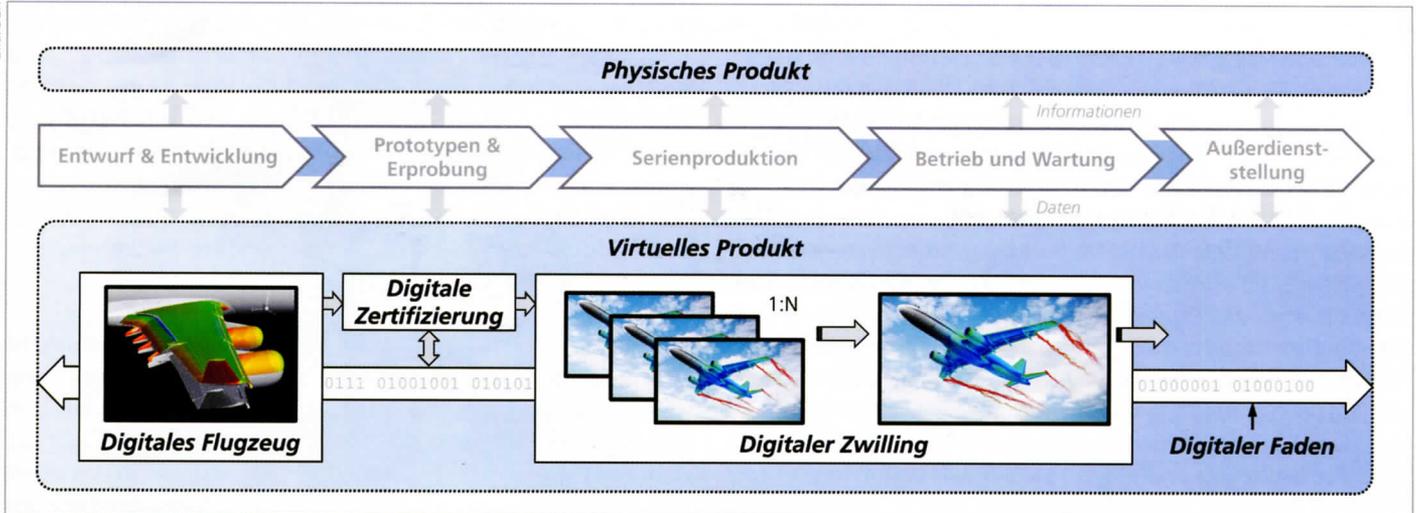




# Das virtuelle Flugzeug

Die Digitalisierung der Luftfahrt



Die Digitalisierung der Luftfahrt: Erklärung der Begrifflichkeiten entlang des Flugzeuglebenszyklus

Zu den aktuellen Entwicklungen und Diskussionen rund um das Thema „Digitalisierung“ gibt es zahlreiche – und häufig auch gegensätzliche – Sichtweisen. Für viele gehört die Digitalisierung bereits seit Jahren oder gar Jahrzehnten zum Alltag und versteht sich als evolutionärer Prozess. Immer mehr Menschen beschäftigen sich aber auch mit den Fragen und Folgen einer neuen digitalen und (vierten) industriellen Revolution. Das sorgt dafür, dass durch die kontinuierliche Ausbreitung der Digitalisierung in allen gesellschaftlichen Bereichen viele bereits vorhandene Strukturen und Prozesse (egal ob analog oder digital) neu hinterfragt, diskutiert und sortiert werden. Dabei gehen die Erfolgsaussichten dieser „digitalen Transformation“ einher mit großen Herausforderungen und auch Risiken für die betroffenen Bereiche in Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft.

Die Umstrukturierungen und Fragestellungen der Digitalisierung beschäftigen in zunehmendem Maße auch die Industrie- und Forschungslandschaft in der Luft- und Raumfahrt. In diesem Zuge kommen neben dem über viele Jahre behandelten „virtuellen Flugzeug“ neue Begriffe wie das „virtuelle Produkt“ oder der „digitale Zwilling“ auf.

