

Virtuelle Integrations-Plattformen (VIP) – Ein Ansatz zur Entwicklung innovativer, integrierter Lufttransportsysteme

Volker Gollnick¹ und Eike Stumpf²

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 21079 Hamburg, Germany

Diese Arbeit beschreibt die Methode und Definition zur Entwicklung Virtueller Integrations-Plattformen (VIP) für neue, integrierende Lufttransportsysteme. Die disziplinäre Luftfahrtforschung hat in vielen Bereichen der Flugzeugtechnik einen sehr hohen Reifegrad erreicht, der nur noch begrenztes Verbesserungspotential offenläßt. Andererseits lassen interdisziplinäre balancierte Optimierungen der Auslegung noch einiges Verbesserungspotential erwarten. Zudem zeigt das tägliche Erleben des Lufttransportbetriebs, daß gerade an den Schnittstellen zwischen den wesentlichen Teilsystemen Flugzeug, Flughafen, Flugsicherung und Airline noch Schwachpunkte zu beobachten sind, die ein Erreichen der ACARE-Ziele erschweren. Das Konzept der VIP ist daher darauf ausgerichtet, neue Lufttransportsysteme als Gesamtkonzepte zu entwerfen, um Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen balanciert zu optimieren. Basierend auf einem strukturierten System-Engineering-Ansatz werden die verschiedenen Elemente des Lufttransportsystems definiert. Ausgangspunkt für die Definition neuer Lufttransportkonzepte sind Zukunftsszenarien, die Randbedingungen und Anforderungen an Lufttransportsysteme initiieren.

Nomenklatur

ACARE	=	Advisory Council of Aerospace Research in Europe
ANSP	=	Air Navigation Service Provider
APRON	=	Part of the aerodrome set aside for loading, unloading or maintaining aircraft
ATIP	=	Air Transport Infrastructure and Processes
ATM	=	Air Traffic Management
CDA	=	Continuous Descend Approach
Clean Sky	=	European Programme on environmental friendly aircraft and engine technologies
CPACS	=	Common Parametric Aircraft Configuration Standard
DLR	=	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, i.e. German Aerospace Center
EIS	=	Entry Into Service
ETOPS	=	Extended Twin Engines Operations
JTI	=	Joint Technology Initiative
KPA	=	Key Performance Area
KPI	=	Key Performance Indicator
MRO	=	Maintenance Repair Overhaul
MTOM	=	Maximum Take Off Masse
NextGen	=	American Next Generation ATM System
N+3	=	American Next Generation Aircraft Concepts
QSTOL	=	Quiet Short Take Off and Landing
SES	=	Single European Sky
SESAR	=	Single European Sky ATM Research
TIATS	=	Total Integrated Air Transportation System
TRL	=	Technology Readiness Level
TUHH	=	Technische Universität Hamburg-Harburg
VIP	=	Virtuelle Integrations-Plattform

¹ Direktor Lufttransportsysteme des DLR, Blohmstr.18, 21079 Hamburg, AIAA Member

² Abteilungsleiter Systemanalyse Lufttransport, Blohmstr.18, 21079 Hamburg, AIAA Member

I. Übersicht

Das Lufttransportsystem (ATS) und seine wesentlichen Teilsysteme haben in den letzten Dekaden einen hohen Reifegrad erreicht. Wirtschaftlicher Wettbewerb sowie deutlich zunehmendes Verkehrsaufkommen und die gesellschaftliche Bedeutung der Umweltrelevanz erfordern jedoch weitere Anstrengungen, um die Effizienz und Umweltverträglichkeit des Lufttransportsystems weiter zu steigern. Um diese Grundziele zu erreichen sind sowohl bestehende Technologien weiter zu optimieren und zudem radikal neue Konzepte anzudenken.

Die Europäische Vision2020 und das amerikanische NextGen-Programm haben diese Globalforderungen in konkrete Ziele umgesetzt, die es nunmehr zu erreichen gilt, siehe [1-5]. In der folgenden Tabelle sind diese Ziele gegenübergestellt.

Ziel	EU (Vision2020, ref. 2000)	EU (Flightpath 2050, ref. 2000)	US (N+3, nutzerdef. Referenz)	US (NextGen)
CO ₂ Emissionen	-50%	-75%	Besser als - 70% Kraftstoffverbrauch	-14 Million Tonnen pauschal
NO _x Emissionen	-80%	-90%	Besser als -75%	Verbesserte Umweltverträglichkeit
Lärm	-50%	-65%	-71dB (unter Stage 4)	
Pünktlichkeit	99% innerhalb 15 Min.	innerhalb 1 Min unabhängig vom Wetters	N/A	20% bis 35% Verminderung der Verspätungen
Sicherheit	N/A	Umfassende globaler Sicherheit; robuste Flugzeuge, sichere Datennetzwerke	N/A	Transportsicherheit gewährleisten
Betriebssicherheit	Reduktion der Unfallrate um 80% auf ein 1/5	<1 Unfall je 10 Millionen kommerzieller Flüge	N/A	Verbesserte Betriebssicherheit
Qualität und Preiswertigkeit	<15 min. Passagierdurchlauf für Kurzstreckenflüge <30 min. für Langstreckenflüge	90% der Reisenden sollen von Haustür zu Haustür weniger als 4 Stunden benötigen	N/A	Integriertes NextGen Informationssystem
Verkehrsaufkommen	16 Million Flüge/Jahr	25 Millionen Flüge/Jahr	N/A	Kollaboratives Kapazitätsmanagement Kollaboratives Störungsmanagement Flexibles Separationsmanagement Effizientes Flugbahnmanagement
Sonstiges	Halbierung der Zeit bis zur Markteinführung neuer Produkte	Emissionsfreies Taxiing Vollständige Recyclefähigkeit der Luftfahrzeuge	Metroplex Konzepte	Flexible Flughafen- und Vorfeldoperationen

Tabelle I-1: Übersicht über die Top Level Ziele für zukünftige Lufttransportsysteme, Ref. [1], [5]

Um das volle Potential neuer Technologien zu erschliessen, sind integrierende Technologieansätze über den gesamten Lebenszyklus zu entwickeln. Technische, ökonomische und ökologische Kriterien liefern die Richtschnur zur Entwicklung robuster Technologien, um einen optimalen Kapitalwert (Net-Present-Value) für eine Produktentwicklung zu erzielen. Hierzu sind Konzeptstudien auf Gesamtsystemebene und die Fähigkeit zur Integrationsanalyse in frühen Phasen einer Technologieentwicklung erforderlich.

Diese angestrebten Zielsetzungen bedingen eine integrierte gestufte Entwicklungsfähigkeit beginnend bei einfachen disziplinären Konzeptentwürfen über detaillierte disziplinäre Auslegung hin zu mehr und mehr systembezogenen Entwürfen. Damit vollzieht die Luftfahrtforschung und –entwicklung einen Evolutionssprung zu einer noch stärkeren Systemwissenschaft von neuer Qualität. Der Grundansatz hierfür ist ein ein Teilsystem übergreifende balanzierte Auslegung und Optimierung neuer Transportkonzepte und nicht mehr die Beschränkung auf einzelne Teilsysteme wie das Flugzeug oder die Flugführung bzw. deren einzelne Subsysteme.

Die Einrichtung Lufttransportsysteme des DLR hat hierzu das Konzept der Virtuellen Integrations-Plattformen (VIP) entwickelt, um Teilsystem übergreifende Gesamtsystemlösungen für künftige Lufttransportsysteme zu entwickeln und zu bewerten. VIPs sind vollständige Lufttransportkonzepte ausgerichtet auf bestimmte Grundmissionen im Lufttransport. Sie bieten daher die Umgebung für interdisziplinäre und integrierende Forschung, um den balanzierten Nutzen neuer Technologien im Zusammenspiel der verschiedenen Teilsysteme zu erarbeiten. Insbesondere der Ansatz der Teilsystem übergreifenden balanzierten Optimierung von Flugzeug, Flughafen, Luftverkehrsmanagement und Airline-Betrieb ist neu und eröffnet das Potential zur Entwicklung effizienterer Gesamttransportprozesse. Hierbei spielt die Optimierung der Schnittstellen zwischen den Teilsystemen und den Wechselwirkungen verschiedener Technologien eine Schlüsselrolle.

