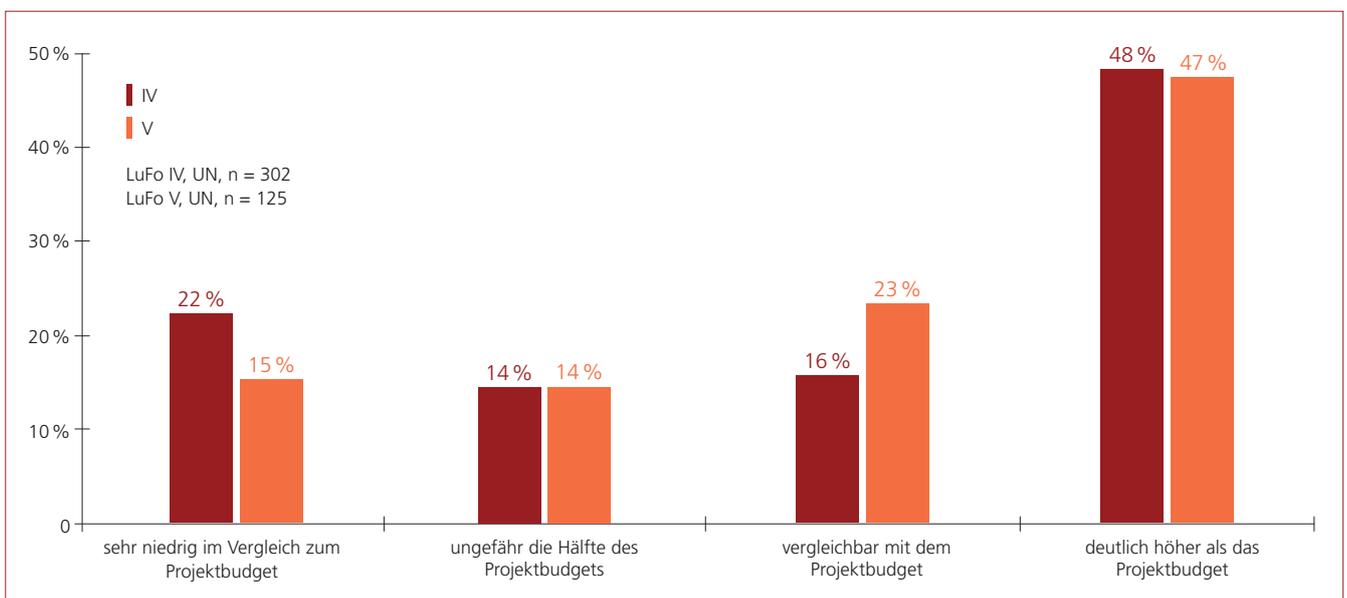


Abbildung 7: Finanzieller Vorteil für das Unternehmen in Relation zu den Kosten des Verbundvorhabens, Quelle: Eigene Darstellung

4.5 Wirkungen des Luftfahrtforschungsprogramms bei den Zielgruppen

Die von den Unternehmen beschriebenen Wirkungen des Luftfahrtforschungsprogramms sind stark auf den Erhalt der Forschungskompetenzen ausgerichtet. Es geht weniger um kurzfristige Markterfolge als vielmehr um den langfristigen Erhalt der Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit. Dies drückt sich im Anstoßen von Verbesserungen im Unternehmen aufgrund der Teilnahme am Luftfahrtforschungsprogramm aus.

Die wesentlichen Hindernisse für eine stärkere Umsetzung von Innovationen sind die für die Luftfahrt typischen hohen Investitionskosten, das wirtschaftliche Risiko und fehlende Finanzierungsmöglichkeiten. Als ein auf die Besonderheiten der Branche zugeschnittenes Programm setzt LuFo an diesen Stellen an.