## Digitales Flugzeug und virtuelles Produkt

Der Begriff des virtuellen oder digitalen Flugzeugs bezieht sich im Allgemeinen auf die virtuelle Abbildung des Flugzeugs und all seiner geometrischen und physikalischen Eigenschaften mittels digitaler Konstruktionswerkzeuge und numerischer Simulationsmodelle. Für gegebene Anforderungen und Spezifikationen umfasst dies den **digitalen Flugzeugentwurf** einschließlich aller relevanten aeronautischen Disziplinen (Aerodynamik, Strukturmechanik, Flugmechanik etc.) und entlang aller Entwurfsphasen (vom Vorentwurf bis zum Detailentwurf). Das übergeordnete und langfristige Ziel ist es, die Zulassung des physischen (also des realen) Flugzeugs teilweise oder vollständig mittels Simulationen im Rechner durchführen zu können. Der offensichtliche ökonomische Nutzen liegt hierbei im deutlich geringeren Kosten- und Zeitaufwand, da durch das virtuelle Flugzeug reale Flugversuche und Zertifizierungstests eingespart werden können.

Zusätzlich zu den bereits enorm großen Herausforderungen, die mit diesem Ziel der **simulationsbasierten Zertifizierung** oder des **virtuellen Erstflugs** verbunden sind, erfordert eine vollständige Digitalisierung der Luftfahrt auch die Einbeziehung und Verknüpfung der weiteren Phasen des Flugzeuglebenszyklus: Nach dem Entwurf und der Entwicklung eines Flugzeugmusters (einschließlich seiner Zulassung) können auch dessen Produktion und die Betriebsphase bis hin zur Außerdienststellung und Entsorgung digitalisiert werden. Die virtuelle Spiegelung eines jeden Serienflugzeugs und seiner Komponenten während der Produktions- und Betriebsphase lässt sich mit dem Begriff „**digitaler Zwilling**“ beschreiben, dessen Definition, Entwicklung und produktive Nutzung ein weiteres wichtiges Forschungsfeld darstellt.

Um ein virtualisiertes Flugzeugmuster produktiv nutzbar zu machen, braucht es eine digitale Durchgängigkeit und Nachvollziehbarkeit aller relevanten Daten und Prozesse entlang des Lebenszyklus. Nur so lässt sich die Nutzbarkeit auch nachhaltig gestalten und ist nicht an einzelne Stakeholder gebunden. Die Verwirklichung dieses „**digitalen Fadens**“ erfordert ein hohes Maß an interdisziplinärer und interinstitutioneller Zusammenarbeit. Die Gesamtheit der beschriebenen Herausforderungen kann unter dem Oberbegriff und Gesamtziel des „**virtuellen Produkts**“ zusammengefasst werden.

Auch wenn die Begrifflichkeiten in ihren Definitionen nicht immer einheitlich und auch nicht immer scharf zu trennen sind, stellen sich rund um die Themen „virtuelles Flugzeug“ und „Digitalisierung“ die folgenden Bereiche als essenziell und anspruchsvoll für die Luftfahrtindustrie und -forschung heraus:

- digitale Flugzeugentwicklung
- digitale Zertifizierung
- digitaler Zwilling
- digitaler Faden und Datendurchgängigkeit

## Digitale Flugzeugentwicklung

Die virtuelle Auslegung und Optimierung von Flugzeugen und die Berechnung flugphysikalischer Phänomene mittels **numerischer Simulationsmethoden** hat sich seit der industriellen Ver-

breitung von Rechnern in den 1960er und 1970er Jahren und mit der seitdem stetig wachsenden Rechenleistung immer weiterentwickelt. Das zeigt sich vor allem in der Aerodynamik: Durch die hochgenauen Verfahren der numerischen Strömungsmechanik (englisch: *computational fluid dynamics*, *CFD*) lassen sich die aerodynamischen Charakteristika im Reiseflug, aber auch die komplexen Strömungsphänomene während der Start- und Landephase bereits sehr präzise vorhersagen. Trotz dieser weit entwickelten Simulationsverfahren und der weltweit führenden Rolle, die etwa das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Disziplinen wie der Aerodynamik, Strukturmechanik oder Flugsimulation einnimmt, verbleiben auf dem Weg zum virtuellen Erstflug noch große Aufgaben. In den Einzeldisziplinen zeigt sich dies durch längerfristige Strategien, wie etwa der *CFD Vision 2030* der NASA.