Die Ergebnisse solcher Studien eignen sich auch für Sensitivitätsstudien, um den Integrationsprozess einzelner Technologien auf höhere Systemebenen in frühen Konzeptphasen zu verbessern. Zuletzt stellt die Definition neuer Lufttransportkonzepte selbst eine eigenständige Forschungsaufgabe dar.

II. Ein System-Engineering Ansatz zur Entwicklung neuer Lufttransportkonzepte

Das Lufttransportsystem umfaßt eine Vielzahl von Partnern und Teilsystemen. Verschiedene Ansätze wurden in der Vergangenheit entwickelt, um das Lufttransportsystem zu beschreiben, die wesentlich durch ökonomische oder organisatorische Ansätze getrieben sind. Ref. [8]. Für die Entwicklung zukünftiger Lufttransportkonzepte wurde ein Nutzer und Prozess orientierter Ansatz entwickelt, der das Lufttransportsystem zunächst in

- a) Infrastrukturen,
- b) Nutzer der Infrastrukturen
- c) Politische und gesellschaftliche Teilnehmer

gliedert, Ref. [9].

Auf der nächsten Ebene umfassen die Infrastrukturen das Flugzeug, den Flughafen, den Luftraum sowie das Luftverkehrsmanagement inkl. Kommunikation/Navigation/Überwachung. Diese Elemente gewährleisten einen sicheren Lufttransport und den Umschlag von Passagieren und Gütern.

Weiterhin werden diese Infrastrukturen als Produkte oder Dienstleistungen von Airlines, Flugzeugherstellern, Flugsicherungsgesellschaften oder Wartungsgesellschaften produziert oder genutzt. Ebenso sind Flughäfen und Finanzdienstleister Anbieter und Nutzer der Infrastrukturen

Politische und gesellschaftliche Teilnehmer des Lufttransportsystems sind Organisationen und insbesondere der Passagier, die die Anforderungen an den Lufttransport der Zukunft formulieren und die Dienstleistungen und Infrastrukturen nutzen. Sie setzen damit die regulativen und marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen für ein erfolgreiches Lufttransportsystem.

Bei diesen Betrachtungen wird das Flugzeug mit seinen Schnittstellen und Wechselwirkungen zu den anderen Teilsystemen in den Mittelpunkt der Forschungsarbeit gestellt, um aus den Infrastrukturen und Infrastrukturnutzern die Virtuellen Integrations-Plattformen (VIP) abzuleiten.

Die genaue Zusammenstellung eines VIP ist abhängig von der gestellten Forschungsaufgabe. Dieses erfordert zum Einen eine flexible und modulare Berechnungs- und Simulationsumgebung. Zum Anderen müssen die Systemgrenzen zumindest in beschränktem Umfang frei festlegbar sein. Davon abhängig müssen für die wesentlichen Teilsysteme bzw. deren Subsysteme Modellierungen verfügbar sein, um die unterschiedliche Detaillierungsstufen zu realisieren, die aber in jedem Fall die wesentlichen Schnittstelleneinflüsse und Wechselwirkungen wiedergeben. So sollte für die Realisierung eines Gesamtkonzeptes für den Langstreckentransport auf Basis eines Blended Wing Body dessen flugzeugspezifische Modellierung detailliert erfolgen, wenn die Auslegungsfähigkeit im Vordergrund steht. Flughafenseitig ist hingegen eine Beschränkung der Detaillierung auf die Schnittstellen zu diesem Flugzeug ausreichend, z.B. bezüglich Rollfeldbewegungen,

Gateformen und Startbahn. Anders sieht die Modellierungsumgebung für ein solches Gesamtsystem aus, wenn z.B. die Fähigkeit zu Single Pilot Operations in einem solchen Gesamtkonzept zu beleuchten ist. Dann sind die Flugzeug- und Flughafengeometrien bezüglich Präzisionsrollführung als Schnittstellen und Wechselwirkungen von großer Bedeutung, noch wesentlicher sind jedoch die Kommunikations-, Navigations- und Überwachungsfunktionen, um einen zuverlässigen Betrieb abzuschätzen.

Ein System-Engineering-Ansatz wurde gewählt, um das Lufttransportsystem hinsichtlich seiner Modellierungsstruktur, seiner Technologiefelder und der Systembewertung zu definieren und abzubilden, Ref.[7]. Eine entsprechende Forschungsfrage ist so zu formulieren, dass der Vorteil/Nachteil einer neuen Technologie sichtbar wird in einem zukünftigen Szenario im Vergleich zum Einsatz einer existenten Technologie.

Greift man z.B. die globale Zielsetzung, auf eine globale 50% CO₂- Emissionsreduktion zu erzielen oder die 4stündige Reisezeit von Haustür zu Haustür in Europa, so sind zunächst hierzu die Zukunftsszenarien für den entsprechenden Zielzeithorizont zu definieren, um daraus die notwendigen funktionalen Anforderungen an das Lufttransportsystem abzuleiten. Da die genannten Globalziele alle Teilsysteme des Lufttransportsystems betreffen, sind die Anforderungen entsprechend auch für alle Teilsysteme abzuleiten. Aufgrund der wechselseitigen Schnittstellen und Abhängigkeiten und der damit verbundenen Komplexität ist das Lufttransportsystem bei derartigen Fragestellungen immer als System der Systeme zu betrachten. Hieraus folgt weiter, daß bei der konzeptionellen Gesamtbetrachtung nicht alle Teil- und Subsysteme in allen physikalischen Details abgebildet werden können. Vielmehr sind die wesentlichen wechselseitigen Einflüsse zu identifizieren bis auf Einzeltechnologieebene und dann so zu aggregieren in der Modellbildung, daß an den Schnittstellen noch wirksam sind. Zudem sind alle für die Globalzielsetzung relevanten Einflüsse in den Teil- und Subsystemen zu berücksichtigen. Für diesen Auswahlprozeß ist eingehende Systemkenntnis und damit Erfahrung unabdingbar. Weiterhin wird der Auslegungs- und Auswahlraum für entsprechende Technologien beschränkt durch die erwähnten Wechselwirkungen und Schnittstellen, über die ausschließlich ein balancierter Gesamtentwurf möglich wird.

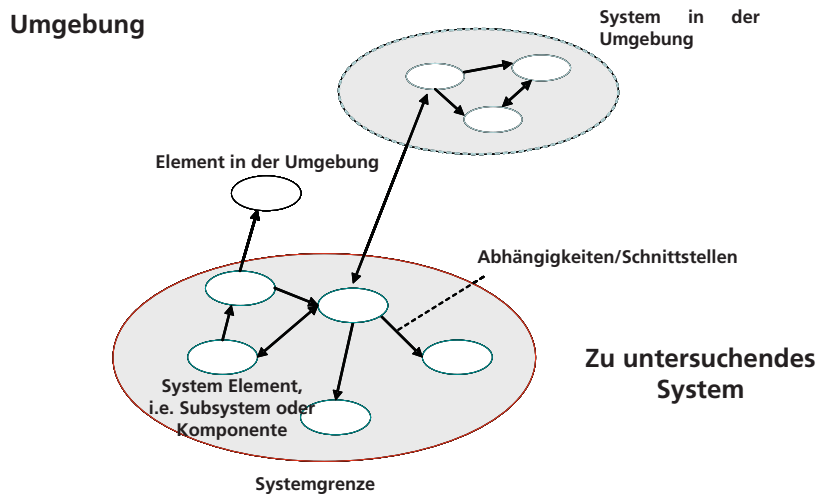


Bild II-1: Definition und Schnittstellen des Systems der Systeme

In Bild II-1 definiert die äußere Systemgrenze den Auslegungsraum, da das nächsthöhere oder umfassendere System Art und Umfang möglicher Lösungen beschränkt. Dieser Logik folgend ist der kreative Designraum für neue physikalisch getriebene Lösungen größer, während auf den höheren Systemebenen Effizienz und Innovation durch Schnittstellen gerechte innovative Lösungen bestimmt werden. Technologien werden in diesem Rahmen definiert als Techniken, Prozesse und Prozeduren einschließlich Regularien, die die Fähigkeiten und Funktionen des Lufttransportsystems beeinflussen. Der Nutzwert einer so definierten Technologie ergibt sich aus ihrer technischen, ökonomischen und ökologischen Wirkung.