Die im LuFo geförderten Unternehmen weisen in allen Dimensionen eine vergleichsweise hohe Innovationsfähigkeit auf. Sie schreiben zudem der Programmteilnahme jeweils eine deutlich positive Wirkung auf die Entwicklung der Innovationsfähigkeit zu. Für alle zentralen Merkmale der Innovationsfähigkeit ist zwischen Projektanfang und Projektende ein Zuwachs zu beobachten, der bei den Unternehmen zu knapp einem Drittel direkt

der Teilnahme am LuFo zugeschrieben wird. Die Forschungseinrichtungen nehmen eine wichtige Rolle in Bezug auf die Stärkung der Innovationsfähigkeit von Unternehmen ein. Einen besonders wichtigen Beitrag leisten die Forschungseinrichtungen beim Transfer aus anderen Branchen in die Luftfahrt hinein, sowie der Verbindung von Forschungsfeldern, die thematisch weit auseinander liegen.

Für die Forschungseinrichtungen ist das Luftfahrtforschungsprogramm von besonderer Bedeutung. Wirkungen auf den Erhalt und die Verbesserung der eigenen Position innerhalb der Scientific Community werden viel stärker als bei den Unternehmen und im Vergleich zu anderen Technologieprogrammen direkt auf das Luftfahrtforschungsprogramm zurückgeführt. Andere Projekte anzustoßen, die das Forschungsprofil in der Luftfahrtforschung weiterentwickeln, und eine Spitzenposition in der internationalen wissenschaftlichen Community sind die wichtigsten Effekte der Teilnahme am LuFo.

4.6 Ergebnisse der Förderung auf Programmebene

Seit dem ersten Aufruf von LuFo V werden explizit vier langfristig gültige Ziele verfolgt. Knapp zwei Drittel der Projekte