Weitaus fordernder als die Weiterentwicklung und Validierung numerischer Modelle in den Einzeldisziplinen ist aber die effiziente Kombination aller aeronautischen Disziplinen im Sinne eines interdisziplinären Gesamtsystems. Dies gilt bereits für die komplexe Aufgabe des **Flugzeugentwurfs**. Hierfür müssen die Auslegungs- und Nachrechnungsmethoden automatisiert und einer stringenten Entwurfslogik folgend verknüpft werden, um zu einer optimalen Lösung für das Gesamtflugzeug zu gelangen. Trotz beeindruckender Beispiele existierender Simulationsketten und industrieller Anwendungen in der **multidisziplinären Entwurfs-optimierung** liegen vor allem in der Behandlung unkonventioneller Flugzeugkonfigurationen sowie in der Erzielung eines gleichmäßigen Detaillevels entlang der Disziplinen die größten Herausforderungen.

### Digitale oder simulationsbasierte Zertifizierung

Um ein neues Flugzeugmuster zu zertifizieren, es also wortwörtlich „sicher zu machen“, muss der Hersteller gegenüber den zuständigen Behörden den Nachweis erbringen, dass alle geforderten Zulassungsvorschriften erfüllt werden. Bei jeder Zertifizierung wird ein mehrjähriger und sorgfältig definierter Prozess zwischen Hersteller und Behörden durchlaufen. Der Großteil des Aufwands und der Zeit entfällt dabei auf die **Nachweisführung**. In vereinbarten Nachweistests, die am Boden sowie im Flug erfolgen, werden etwa die flugphysikalischen Eigenschaften, die Strukturfestigkeit von Groß- und Kleinkomponenten sowie die Funktionsfähigkeit aller Systeme des Flugzeugs demonstriert und überprüft.

Die oben beschriebene Motivation, die physische Nachweisführung durch **virtuelle Testmethoden** zu unterstützen oder gar zu ersetzen und damit zeit- und kosteneffizienter zu gestalten, ist nicht neu und in Ansätzen bereits gängige Praxis. Sie wird allerdings zunehmend verstärkt durch die industrielle Forderung nach immer **kürzeren Entwicklungszyklen** ziviler Verkehrsflugzeuge auf der einen Seite und der Erforschung sowie oft sehr komplexen Integration effizienzsteigernder und umweltschonender Technologien auf der anderen Seite.