Neue Technologien werden in diesem Sinne für die relevanten Teilsysteme und/oder deren Subsysteme entwickelt, um in balancierter Form die globalen Zielsetzungen zu erfüllen. Hierbei sind auch neue oder radikale Gesamtkonzepte für das Lufttransportsystem zu bedenkende Lösungsansätze.

III. Das Konzept Virtueller Integrations-Plattformen

Eine Virtuelle Integrations-Plattform (VIP) ist daher die vollständige Beschreibung einer möglichen Ausprägung eines Lufttransportsystems bestehend aus den Kernelementen Flugzeug, Flughafen, Luftverkehrsgesellschaft und Luftverkehrsinfrastruktur, die auf der Basis verschiedener Technologien so aufeinander abgestimmt sind, daß sie über ihre Schnittstellen ein balanciert optimiertes Ganzes ergeben. Der virtuelle Charakter der Integrations-Plattformen ergibt sich aus dem Umstand, daß Alles modelliert wird, entweder zur Auslegungsberechnung oder zur dynamischen Simulation. Dabei ist entscheidend, daß immer alle Teilsysteme abgebildet werden, die Subsysteme und Komponenten jedoch nur dann und detaillierter, wenn sie unmittelbarer Forschungsgegenstand sind. Dieses erfordert eine Systemarchitektur mit umfassenden und reduzierbaren Schnittstellenbeschreibungen, siehe Abschnitt IV-D.

Der Definition von *La Rocca* folgend, ist dies eine Methode des „Wissensbasierten Engineerings“, die als multidisziplinäres Produkt- und Prozesswissen in integrierten Softwaresystemen abbildet, so daß verschiedene Entwurfsarbeiten deterministisch und (teil-)automatisiert durchgeführt werden können, siehe [14].

Das Lufttransportsystem wird daher in hierarchischer Form entsprechend dem System Engineering aufgesetzt und in die Ebenen Gesamtsystem, Teilsystem, Subsystem und Komponenten unterteilt.

- Das Lufttransportsystem in seiner jeweiligen Ausprägung wird als **das System** definiert.
- Flugzeug, Flughafen, Luftverkehrsinfrastruktur und Luftverkehrsgesellschaft bilden die **Teilsysteme**ebene.
- Flügel oder Avionik eines Flugzeugs, oder Überwachungsradar und Luftraumstruktur der Luftverkehrsinfrastruktur sowie Terminal und APRON eines Flughafens oder MRO-Bereich und Passagerebereich einer Luftverkehrsgesellschaft stellen die jeweilige **Subsysteme**ebene eines Teilsystems dar.
- Klappen und Steuerflächen des Flugzeugflügels oder Antennen und Empfänger eines Bodenradars der Luftverkehrsinfrastruktur sowie Check-In-Bereiche und Gates eines Flughafens repräsentieren beispielhaft die **Komponente**nebene in den Subsystemen.

Diese Gliederungsstruktur eignet sich für Gesamtsystembetrachtungen des Lufttransportsystems. Es ist selbstredend, daß Systemstrukturierungen aus Sicht verschiedener Disziplinen durchaus anders und tiefergehender ausgeprägt sein können.

Das Konzept der VIP wird verwendet, um die Entwicklungen neuer Technologien für die Teilsysteme sowie balancierte Optimierungen der Teilsysteme für ein Gesamtlufttransportsystem zu ermöglichen. Damit wird das Erreichen multidisziplinärer oder globaler Ziele wie jener aus Tabelle I-1 praktikabel.

Jede VIP als Forschungsplattform für neue Technologien fokussiert sich auf eine Grundmission, wie sie im Lufttransportsystem typisch sind:

- **Kurzstrecken**lufttransport,
- **Langstrecken**lufttransport und
- **Individueller** Lufttransport.

Diese missionsorientierten Grundunterscheidungen werden getroffen, da jede dieser Grundmissionen besondere Eigenschaften und somit auch in zukünftigen Lufttransportszenarien besondere Anforderungen an verschiedene Technologiebereiche stellt. So sind Hochauftriebssysteme eines Flugzeugs im Kurzstreckenbereich für die dominierenden Start- und Landephase von besonderer, aber eben nicht ausschließlicher Bedeutung, ebenso wie die Lärm- und Emissionsverhältnisse im Flughafennahbereich im Vergleich zum Langstreckenlufttransport. Das bedeutet nicht, daß sie für den Langstreckentransport nicht relevant sind, jedoch dominieren hier vor allem

Kabinenkomfort oder Emissionen in großen Flughöhen. Ebenso sind die aerodynamische Effizienz für den Langstreckenlufttransport oder der Kraftstoffverbrauch im Reiseflug beispielsweise von großer Relevanz. In der realen Welt sind Kurz- und Langstreckentransport z.B. in den klassischen Hub-Spoke-Netzwerken einer Airline miteinander verknüpft; die Verknüpfung mit anderen Verkehrsträgern zu intermodalen Lufttransportkonzepten stellt eine interessante Forschungsaufgabe für Zukunftskonzepte dar, um bezogen auf globale Gesamtziele ein noch besseres Lufttransportsystem zu entwickeln. Gerade der intermodale Aspekt des Lufttransports spielt für zukünftige Konzepte eine größere Rolle und wurde erstmals im europäischen „Flightpath 2050“ explizit als Globalziel formuliert, siehe [6].

Als weiteres Merkmal müssen die VIP bestimmte Zielzeithorizonte adressieren, zu denen bestimmte Technologien zur operationellen Anwendung kommen sollen. Hierfür wird der Technologiestand 2010 für alle Teilsysteme des Lufttransportsystems als Referenz definiert. Technologiereifegrade oder „Technology Readiness Level (TRL)“ im Jahr 2010 bestimmen den potentiellen Einführungszeitraum.

- Technologiereifegrad **TRL1** (Grundidee vorhanden) in 2010 Einführungszeitraum um **2050**
- Technologiereifegrad **TRL3** (theoret. Konzept) in 2010 Ein führungszeitraum um **2030+**
- Technologiereifegrad **TRL6** (Machbarkeit demonstriert) in 2010 Einführungszeitraum um **2020**

Demnach werden VIP im DLR für jede Grundtransportsystemmission für 2010 als Referenz sowie für die jeweiligen Zielzeithorizonte mit potentiellen Technologien definiert. Im ersten Schritt erfolgen diese Definitionen für den Referenzzeitpunkt 2010 sowie den Zielzeithorizont 2030+ (d.h. nach 2030 und vor 2050), da für den Zeitraum 2020 vor allem Produktverbesserungen wie die A320NEO oder für A320, A350 und B787 zu erwarten sind.

Die in dieser Form definierten VIP werden als Auslegungs- und Simulationsumgebungen, aber vor allem auch als konkrete Zukunftskonzepte in die Bewertungslogik des DLR integriert, um die Relevanz neuer Technologien in den verschiedenen Systemebenen in integrierender Form analysieren zu können.