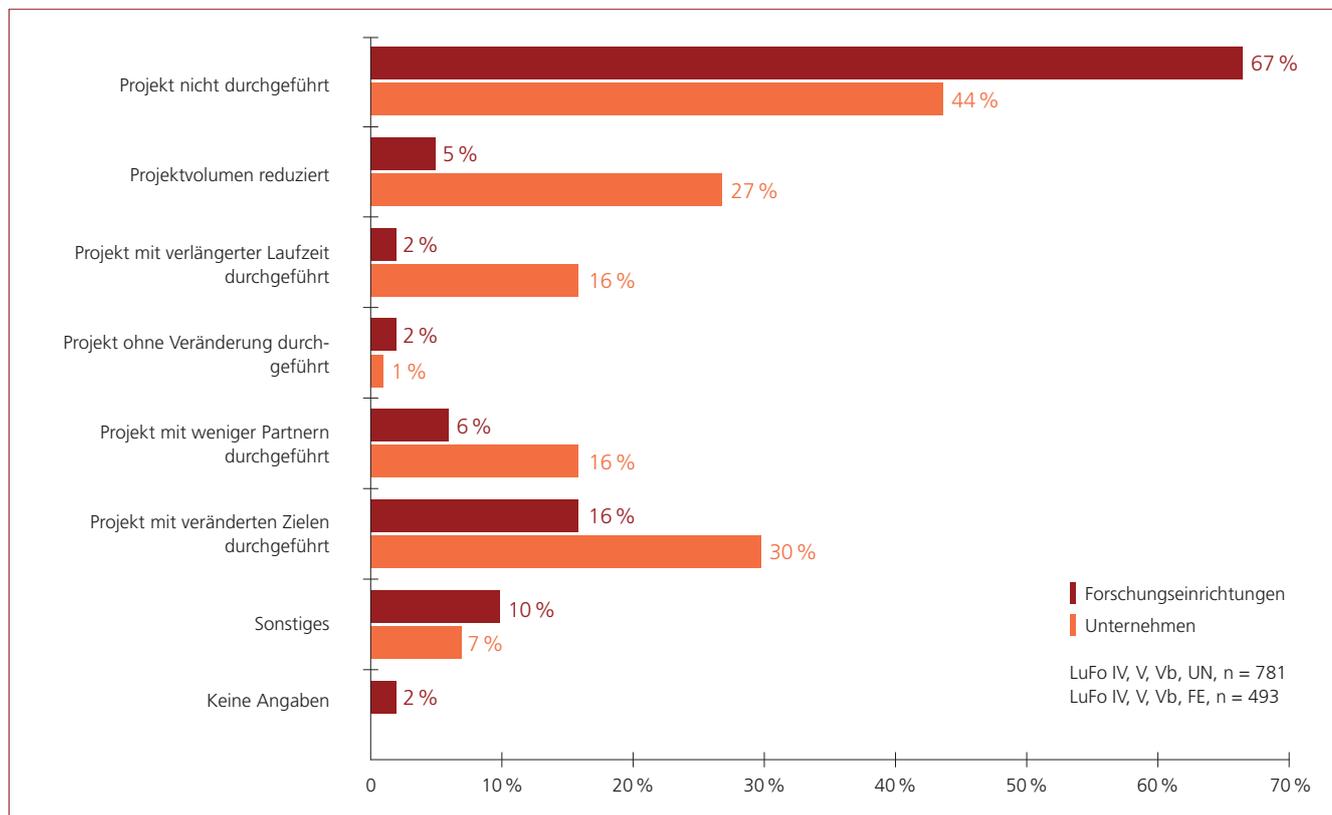


Abbildung 8: Reaktion bei Ablehnung des Projektantrags, Quelle: Eigene Darstellung

geben an, zu einer leistungsfähigen und effizienten Luftfahrtindustrie beitragen zu können. An zweiter Stelle der Nennungen steht das Programmziel „umweltfreundliche Luftfahrt“. Es folgt das Programmziel „Gesamtsystemfähigkeit“. Zu dem Ziel „Sicherheit und Passagierfreundlichkeit“ tragen mit unter 30 Prozent die wenigsten Vorhaben bei. Als weitere Ziele, die mit LuFo erreicht werden, benennen die befragten Unternehmen die Vernetzung von Forschung und Industrie, die Ausbildung von akademischem Nachwuchs, die Stärkung von KMU und Zulieferern sowie eine Stärkung der Forschungsorientierung in Unternehmen.

Insgesamt ist von geringen Mitnahmeeffekten auszugehen: Laut Befragungsergebnis hätten nur in einem Prozent (Unternehmen) bzw. 2 Prozent der Fälle (Forschungseinrichtungen) die Projekte auch ohne die Förderung in unveränderter Weise durchgeführt werden können. Eine Anreizwirkung der Projekte kann gezeigt werden: Von den Unternehmen werden im Durchschnitt 114.000 Euro zusätzlich, über das Projektbudget (Eigenmittel plus Förderung) hinausgehend, pro Projekt zur Verfügung gestellt. Bei den Forschungseinrichtungen liegt dieser Betrag pro Projekt bei rund 73.000 Euro.

Die wichtigsten Aspekte des Luftfahrtforschungsprogramms für die Unternehmen sind neben der finanziellen Unterstützung die durch das Programm ermöglichte Kooperation mit nationalen Partnern, der Aufbau fachbezogener Netzwerke sowie der Branchenfokus des Programms.

Als Verbesserungsvorschläge für das Programm werden neben einer Aufstockung der Fördermittel eine Ausweitung innovationsunterstützender, fachlich vernetzender Maßnahmen genannt sowie eine Stärkung der internationalen Zusammenarbeit.

4.7 Gesamtwirtschaftliche Effekte

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Forschungs- und Entwicklungsausgaben wurden mit Hilfe der Input-Output-Analyse bestimmt. Demnach wirkt die durch die LuFo-Förderung ausgelöste Wertschöpfung mit einem gesamtwirtschaftlichen Multiplikator von 2,0 auf die Produktion, mit einem Multiplikator von 1,9 auf die Bruttowertschöpfung und mit einem Multiplikator von 2,9 auf die Beschäftigung. Ein großer Teil der Projekte wäre ohne staatliche Förderung nicht zustande gekommen.