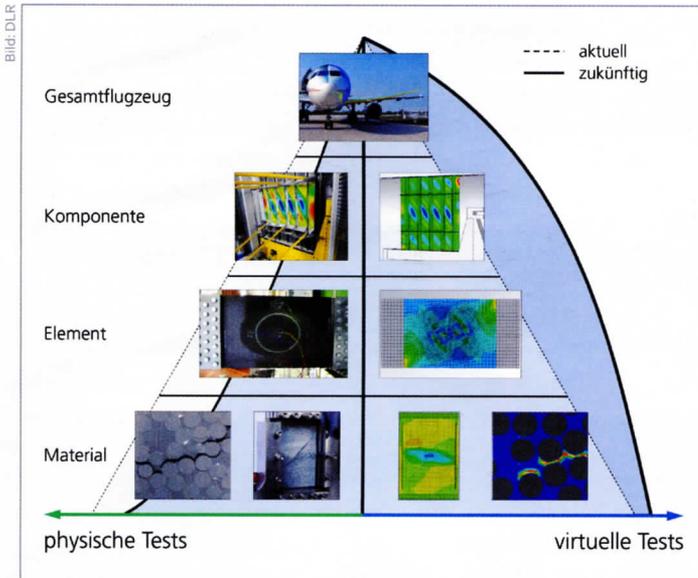
Für die Flugzeugzulassung reicht die exakte flugphysikalische Echtzeitsimulation, also der virtuelle Erstflug einer bereits entworfenen Flugzeugkonfiguration, demnach noch nicht aus. Virtuelle Flugversuche entsprechen vielmehr den finalen Tests und damit der Spitze der sogenannten **Testpyramide**. Diese bildet alle Zertifizierungs- und Testverfahren ab, beginnend auf der Ebene von Materialien über Elemente und Kleinkomponenten bis hin zur Großkomponente und dem Gesamtflugzeug. Für viele der erforderlichen Struktur- und Systemversuche existieren bereits ergänzende oder vollständig **virtuelle Testverfahren**. Die Hauptaufgabe liegt daher jetzt darin, die virtuellen Testverfahren entlang der gesamten Testpyramide weiterzuentwickeln und zu vereinheitlichen. Außerdem gilt es, die existierenden Fähigkeiten und virtuellen Simulationsmethoden in den flugphysikalischen Disziplinen (vor allem aus der Großforschung) mit den zwischen Industrie und Behörden etablierten Test- und Zertifizierungsprozessen sinnvoll zu verknüpfen. Nur so lassen sich die oben beschriebenen industriellen Herausforderungen zur Minimierung der Entwicklungszyklen und Einführung innovativer Technologien gemeinsam bewältigen.

Auch das DLR widmet sich verstärkt dem Thema der digitalen oder virtuellen Zertifizierung, sowohl über die programmübergreifende **Querschnittsinitiative „Digitalisierung“** als auch über die in der DLR-Strategie 2030 festgeschriebenen Ziele des **DLR-Luftfahrtprogramms**. In verschiedenen DLR-internen Projekten wie etwa *VicToria* (*Virtual Aircraft Technology Integration Platform*) oder *SimBaCon* (*Simulation-Based Certification*) werden die für die digitale Entwicklung und Zulassung von Verkehrsflugzeugen benötigten Modelle und Simulationsumgebungen entwickelt und validiert.

Ein weiterer zentraler Baustein in der Digitalisierungsstrategie des DLR-Luftfahrtprogramms ist das **virtuelle Produkthaus (VPH)** in Bremen. Mit dem VPH verfolgt das DLR das Ziel, in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern (u. a. *Airbus* und *IABG*) und der Wissenschaft ein Integrations- und Testzentrum für die virtuelle Simulation und Zertifizierung von Komponenten und Technologien sowie deren Integration in das Gesamtflugzeug aufzubauen. Das VPH-Startprojekt konzentriert sich auf den Anwendungsfall einer **multifunktionalen Steuerfläche** eines Flugzeugflügels. Für diese spezifische Komponente (aus der Mitte der Testpyramide) werden die Themen virtueller (Vor- und Detail-)Entwurf, virtuelle Fertigung sowie virtuelle Testverfahren bis hin zur Zertifizierung mit den beteiligten DLR-Instituten und Projektpartnern bearbeitet und miteinander verknüpft. Durch die virtuelle Integration der Fachdisziplinen lassen sich Änderungen im digitalen Entwurf und deren Auswirkungen auf Fertigung und Testverfahren sehr viel schneller analysieren und optimieren. Auf Basis einer „**Common Source**“-**Softwarearchitektur**, das heißt einer geschützten Simulationsumgebung, ist das langfristige Ziel



Numerische Strömungssimulation einer A380 im Landeanflug



Testpyramide für die physische und die virtuelle Zertifizierung

des VPH, als Testzentrum und Netzwerkplattform die **virtuelle Zertifizierung von Flugzeugkomponenten** für und zusammen mit den Industriepartnern durchzuführen.