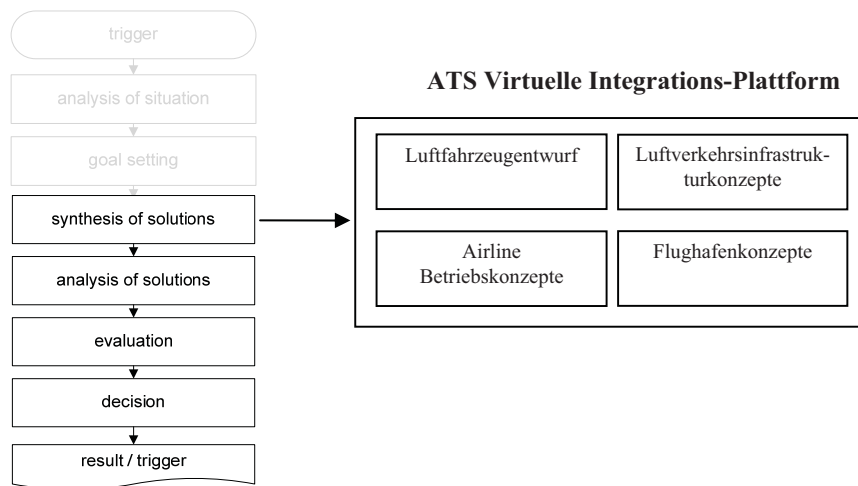


Bild III-1: Integration der VIP in die Technologiebewertungslogik des DLR [7]

Eine Vielzahl von Technologien in unterschiedlichen Reifegraden stehen für die verschiedenen Teilsysteme des Lufttransportsystems zur Verfügung bzw. sind denkbar. Jede hat unterschiedliche Vor- und Nachteile, die sich reduzieren oder verstärken können, wenn sie mit anderen Technologien verknüpft werden im Rahmen einer Gesamtsystemintegration. Derartige Integration auf Systemebenen führt zu zusätzlicher Erkenntnis und somit zu einem Mehrwert über das Verhalten einer Technologie in einem realitätsnahen Umfeld. Diese Integrationslogik ist durchaus etabliert auf den jeweiligen Teilsystemebenen wie z.B. Flugzeug, Flughafen oder ATM und spiegelt sich

in aktuellen Großforschungsprogrammen wie den europäischen JTI und SESAR oder den amerikanischen N+3 und NextGen wieder, siehe [4], [5]. Die Integration und Analyse auf globaler, d.h. ATS-Gesamtebene, die die Sichtweise auf überregionale europäische, amerikanische oder globale Ebenen erweitert, ist der logische neue und nächste Schritt, der mit dem Konzept der VIP gegangen wird. Ein solcher Ansatz wird auch als „System der Systeme“-Ansatz bezeichnet.

Er ermöglicht beispielsweise die Untersuchung der kombinierten Effekte lokaler Lärmreduktionsmaßnahmen durch „Continuous Descent Approaches“ (CDA) aus dem Bereich der Flugführung und verbesserten Hochauftriebssysteme im Bereich der Flugzeugtechnologien. Eine wesentliche Voraussetzung für derartige integrierte Systemforschung ist jedoch, daß die zu untersuchenden Technologien apriori definiert und spezifiziert sowie in logischer Form zusammengestellt sein müssen.

Während Forschung im Bereich physikalischer Grundprinzipien sehr offen ist bezüglich bestimmter Lösungen, untersucht die Forschung im Bereich der Systemintegration balancierte Optimierungen und den Mehrwert verschiedener Zusammenstellungen prinzipiell machbarer Lösungen. Im nächsten Abschnitt werden daher Definitionen der drei VIP vorgestellt, bei denen für die verschiedenen Teilsysteme potentielle Technologien ausgewählt wurden.

IV. Zusammenstellung und Integration neuer Lufttransportkonzepte

A. Vorgehensweise zur Definition neuer Lufttransportkonzepte

Um neue Lufttransportkonzepte definieren und auslegen zu können, ist ein umfassender Gesamtsystemansatz erforderlich, der insbesondere die Wechselwirkungen und Schnittstellen zwischen den wesentlichen Teilsystemen berücksichtigt. In diesem Abschnitt werden verschiedene Herangehensweisen diskutiert, die zu Definitionen neuer Lufttransportkonzepte führen. Prinzipiell lassen sich hier zugenannte „Top Down“- und „Bottom Up“-Ansätze unterscheiden, die je nach Forschungsfragestellung gewählt werden können. Besonders interessant sind dabei Forschungsfragestellungen, die eine Mischung aus beiden erfordern.

Bei der Verfolgung eines „Top Down“-Ansatzes werden zunächst Konzepte für das Flugzeug, den Flughafen, das ATM-System sowie die Airline definiert. Dabei liegt die besondere Herausforderung in der balancierten und herausfordernden Definition der Konzepte selber sowie der zugehörigen Technologien. Zielsetzung dieses Ansatzes ist es, einen ausgewogenen Gesamtsystemoptimierung zu erzielen, z.B. hinsichtlich der Erreichung der ACARE-Ziele. Als Ergebnis eines solchen Ansatzes liegen am Ende optimierte Gesamtkonzepte sowie Aussagen über die Zielerreichung z.B. bezüglich der globalen ACARE-Ziele, aber auch über den Beitrag der einzelnen Teilsysteme vor. Weiterhin lassen sich mit einem solchen Ansatz Fähigkeitslücken und neue Forschungsfragestellungen identifizieren.

Für den zweiten Ansatz („Bottom Up“) wird zunächst das Referenzsystem für das Jahr 2010 basierend auf den zentralen Teilsystem Flugzeug, Flughafen, Airline und Luftverkehrsmanagement definiert. Für einen vorgegebenen Zielzeithorizont, typischerweise 2020 oder 2030+ werden hierzu vorhandene Einzeltechnologien auf Teilsystem-, Subsystem- oder auch Komponentenebene in die Referenzteilsysteme integriert, um den Nutzwert einer solchen Einzeltechnologie, aber auch von Technologiebündeln im Vergleich zur Referenz 2010 zu ermitteln.

Die Auswahl der Technologien, ebenso wie die Definition der zukunftsgerichteten Lufttransportkonzepte erfolgt durch Wissen, Erfahrung und Intuition oder Bauchgefühl der Systemarchitekten. Ein auf Funktionen des Lufttransportsystems gerichteter Prozeß ist hierfür die zentrale Strategie, um die geeigneten Technologien und Systemkonzepte auszuwählen.

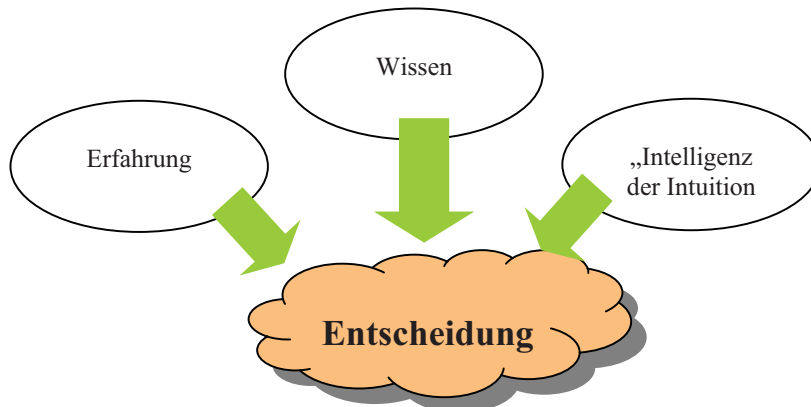


Bild IV-1: Grundlagen für Entscheidungen

Ingenieure gehen bei solchen Prozessen typischerweise rein rational vor und nutzen Kriterien und Metriken wie „Multikriterielle Entscheidungsmethoden“, um eine Auswahl oder eine Entscheidung zu treffen, siehe z.B. [19, 20, 21]. Solche Methoden sind in der Regel sehr umfangreich und komplex und erfordern erhebliche Zeit, um die geeignetste Methode, die relevanten Kriterien und die rechte Gewichtung zu erarbeiten. Insbesondere die rechte Gewichtung der Kriterien basiert dabei in erheblichem Maße auf Intuition. Psychologen, wie *Gerd Gigerenzer* haben nachgewiesen, daß bei solchen Entscheidungen im Unterbewußtsein vielfältige Denkprozesse ablaufen, die diese Entscheidungen wesentlich beeinflussen, siehe [15]. Gerade der letzte Punkt ist ein Feld für weitergehende Forschung, da er dem eigentlichen Selbstverständnis ingenieurwissenschaftlichen Arbeitens entgegensteht. Es gilt zu verstehen, wie Ingenieure technisch operationelle Entscheidungen gerade bei der Entwicklung von Zukunftskonzepten in der Forschung treffen und wie diese Entscheidungen die Definition neuer Lösungen beeinflussen. *Michael Griffin* von der NASA beschreibt den rational getriebenen Entscheidungs- und Entwicklungsprozeß als „Scientific Engineering“, während die Vorgehensweisen, die auf Erfahrung und Intuition basieren, als „Engineering Design“ deklariert werden, siehe [13].