In Tabelle 3 sind die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der LuFo-Investitionen sowie der zusätzlichen Eigenmittel differenziert nach Mittelherkunft dargestellt. Insgesamt kommt es zu einer Erhöhung des Produktionswertes um 6,1 Mrd. Euro. Damit gehen ein Anstieg der Bruttowertschöpfung um 3,7 Mrd. Euro und ein Beschäftigungszuwachs von 23.327 Personen einher.

Hinsichtlich der durch LuFo induzierten Effekte ist zu berücksichtigen, dass in der Befragung nur ein Prozent der Unternehmen angegeben hat, dass sie die Projekte auch ohne staatliche Förderung in gleicher Form durchgeführt hätten. Insofern könnte man einen größeren Teil des Gesamteffektes auf die staatliche Förderung beziehen. Hierbei ergibt sich bzgl. des Produktionswertes ein Multiplikator von maximal 4,0, bei der Bruttowertschöpfung von maximal 3,7 und bei der Beschäftigung von maximal 5,6.

4.8 Wirtschaftlichkeitskontrolle

Die Evaluation umfasst auch Untersuchungen zur Vollzugs- und Maßnahmenwirtschaftlichkeit des Programms. Hinsichtlich des Vollzugs wurden die Kosten bei zentralen Leistungserbringern (Projektträger und Zuwendungsempfänger) erhoben und in Relation zum Programmvolumen bzw. zum Fördervolumen gesetzt. Die Kosten des Projektträgers betragen im langjährigen Durchschnitt 4,8 Prozent des Programmvolumens. Sie liegen damit leicht unterhalb der groben Empfehlung, dass Projektträ-

	Produktionswert	Bruttowertschöpfung	Beschäftigung
Effekte	Mio. Euro	Mio. Euro	Personen
Gesamteffekt	6.140,1	3.663,9	23.327
davon ausgelöst durch			
staatliche Förderung	3.125	1.864,7	11.872
Eigenanteil der Unternehmen	2.596,7	1.549,5	9.865
zusätzliche Eigenmittel	418,5	249,7	1.590

Tabelle 3: Gesamtwirtschaftliche Effekte der Investitionen des Luft- und Raumfahrzeugbaus nach Mittelherkunft, Quelle: Eigene Berechnungen

gerkosten generell nicht höher als 5 Prozent des Programmolumens liegen sollen. Der Vergleich mit anderen Programmen zeigt, dass die Kosten des PT-LF eher leicht unterdurchschnittlich sind, wobei die Projektträgerkosten prozentual bei Förderprogrammen mit kleinerem Budget grundsätzlich höher liegen.

Das zweistufige Förderverfahren beim LuFo – insbesondere der Projektauswahl mit Begutachtung – ist vergleichsweise umfassend und aufwändig. Hinzu kommt die hohe Überzeichnung des Programms. Dementsprechend wären eher höhere Kosten zu erwarten. Dass die Wirtschaftlichkeit dennoch relativ hoch erscheint, ist auf die Programmgröße mit den entsprechenden Fixkosten- und Skaleneffekten und vermutlich auch auf die kontinuierliche Begleitung mit entsprechenden Lernkurveneffekten zurückzuführen. Die zusätzlichen administrativen Kosten der Zuwendungsempfänger, die aus dem Förderverfahren entstehen, liegen im Median bei 15.000 Euro (Befragung). Sie machen ein Prozent der Gesamtinvestitionen und knapp zwei Prozent der Zuwendung aus und sind damit relativ gering. Insbesondere sind sie deutlich geringer als die öffentlichen Kosten der Förderung. Die Ergebnisse der Befragung, der Interviews und der eigenen Recherche lassen vermuten, dass die administrative Umsetzung der Förderung vergleichsweise wirtschaftlich erfolgt.