## Digitaler Zwilling und digitaler Faden

Nach der Entwicklung und bereits während der Zulassung eines Verkehrsflugzeugmusters beginnt dessen physische Realisierung mit der Fertigung und Endmontage der Prototypen sowie später der Serienmodelle. In der Vision des **digitalen Zwillings** wird mit jedem Serienflugzeug auch sein virtuelles Abbild mit ausgeliefert. In den digitalen Zwillingen wird die reale Betriebsphase gespiegelt und laufend aktualisiert, zum Beispiel nach einer Wartung. Der Mehrwert und produktive Nutzen des digitalen Zwillings ergibt sich aus dem **kontinuierlichen Echtzeitabgleich** von Soll- (bzw. Zwillings-) und Ist- (bzw. Real-) Daten sowie dessen intelligenter und automatisierter Analyse. Dabei erfordert die enorme Menge an Sensoren und (Ist-) Daten eine schnelle und sichere Datenverarbeitung. Die (Soll-) Daten erhält der Zwilling bereits mit seiner Entstehung: Alle geometrischen und physikalischen Entwurfs-eigenschaften sowie die zugrundeliegenden Modelle, die auch für den virtuellen Prototyp und die Zulassung verwendet werden, fließen in den digitalen Zwilling ein. Dies erfolgt parallel zum realen Fertigungs- und Montageprozess, beginnend mit Einzel-elementen bis hin zum zusammengefügt digitalen Gesamtflugzeug.

Die intelligente Auswertung des Echtzeitabgleichs der Real- und Zwillingsdaten mittels statistischer Analysen sowie selbstlernender Algorithmen ermöglicht Zustandsvorhersagen (etwa für die Belastung eines Bauteils) und Prognosen (etwa für sicherheitskritische Ausfälle von Systemkomponenten). Diese können dann genutzt werden, um Bauteile rechtzeitig zu reparieren und auszutauschen (**prädiktive Wartung**), bevor sie zum Beispiel zu einem kostenintensiven Stillstand des Flugzeugs führen. Die Schaffung einer Durchgängigkeit aller digitalen Daten und Modelle entlang des Flugzeuglebenszyklus (Entwurf, Produktion, Betrieb, Außerdienststellung) lässt sich mit dem Begriff und der Vision des „**digitalen Fadens**“ zusammenfassen. Durch die Rückführung

der Erkenntnisse aus den virtuellen Lebensphasen der digitalen Zwillinge in den Entwicklungsprozess lassen sich auch zukünftige Produkte bereits in der frühen Entwurfsphase weiter verbessern und für den späteren Betrieb optimieren.

Im Rahmen der Digitalisierungsinitiative bearbeitet und erforscht das DLR auch dieses Thema intensiv, zum Beispiel in zwei neuen Instituten in Hamburg, aber auch in Zusammenarbeit mit der deutschen Luftfahrt- und Softwareindustrie.

## Forschungsstrategie zum virtuellen Produkt und Ausblick

Das Ergebnis und das Ziel des digitalen Lebenszyklus ist das **virtuelle Produkt**, das sowohl die Ziele zur virtuellen Zertifizierung als auch die zum digitalen Zwilling umfasst.

Mit dieser Vision des virtuellen Produkts sind Anforderungen an eine **Gesamtsystemfähigkeit** verknüpft, die sich sowohl auf verschiedene Skalen (multiscale, das heißt vom Gesamtsystem zur Kleinstkomponente) als auch auf alle Lebenszyklusphasen beziehen. Außerdem erfordert sie eine intelligente Integration von Simulationsverfahren (des Entwurfs, der Produktion, des Betriebs etc.) mit verschiedenen Modellierungstiefen (multifidelity).

Das DLR-Luftfahrtprogramm adressiert diese Gesamtsystemfähigkeit neben seinen zahlreichen etablierten Forschungsinstituten auch mit den über Bund und Länder finanzierten und jüngst gegründeten vier **neuen Instituten** in Hamburg („Instandhaltung und Modifikation“ sowie „Systemarchitekturen in der Luftfahrt“), Dresden („Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung“) und Augsburg („Test und Simulation für Gasturbinen“). Dort sollen die diskutierten Themenkomplexe der Digitalisierung (digitaler Zwilling und digitaler Faden, sowie die involvierten softwaretechnischen Aufgaben) zusammen mit dem VPH als Integrationsplattform für die virtuelle Zertifizierung erforscht werden.