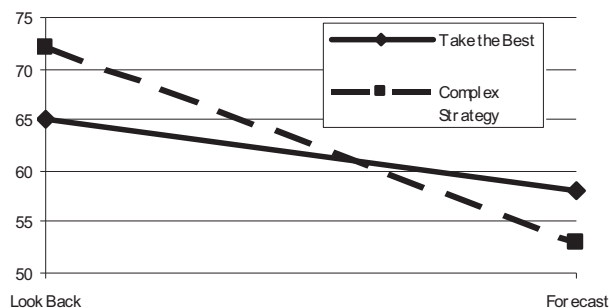


Bild IV-2: Wirkung von Intuition versus komplexer Entscheidungsstrategien bei zukunftsgerichteten Entscheidungen, siehe [15]

Gigerenzer hat in diesem Zusammenhang aufgezeigt, daß bei Entscheidungen über zukünftige Entwicklungen Bauchentscheidungen oder Intuition der Befragten bessere, d.h. zutreffendere Ergebnisse liefern als sehr strukturierte und komplexe Entscheidungsprozesse von Experten, die auf sehr umfassenden Informationsbasen beruhen, siehe auch Bild IV-2. Die Erfolgsquote solcher Bauchentscheidungen ist umso höher, je komplexer und ungewisser das Zukunftsszenario sich darstellt. Der wesentliche Grund hierfür liegt darin, daß bei den Entscheidungsprozessen des Unterbewußtseins dieses eine drastische Reduktion der Information auf die unmittelbar relevanten Informationen vornimmt. Dieser Reduktionsprozess ist dabei einerseits abhängig von dem Umfeld des Entscheidungsprozesses sowie andererseits von der Erfahrung und dem Wissen der handelnden Personen.

Aufgrund dieser Erkenntnis werden die VIP definiert und zusammengesetzt aus einer Mischung als ingenieurwissenschaftlichen Auswahlmethoden und plausiblen Begründungen, die sich aus dem „Design Engineering“, also der Intuition der Handelnden ableiten lassen.

Weiter hat La Rocca eine Methode der „Knowledge Based Engineering Techniques“ entwickelt, die als wissensbasiertes Softwaresystem den Auslegungsprozess für Flugzeugkonzepte unterstützt, siehe [14].

Beide Ansätze „Scientific und Design Engineering“ sowie „Knowledge Based Software Systems“ werden für die Definition und Entwicklung der VIP eingesetzt. Um die in Tabelle I-1 aufgeführten Globalziele durch gezielte Systemforschung zu erreichen, wurden die folgenden VIP-Grundkonzepte für den Zeithorizont 2030+ formuliert:

- **Kurzstreckentransport “Leise und Sauber”**
- **Langstreckentransport “Komfortabel und Sauber”**
- **Individuelllufttransport “Flexibel und Schnell”**

B. Das Kurzstreckentransportkonzept “Leise und Sauber

Als ein Beispiel für die definierten VIP wird nachfolgend das Kurzstreckentransportkonzept 2030+ “Leise und Sauber” beschrieben. Die Zukunft des Kurzstreckenlufttransports ist stark abhängig von den betrachteten Regionen. In stark wachsenden Regionen wie Asien besteht die Möglichkeit, die gesamte Lufttransportinfrastruktur in einer optimierten Gesamtform zu entwickeln, während in Regionen wie Europa und den Vereinigten Staaten insbesondere die Flughäfen und die Luftraumstrukturen starke historische Wurzeln haben und somit nur beschränkt veränderbar sind. Daher sind in diesen Regionen auch Kapazitätserweiterungen nur in beschränktem Umfang möglich, bzw. mögliche Lösungsräume für Innovationen ist beschränkt. Weiter steht der Kurzstreckenlufttransport in diesen Regionen in einem zunehmenden Wettbewerb mit Hochgeschwindigkeitszügen. Zuletzt sind die Reisedistanzen in diesen Regionen deutlich kürzer als z.B. im asiatischen Raum. Daher sind am Ende zwei unterschiedliche Konzepte zu entwickeln, die diesen Unterschieden Rechnung tragen. Im ersten Schritt wird ein Kurzstreckenlufttransportkonzept für den europäischen Raum entwickelt:

“Leise und Sauber” wurde als globale Zielsetzung formuliert, weil Kurzstreckentransport gleichzeitig räumlich in seiner wesentlichen Wirkung als auch geographisch auf Flughäfen begrenzt ist. Daher spielen hier die globalen ACARE-Ziele bezüglich Lärmwirkung und lokalen Emissionen im Flughafenumfeld eine besondere Rolle und betreffen viele Menschen. Daher werden insbesondere jene Technologien und Konzepte adressiert, die hier besonders stark wirken können. Aber auch Flughafen- und regionale Luftraumkapazitäten sowie Effizienz und Pünktlichkeit werden durch dieses Konzept angesprochen. Daher ist das VIP1 „Kurzstreckenlufttransport“ wie folgt zusammengesetzt:

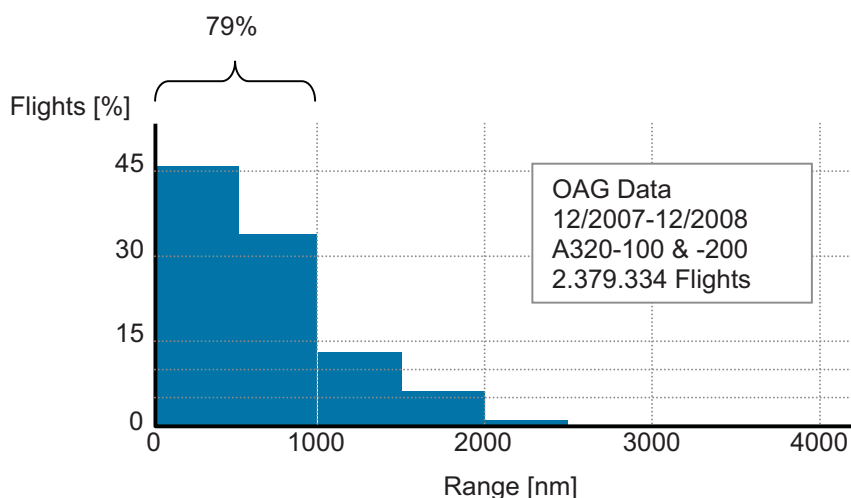


Bild IV-3: Reichweitenverteilung der Kurzstreckenflüge

Ein “Short Take Off and Landing” Flugzeug mit ca. 150 Passagieren ist definiert, das gleichermaßen geringe Emissionen und Lärmwirkungen sowie Steilstart- und –landefähigkeiten aufweisen soll. Die zu erreichende Startbahnlänge soll nach Bild IV-5 2500ft betragen.

Da mehr als 95% aller weltweit von A320 und B737 durchgeführten Flüge Strecken unter 2000 nm bedienen, werden die Flugleistungen auf diese Reichweite sowie Reisemachzahlen <0.8 festgelegt, siehe Bild IV-3.