Mit Blick auf die Maßnahmenwirtschaftlichkeit zeigt sich, dass sich die LuFo-Förderung an einem umfassend ausgestalteten und gut strukturierten Zielsystem orientiert, für das die übergeordneten ACARE-Ziele maßgebend sind. Die technologische Entwicklung richtet sich an diesen Zielen aus und LuFo erscheint damit als die richtige Maßnahme zur Zielerreichung. Die Befragungsergebnisse und Modellschätzungen zeichnen Ursache und Wirkung der LuFo-Förderung deutlich nach und lassen positive Fördereffekte erkennen. Eine Forschungsförderung in Höhe von 100 Euro bewirkt somit, geringe Mitnahmeeffekte vorausgesetzt, eine zusätzliche Produktion von schätzungsweise maximal 400 Euro. Die durch die staatliche Förderung ausgelöste zusätzliche Bruttowertschöpfung und Beschäftigung wird aufgrund der dadurch entstehenden Effekte entlang der Wertschöpfungskette annähernd vervier- bzw. versechsfacht. Auf Basis dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die Maßnahmenwirtschaftlichkeit durch LuFo gegeben ist.

So lässt sich abschließend ein positives Bild des LuFo zeichnen. Durch die Förderung werden die Programmziele in hohem Maße erreicht. Die Maßnahme selbst wurde ebenso wirtschaftlich umgesetzt. LuFo hat ein klares Alleinstellungsmerkmal und grenzt sich dadurch sehr deutlich von anderen Förderprogrammen ab. LuFo steht als branchenspezifisches Programm nicht in Frage, vielmehr zielen alle Vorschläge der Projektnehmer wie auch der Expertinnen und Experten auf eine Weiterentwicklung des Förderprogramms ab.

5 Handlungsempfehlungen

Die folgenden Handlungsempfehlungen können dazu beitragen, das Programm zukünftig noch fokussierter und zielgerichteter zu gestalten. Insgesamt können die Maßnahmen einen Beitrag zur Steigerung der Effizienz des Programms beisteuern.

5.1 Branchenbetrachtung

Die Überlegungen und Empfehlungen leiten sich aus den Erkenntnissen dieser Evaluation zur Luftfahrtbranche ab.

Kleine und mittlere Unternehmen: KMU sind auf insgesamt mehr Unterstützungsangebote rund um das LuFo angewiesen. Kontinuierliche bzw. weitere Unterstützungsangebote durch PT-LF können einen Beitrag leisten, Quereinsteigern den Einstieg in die LuFo-Förderung zu erleichtern. Die Unterstützung könnte die formale Antragstellung einbeziehen und bis hin zur inhaltlichen Beratung oder der Vermittlung von möglichen Kooperationspartnern in den Universtitäten und Forschungseinrichtungen reichen.



Spillovers/Technologietransfer: Branchenübergreifende Kooperationen sind weiter zu stärken. Ein vielversprechender Ansatz ist in der Vernetzung von Clusterinitiativen zu sehen. Im Rahmen der Stärkung einer sektor-übergreifenden Kooperation sind in erster Linie die existierenden Technologie- und Clusterprogramme anderer Sektoren hinsichtlich Kooperationsmöglichkeiten mit der Luftfahrt zu prüfen. Eine Umsetzung branchenübergreifender Kooperationen sollte außerhalb bzw. unabhängig von LuFo erfolgen.

Autonomes und elektrisches Fliegen: LuFo sollte den Trend zum autonomen und elektrischen Fliegen aufgreifen. Im Programm wurden hierfür wichtige Ansätze geschaffen, z. B. durch die in LuFo VI implementierte Förderlinie „Disruptive Technologien“ und den Förderschwerpunkt „elektrisch/hybrides Fliegen“. Wichtig ist der Transfer der dort entstandenen Ideen in die Praxis, sei es durch die Gründung innovativer Start-ups, die Zusammenarbeit mit KMU oder mit etablierten Akteuren wie den Tier-I und OEM. Ein bedeutender Schlüssel ist daher in der Unterstützung des Wissens- und Technologietransfers bzw. in der sektorenübergreifenden Zusammenarbeit zu sehen. Diese Aspekte sind weiter zu stärken.