Selbstverständlich ist die Gesamtsystemfähigkeit und Integritätsrolle des DLR nur ein wichtiges Element zur Nutzung der Potenziale der Digitalisierung für die Luftfahrt. Ein produktiver Nutzen für den gesamten Luftfahrtstandort Deutschland kann nur durch eine **enge Kooperation** und Abstimmung zwischen Politik, Behörden, Industrie, Forschung und Universitäten erzielt werden. Sowohl die digitale Agenda des Bundes, als auch die Strategien und Leitkonzepte des BDLI sowie des DLR zum virtuellen Produkt, zeigen diesen Weg auf. Durch eine intelligente Nutzung der Fähigkeiten und Synergiepotenziale über Firmen- und Institutionsgrenzen hinweg – bei gleichzeitiger Beachtung von ökonomischen Eigeninteressen und Datenstandards – lassen sich die Chancen und Möglichkeiten der Digitalisierung gemeinsam nutzen. Auf dem Weg zum virtuellen Produkt und Erstflug würde dies sowohl den deutschen Luftfahrtstandort stärken als auch der Gesellschaft nützen – durch effizientere und umweltchonendere Verkehrsflugzeuge, immer begleitet von ihren digitalen Zwillingen. ●

*Dr. Kristof Risse  
Programmdirektion Luftfahrt  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)*

## Luft- und Raumfahrt

Jahrgang 39  
Heft 3/2018

### Herausgeber | Redaktion

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –  
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)  
Godesberger Allee 70  
D-53175 Bonn  
Tel.: +49 228 30805-0  
Fax: +49 228 30805-24  
Internet: www.dglr.de  
E-Mail: info@dglr.de

### Abonnentenservice

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –  
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)  
Godesberger Allee 70  
D-53175 Bonn  
Tel.: +49 228 30805-0  
Fax: +49 228 30805-24  
E-Mail: abo@dglr.de

### Redaktion

Philip Nickenig M. A. (V.i.S.d.P.)  
Alisa Griebler M. Sc. (Chefredaktion)  
Caroline Latz M. A. (Redaktion)  
Dorothea Lauer (Redaktion)

### Redaktionsbeirat

Kai Dürfeld  
Alisa Griebler M. Sc.  
Dr.-Ing. Christian Gritzner  
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms  
Anna Maaßen M. A.  
Philip Nickenig M. A.  
Sascha Rahn M. A.  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Katharina Schäfer

### Grafik

Agentur Salzwasserfuchs  
Kerstin Fuchs  
Hauptstraße 140 – 144 / 5 / 39  
A-3400 Kierling  
Tel.: +43 699 18115110  
Internet: www.salzwasserfuchs.com  
E-Mail: post@salzwasserfuchs.com

### Druck

Forster Media GmbH & Co. KG  
Adenauerallee 176  
D-53113 Bonn  
Tel.: +49 228 909011-0  
Fax: +49 228 909011-22  
E-Mail: mail@forstermedia.de

### Anzeigen

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –  
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)  
Sandra Zühlke  
Ute Heuschkel  
Godesberger Allee 70  
D-53175 Bonn  
Tel.: +49 228 30805-0  
Fax: +49 228 30805-24  
E-Mail: marketing@dglr.de

Autorenbeiträge, die als solche gekennzeichnet sind,  
stellen nicht die Meinung des Herausgebers dar.

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird in den  
Artikeln meist nur die männliche Form verwendet.  
Die weibliche Form ist selbstverständlich immer  
mit eingeschlossen.