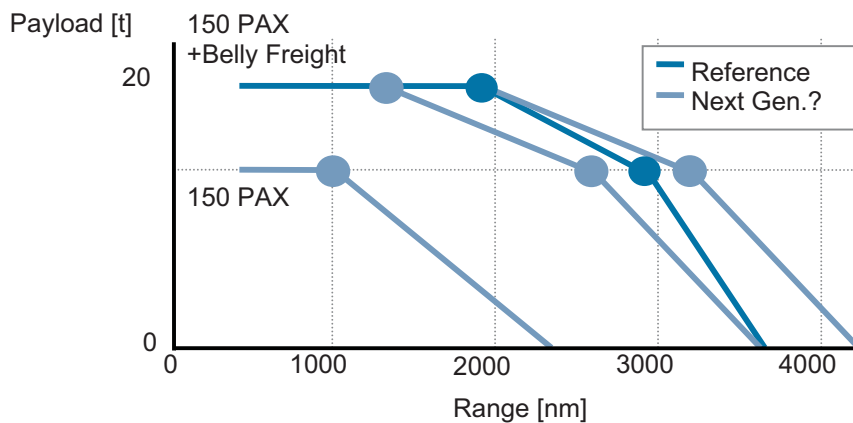


Bild IV-4: Nutzlast-Reichweitendiagramm des neuen Kurzstreckenflugzeugs

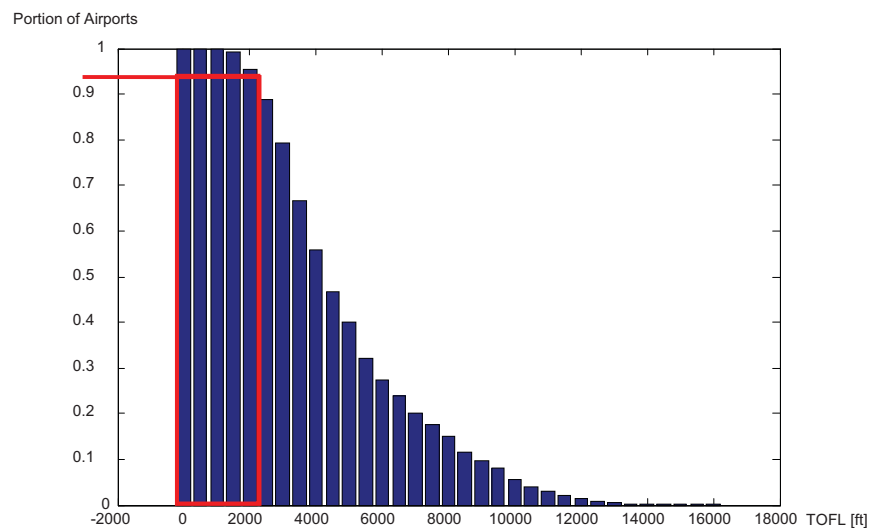


Bild IV-5: Startbahnlängen der Flughäfen

Das Teilsystemflughafen ist als “*Connective medium size airport*” definiert und soll zeiteffizienten Passagierdurchfluß einerseits und hochfrequente Flugzeugbewegungen andererseits ermöglichen. Typische “Spoke”-Flughäfen dieser Art weisen ein Passagieraufkommen von etwa 10-25 MPax/Jahr auf und verfügen in 95% der Fälle über eine Startbahnlänge von 2500ft. Dieses Flughafenkonzept soll erweiterte Kapazitäten am Boden und

im Nahbereich aufweisen, um die Verdopplung des Verkehrsaufkommens nach ACARE zu realisieren. Hierzu sind insbesondere Technologien zur Erhöhung der Start-/Landebahnapazitäten sowie der Slots bei abhängigen Landebahnen zu entwickeln. Ebenso sind neue APRON-Konzepte erforderlich, die mehr Kapazitäten und beschleunigte Turn-Around-Prozesse ermöglichen. Im Terminal soll das Konzept Technologien für beschleunigten Durchfluß, Check-In und Sicherheitscheck sowie für Boarding/Deboarding an den Gates aufweisen. Insbesondere Letzteres ist eine unmittelbare Schnittstelle zum Flugzeugkonzept.

Das Konzept für das Teilsystem "Luftverkehrsinfrastrukturen und Prozesse (ATIP) wird direkt an den SESAR-ATM-Masterplan angelehnt, der die meisten der bis 2030+ absehbaren CNS und ATM-Technologien umfaßt, siehe [10]. In Tabelle IV-1 gibt hierzu eine Übersicht über die relevante Key-Performance-Areas (KPA) und die zugehörigen Key-Performance-Indicator (KPI). Auch wenn der SESAR-Masterplan eigentlich nur bis zum Jahr 2020 die Entwicklungen spezifiziert, wird seine Relevanz auch für den Zeitraum bis nach 2030 angenommen, da die Änderungsgeschwindigkeiten im ATM-Sektor aufgrund seiner Komplexität und vielfältigen Abhängigkeiten eher geringer ist. Das Konzept für ATIP wird für das Kurzstrecken, wie oben bereits angesprochen sowohl CDA-Verfahren als auch Lösungen für neue regionale Luftraumstrukturen und Luftraummanagement-Prozesse umfassen, um höhere Kapazitäten rund um den Flughafennahbereich zu schaffen. Gleiches gilt für neue Verfahren auf dem Kurzstrecken-EnRoute-Bereich, wo Fliegen in geringeren Höhen sowohl das Flugzeug als auch die ATM-Strukturen betrifft.

Als weiteres zentrales Teilsystem, welches die Luftfahrzeuge betreibt, sind die Airlines in dem VIP zu definieren, die sich durch unterschiedliche Geschäfts- und Betriebsmodelle auszeichnen. Für „Point-to-Point Airlines“ wie auch für klassische Netzairlines, die mit einem Hub-Spoke-Netz operieren, sind die abzudeckenden Reichweiten im Netz sowie die eingesetzten Flugzeugtypen die entscheidenden Erfolgsfaktoren, siehe ref. [18]. Jüngste Analysen haben hierzu die Tendenz aufgezeigt, daß mit größeren Flugzeugen profitabler gearbeitet werden kann. Diese Tendenz bedarf jedoch eingehenderer Untersuchungen.

Da sowohl sowohl "Point-to-Point" als auch Netzwirkairlines Kurzstreckenflugzeuge auf der Basis verschiedener Geschäftsmodelle in unterschiedlichen Betriebskonzepten einsetzen, beeinflussen die resultierenden Flugfrequenzen und Reichweiten auch wesentlich die Flughafenkapazitäten und die ATM-Leistungen in den jeweiligen Regionen. Aus diesen Aspekten heraus werden die unterschiedlichen Geschäftsmodelle der Airlines als wesentliches Unterscheidungsmerkmal herangezogen.

KPA	Key Performance Indicator (KPI)	Baseline		2020 Target	
		Year	Value	Absolute	Relative
Capacity	Annual IFR flights in Europe	2005	9,2 M	16 M	73%
	Daily IFR flights in Europe	2005	29,000	50,000	73%
	Best In Class (BIC) declared airport capacity in VMC (1 RWY), mov/hr	2008	50	60	20%
	BIC declared airport capacity in VMC (2 parallel dependent RWYs), mov/hr	2008	90	90	0%
	BIC declared airport capacity in VMC (2 parallel independent RWYs), mov/hr	2008	90	120	25%
	BIC declared airport capacity in IMC (1 RWY), mov/hr	2008	25	48	90%
	BIC declared airport capacity in IMC (2 parallel dependent RWYs), mov/hr	2008	45	72	60%
	BIC declared airport capacity in IMC (2 parallel independent RWYs), mov/hr	2008	45	96	110%
Cost Effectiveness	Total annual en-route and terminal ANS cost in Europe, €/flight	2004	800	400	-50%
Efficiency	Scheduled flights departing on time (as planned)			>98%	
	Avg delay of the remaining scheduled flights			<10 min	
	Flights with block-to-block time as planned			>95%	
	Avg. block-to-block time extension of the remaining flights			<10 min	
	Flights with fuel consumption as planned			>95%	
	Avg. additional fuel consumption of the remaining flights			<5%	
Flexibility	Accommodation of VFR-IFR change requests			>98%	
	Unscheduled flights departing on time (as requested)			>98%	
	Avg delay of the remaining unscheduled flights			<5 min	
	Scheduled flights with departure time as requested (after change request)			>98%	
	Avg delay of the remaining scheduled flights			<5 min	
Predictability	Coefficient of variation for actual block-to-block times: for repeatedly flown routes			<1,5%	
	Flights arriving on time (as planned)			>95%	
	Avg arrival delay of the remaining flights			<10 min	
	Total reactionary delay	2010			-0,5
	Reactionary flight cancellation rate	2010			-0,5
	Total service disruption delay	2010			-0,5
Safety	Percentage of diversions caused by service disruption	2010			-0,5
	Annual European-wide absolute number of ATM induced accidents and serious or risk bearing incidents	2005		No increase	
	Safety level (per flight)	2005			x 3
Environmental	Avg. fuel savings per flight as a result of ATM improvements	2005			0,1
	Avg. CO2 emission per flight as a result of ATM improvements	2005			-0,1
	Compliance with local environmental rules			1	
	Number of proposed environmentally related ATM constraints subjected to a transparent assessment with an environment and socio-economic scope			1	

Tabelle IV-1: ATIP Anforderungen abgeleitet aus dem SESAR Masterplan

Diese kurze Beschreibung des Kurz streckentransportkonzepts "Leise und Sauber" zeigt auf, dass für Gesamtkonzeptentwicklungen, die der Erreichung globaler Ziele dienen sollen, alle wesentlichen Teilsysteme in ihren wesentlichen Einflußgrößen und Abhängigkeiten gleichzeitig in einem gemeinsamen, abgestimmten Konzept zu entwickeln sind. Die Entwicklung solcher Gesamtkonzepte basiert dabei mehr auf der Definition von Fähigkeiten und weniger auf physikalischen Anforderungen. Weiter spielt die abgestimmte Definition der Schnittstellen eine wichtige Rolle, aus denen zum Teil bereits konkrete Lösungen für die jeweils abhängigen Teilsysteme resultieren.