Künstliche Intelligenz: KI ist als Schlüssel für zukünftige Entwicklungen im Bereich der Luftfahrt zu sehen und daher ist der in LuFo VI verfolgte Ansatz zu stärken, das Thema als Querschnittstechnologie in der Luftfahrtforschung noch stärker als bisher zu verankern.

Gesamtsystemfähigkeit: Der Erhalt der Gesamtsystemfähigkeit ist für die Überführung der (in LuFo geförderten) Technologien in die Anwendung von wichtiger Bedeutung. Dies ist ein wesentliches Argument dafür, dass die Gesamtsystemfähigkeit nicht unabhängig von LuFo zu sehen ist. Die Gesamtsystemfähigkeit ist über LuFo hinausgehend weiter auszubauen.

5.2 LuFo-Programmbetrachtung

Die in der Folge dargestellten Empfehlungen adressieren Themen, die die zukünftige Ausgestaltung des Luftfahrtforschungsprogramms betreffen:

Zertifizierung: Um die Wahrscheinlichkeit des erfolgreichen Transfers der Technologien in die Anwendung zu erhöhen, sind frühzeitige Überlegungen zur Zertifizierung durch die Antragsteller sinnvoll und wichtig. Diese Anforderung ist als Förderkriterium kenntlich zu machen. Darüber hinaus kann LuFo noch mehr als bisher Verfahren, die Zertifizierungskosten senken, fördern. Beispielsweise durch FuE-Projekte zur Entwicklung virtueller Verfahren, die sich als leistungsfähige Simulationswerkzeuge eignen.

IP-Rechte: Es ist zu prüfen, ob sich aus den luftfahrtspezifischen Marktcharakteristika heraus die Notwendigkeit ergibt, das IP-Thema gesondert für die Luftfahrt bzw. Branchen mit ähnlichen Marktcharakteristika zu diskutieren. Im Fall eines positiven Ergebnisses wird empfohlen auf Basis einer Studie das IP-Thema näher zu untersuchen. Die Studie soll einen starken Anwendungsbezug haben und die gesamtwirtschaftliche Innovationsleistung in den Vordergrund stellen. Ziel ist ein Leitfaden, der beim Aushandeln von Kooperationsverträgen die Transaktionskosten reduzieren hilft.

Programmlinie Demonstration: Die Attraktivität der Programmlinie „Demonstration“ ist zu steigern. Daher wird empfohlen Mechanismen zu prüfen, auf deren Basis Projektergebnisse aus den vorherigen Programmlinien durch ein vereinfachtes Verfahren in die Programmlinie „Demonstration“ überführt werden können.

Zielsystem und Steuerung: Das Luftfahrtforschungsprogramm hat im Einklang mit der Luftfahrtstrategie der Bundesregierung vier Ziele formuliert, die langfristig zu einer nachhaltigen Stärkung und Erweiterung der in der deutschen

Luftfahrtindustrie vorhandenen Kernkompetenzen führen sollen. Diese Ziele sind im Wesentlichen sektorenspezifisch und daher als Kontinuum über die Ausschreibungen zu betrachten. Mit dem Luftfahrtforschungsprogramm werden darüber hinaus weitere Ziele verfolgt, die typisch für Forschungs- und Technologieprogramme sind. Hinsichtlich des Zielsystems ergeben sich Möglichkeiten, diese Ziele noch stärker als bisher in den Vordergrund zu rücken.

Vernetzung: Insgesamt sollte LuFo noch mehr als bisher die Vernetzung stärken. Dies kann dazu beitragen, Querschnittsthemen und programmübergreifende Herausforderungen gemeinsam anzugehen und so bestehende Synergiepotenziale besser zu nutzen, was im Ergebnis die Effizienz und Nachhaltigkeit des Programms stärkt. Auch kann eine Vernetzung über die LuFo-Projekte hinweg den Wissens- und Technologietransfer sichern. Querschnittsthemen, wie beispielsweise Fragen zur Zertifizierung, rechtliche Fragen zum Datenschutz etc., lassen sich projektübergreifend gemeinsam mit den Fördernehmern weiter entwickeln.