### Erscheinungsweise

Luft- und Raumfahrt  
erscheint 4-mal jährlich + 1 Sonderausgabe



## Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)

Wissenschaftlich-Technische Vereinigung

### Präsidium der DGLR

**Präsident**  
Prof. Dipl.-Ing. Rolf Henke

**1. Vizepräsidentin**  
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms

**2. Vizepräsident und  
Schatzmeister**  
Dipl.-Ing. Heiko Lütjens

**Mitglieder des Präsidiums**  
(in alphabetischer  
Reihenfolge)  
Dr. rer. nat. Irena Bido  
Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung  
Dr.-Ing. Rolf Janovsky  
Dr.-Ing. Michael Menking  
Dipl.-Ing. Ulrich Wenger

**Beauftragter des Präsidiums**  
Prof. Dr. rer. nat.  
Berndt Feuerbacher  
(Vorsitzender des  
Ehrungsausschusses)

**Generalsekretär**  
Philip Nickenig M. A.

### Fachgremien der DGLR

#### Luftfahrt

**L1 Luftverkehr**  
Leiter: Dr. Marco Weiss  
Stellv.: Dipl.-Ing. Bernhard Kiefner

**L2 Bemannte Luftfahrzeuge**  
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz

**L3 Unbemannte Fluggeräte**  
Leiter: Alfred Lief  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Gert Trommer

#### L4 Kabine

**L5 Luftfahrtantriebe**  
Leiter: Dr. Stefan Bindl  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

**L6 Flugmechanik/Flugführung**  
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner  
Stellv.: Dr.-Ing. Hans-Christoph Oelker

#### L7 Luftfahrt und Gesellschaft

#### Raumfahrt

**R1 Raumfahrttechnik**  
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Brieß  
Stellv.: Dr.-Ing. Michael H. Obersteiner

**R2 Raumfahrtwissenschaft und  
-anwendung**  
Leiter: Dipl.-Ing. Klaus-Peter Ludwig  
Stellv.: Dr.-Ing. Christian Langenbach

**R3 Raumfahrt und Gesellschaft**  
Leiter: Dr.-Ing. Christian Gritzner

#### Querschnittsthemen

**Q1 Werkstoffe –  
Verfahren – Bauweisen**  
Leiter: Dr.-Ing. Christian Weimer

**Q2 Fluid- und Thermodynamik**  
Leiter: Dr.-Ing. Bernhard Eisfeld

**Q3 Avionik und Missionstechnologien**  
Leiter: Dr.-Ing. Thomas Wittig  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte

**Q4 Systemtechnik/-management**  
Leiter: Dipl.-Ing. Joachim Majus  
Stellv.: Dipl.-Wi.-Ing. Daniel Schubert

**Q5 Luft- und Raumfahrtmedizin**  
(Schnittstelle zur DGLRM)  
Leiter: Dr. med. Carla Ledderhos

### Bezirksgruppen der DGLR

**Bezirksgruppe Aachen**  
Leiter: Dipl.-Ing. Engelbert Plescher

**Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg**  
Leiter: Dipl.-Ing. Stefan Hein  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

**Bezirksgruppe Braunschweig**  
Leiter: Horst Günther  
Stellv.: Dipl.-Ing. Martin Schuermann

**Bezirksgruppe Bremen**  
Leiter: Dr.-Ing. Martin Gerber

**Bezirksgruppe Darmstadt**  
Leiter: Dr.-Ing. Klaus Hufnagel

**Bezirksgruppe Dresden**  
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Wolf

**Bezirksgruppe Freiburg**  
Leiter: Dipl.-Ing. Franz Georg Hey

**Bezirksgruppe Hamburg**  
Leiter: Dr.-Ing. Martin Spieck  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz

**Bezirksgruppe Köln-Bonn**  
Leiter: Dr. Siegfried Voigt

**Bezirksgruppe Leipzig**  
Leiter: Kai Dürfeld

**Bezirksgruppe Mannheim**  
Leiter: Dr.-Ing. Erec Fahlbusch  
Stellv.: Dr.-Ing. Helmut Warth

**Bezirksgruppe München**  
Leiter: Dr. Peter Hofmann  
Stellv.: Maximilian Prexl M. Sc.

**Bezirksgruppe Stuttgart**