Zusammenfassend gibt Bild IV-6 eine Übersicht über die Definition und die wesentlichen Merkmale des Kurzstreckentransportkonzepts.

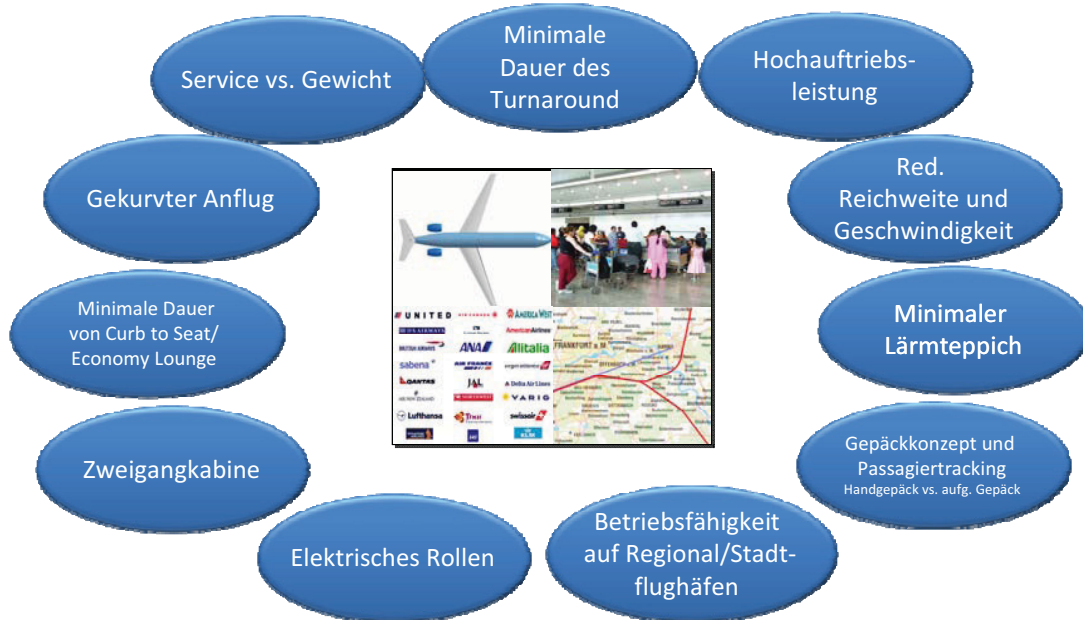


Bild IV-6: VIP1 Kurzstreckentransportkonzept "Leise und Sauber"

Die Ableitung neuer Lufttransportkonzepte in dieser Form erscheint auf den ersten Blick logisch und plausibel, aber nicht unbedingt offensichtlich oder zwingend, wenn nur rationale Entscheidungsfindungsprozesse wie „Multi Criteria Decision Making (MCDM)“ betrachtet werden. Hier hat die Psychologie gezeigt, daß derartige rationalenquantitative Methoden um so häufiger versagen, je unkonventioneller die avisierten Lösungen und je komplexer und ungewisser der zukünftige Zielhorizont sind. In diesen Situationen spielen Intuition und Unterbewußtsein basierend auf Wissen und Erfahrung eine zunehmend größere Rolle. Methoden wie die „House of Quality (HoQ)“-Methode sind systematische Ansätze, um Intuition und unterbewußtes Wissen und Erfahrung von beteiligten Experten strukturiert zu bündeln und zusammenzufassen. Derartige Ansätze werden jedoch in der Ingenieurwelt häufig mit Zurückhaltung aufgenommen, da diese nicht gewohnt sind, mit derartigen, oft als „unwissenschaftlich“ empfundenen Methoden zu arbeiten, die ihren Ursprung in den empirischen Wissenschaften haben. Ein Nachteil rationaler Methoden ist, daß sie als rein analytischer oder „bottom up“-Ansatz erscheinen und auch so eingesetzt werden. Empirische Methoden wie die HoQ-Methode basieren weniger auf analytischen Details und eignen sich daher mehr für sogenannte „top-down“ Analysen, wie sie für gesamtsystemische Betrachtungen erforderlich sind. Hier kommt es ähnlich wie bei der Intuition auf die Fokussierung auf die wesentlichen Schlüsselfaktoren an, deren Verknüpfungen vielfach nur durch unterbewußtes Wissen identifiziert werden. Daher wird es für die Entwicklung von umfassenden Gesamtkonzepten notwendig sein, auch solche nicht-technischen oder psychologischen Aspekte zu betrachten, um zu verstehen, wie neue Lufttransportkonzepte entstehen, [13,15].

C. Langstrecken- und Individual Lufttransportkonzepte

Zur Vervollständigung werden hier die beiden übrigen VIP-Konzepte Langstreckenlufttransport 2030+ „Komfortabel und Sauber“ sowie Individueller Lufttransport 2030+ „Flexibel und Schnell“ kurz vorgestellt, die mit derselben Definitionsphilosophie erarbeitet wurden wie das VIP1 Kurzstreckenlufttransport 2030+.

„Komfortabel und Sauber“ ist die Zielvorstellung für den Langstreckenlufttransport im Jahre 2030+ und adressiert schwerpunktmäßig den Kabinenkomfort auf langen Flügen sowie die Umweltwirkung von Luftfahrzeugen auf langen Strecken und in großen Höhen, die auf dieser Grundmission eine höhere Bedeutung haben als im

Kurzstreckensegment. Dennoch sind diese Zielvorstellungen nicht nur für den Langstreckenflug allein gültig. Grundlage sind Zukunftsszenarien, die von einem wachsenden Massentransport zumindest im und mit dem asiatischen Raum ausgehen sowie einem nachhaltigen Umweltbewußtsein für Flugreisen. Andererseits steht für die Airlines Wirtschaftlichkeit absolut im Vordergrund. Akzeptable Preise sowie Reisekomfort und –qualität über die gesamte Reise, also hin in der Kabine sowie am Flughafen, und effiziente, d.h. verzugslose Übergänge Flughafen-Flughafen und Flughafen-Flugzeug sind weitere zentrale Ziele, die insbesondere beim Langstreckenlufttransport im Vordergrund stehen.

Hierfür sind neue, unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen mit effizienter Aerodynamik und neuen Antriebstechnologien zu entwickeln. Die Fähigkeit, derartige Konfigurationen umfassend und detailliert auslegen zu können, ist ein weiteres Forschungsziel.

Im Nahen Osten gewinnen Mega-Hubs wie Abu Dhabi oder Dubai World Central eine zunehmende Bedeutung, die nicht nur die Luftverkehrsströme global verändern werden, sondern auch hinsichtlich des eigenen Betriebs erhebliche Anforderungen an die Effizienz stellen. Hier ist zu untersuchen, bis zu welcher Größe und Ausprägung derartige Meg-Hubs unter den Zielen der ACARE realisierbar sind.

Aufgrund dieser Trends sowie dem gegebenen Systemwissen wird das Langstreckenlufttransportkonzept 2030+ wie folgt formuliert:

- Blended Wing Body **Flugzeugkonfiguration** mit komfortabler Großkabine und Frachtladesystemen
- Mega **Flughafen**konzept ausgelegt auf durchgängigen hohen Passagierkomfort
- **Airline** Netzwerkkonzept, welches auch Zwischenstops als Standardrouten enthält, um ein solches Betriebskonzept für konventionelle Flugzeuge mit verkürzter Reichweite mit einem BWB-Betriebskonzept zu vergleichen
- Single-Pilot-Operations **ATM**-Technologiekonzept, welches für die Langstrecke wirtschaftliche Vorteile ausweisen kann und zu erheblichen Veränderungen am Flugzeug und im ATM führen wird.

Dieses Gesamtkonzept adressiert insbesondere die Schnittstellen und Wechselwirkungen zwischen den wesentlichen Teilsystemen im Langstreckenbetrieb und fokussiert auf die wesentlichen Ziele der ACARE bezüglich Umwelt und Reisequalität.

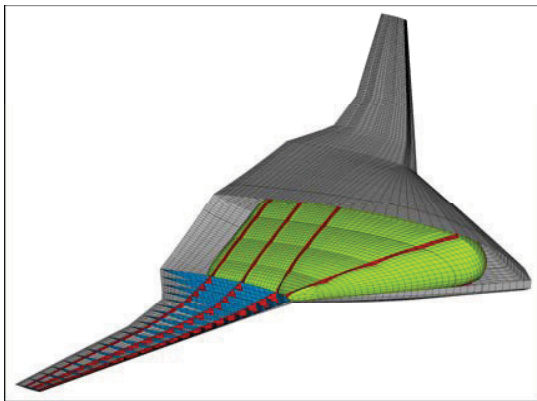


Bild IV-7: Blended Wing Body für das Langstreckenlufttransportkonzept, siehe [16]

So ist das Gesamtkonzept bestehend aus den vier Teilsystemen Flugzeug, Flughafen, ATM und Airline auf 90%-NO_x-Reduktion, verglichen mit dem Jahr 2000, auszulegen, d.h. (-80% zwischen 2000 und 2020 sowie weitere 50% also 10% zwischen 2020 und 2050). Aber auch durchgängiger Passagierkomfort und hohe Transportleistungskapazität des Lufttransportsystem im Flugzeug, am Flughafen, im Luftraum sowie in der Airline erfordern eine balancierte Auslegung, die nur durch interdisziplinäre Teams zu leisten ist. Hierzu entsteht die

Entwicklung von Methoden zur Etablierung eines gemeinsamen Systemverständnisses sowie zur Sensibilisierung für Schnittstellen und Wechselwirkungen als eigene Forschungsaufgabe. Bild IV-8 gibt hierzu eine Übersicht über die Gesamtdefinition des VIP2 Langstreckenlufttransport „Komfortabel und Sauber“. Die Blended Wing Body-Konfiguration wurde gewählt als herausfordernde Entwurfsaufgabe, da sie das Potential für effizienten Massentransport einschließlich komfortabler Großkabine in einer neuen Primärstruktur bietet. Hierbei sind nicht nur neue Klima- und Unterhaltungssysteme zu integrieren, sondern auch minimaler Energieverbrauch der Systeme und größere Platzfreiheit zu realisieren. Im Bereich der Aerodynamik und Strukturauslegung stellt die Laminarisierung dicker Körper ein weiteres Forschungsfeld dar.

Der effiziente und damit störungsfreie Betrieb eines solchen Luftfahrzeugs im Blick der ACARE-Ziele Pünktlichkeit und Reisequalität führt zur Definition eines zeiteffizienten Mega-Hub Flughafens. Die besondere Herausforderung liegt hier in kurzen Turn-Around-Zeiten und einem schnellen, störungsfreien Rollfeldbetrieb des Flugzeugs.



Bild IV-8: VIP2 Langstreckentransportkonzept „Komfortabel und Sauber“

Hinsichtlich der Automatisierung des Luftverkehrsmanagements bietet das Konzept „Single-Pilot—Operations“ einen Ansatz für eine Lösung, die sich insbesondere im Langstreckenbetrieb anbietet und weitreichende Veränderungen sowohl der Geräte und Systeme, aber auch der Luftraumüberwachung und der Rolle von Piloten und Lotsen nach sich zieht. Weiter werden an der Schnittstelle zum Flughafen neue Start- und Landeverfahren sowie Notverfahren und Zulassungsprozeduren erforderlich.

Der Individuelle Lufttransport als dritte Ausprägung eines zivilen Lufttransportsystems greift den Bedarf nach individueller und damit flexibler und schneller Flugreise auf. Dieser Bedarf wird heute überwiegend durch den Geschäftsreiseflugbetrieb gedeckt. Als ein mögliches Zielkonzept wurde hier der Überschallgeschäftsreiseflug als Antwort auf die Zielsetzung „Flexibel und Schnell“ formuliert. Der Überschallflug mit den notwendigen Flugzeug und Betriebstechnologien stellt hier eine besondere wissenschaftliche Herausforderung dar. Bild IV-9 gibt hierzu die Übersicht über die Gesamtkonzeptdefinition. Zudem sind wirtschaftliche Geschäfts- und Betriebsmodelle zu entwickeln, die den übergeordneten Zielsetzungen Rechnung tragen.



Bild IV-9: VIP3 Individuelllufttransport "Flexibel und Schnell"

Erste Marktanalysen haben aufgezeigt, daß profitable Betriebsmodelle für Überschallgeschäftsreiseflugzeuge möglich erscheinen, siehe [11]. Diese Analysen erscheinen Erfolg versprechender als ein Entwurf im Format einer Concorde. Auch wenn Überschallflug aus Sicht der Klimawirkung kritisch zu sehen ist, so liegt gerade hierin die wissenschaftliche Herausforderung, ein Lufttransportsystem zu schaffen, das dem Bedarf nach Flexibilität und Schnelligkeit einerseits und Klimaverträglichkeit andererseits gerecht wird. Dieses erfordert die Entwicklung der genannten Technologien sowie angepaßter Flugrouten ebenso wie die Entwicklung dazu passender Geschäftsmodelle.

D. Entwicklungs- und Entwurfumgebung

Die Entwicklung zukünftiger, innovativer Lufttransportkonzepte, die insbesondere Verbesserungen aus der Schnittstellenoptimierung im Rahmen der Systemintegration hervorbringen sollen, erfordert eine geeignete Entwurfs- und Simulationsumgebung, die die Balance zwischen notwendiger Umfassenheit und Begrenzung auf die notwendigen Details aufweist. Das DLR hat hierzu in einer umfassenden Kollaboration die Entwurfsumgebung VAMP (Virtual Aircraft Multidisciplinary Analysis and Design Processes) entwickelt, die diese interdisziplinäre und integrierende Entwurfsumgebung für den Flugzeugentwurf bereitstellt, siehe [12].

Das Kernelement dieser Umgebung ist eine gemeinsame XML-basierte Beschreibungssprache, CPACS (Common Parametric Aircraft Configuration Standard) genannt, mit der auf Parameterbasis alle wesentlichen Elemente eines Flugzeugs, aber auch eines Flughafens und der Luftverkehrsinfrastrukturen beschrieben werden können.

Die Flugzeugentwurfs- und Analyseumgebung VAMP ist seitens der Softwarearchitektur modular, im Modellierungsgrad hierarchisch aufgebaut und beginnt mit der Initialisierung einfacher Handbuchmethoden (siehe im nachfolgenden Diagramm oben links). In der nächsten Auslegungsstufe werden detailliertere, aber einfache physikalische Entwurfsverfahren wie „Lifting Line“ zur Berechnung der Auftriebsverteilung initiiert, um den Konzeptentwurf in detaillierterer Form zu verfeinern. Hierzu liefert die Entwurfsumgebung VAMP den Vorteil, daß alle Berechnungen in einer durchgängigen Datenumgebung ablaufen und somit Datenübertragungsfehler vermindert werden.

Aktuell wird das grundlegende Datenformat CPACS in den Instituten des DLR, aber auch bei Airbus sowie den Universitäten TU Delft, KTH Stockholm, Stanford und Virginia Tech eingeführt, um für die Flugzeugentwerfer die Flexibilität zu schaffen, eigene Werkzeuge mit anderen in unterschiedlichen Detaillierungsstufen der Berechnung und Auslegung verbinden zu können.

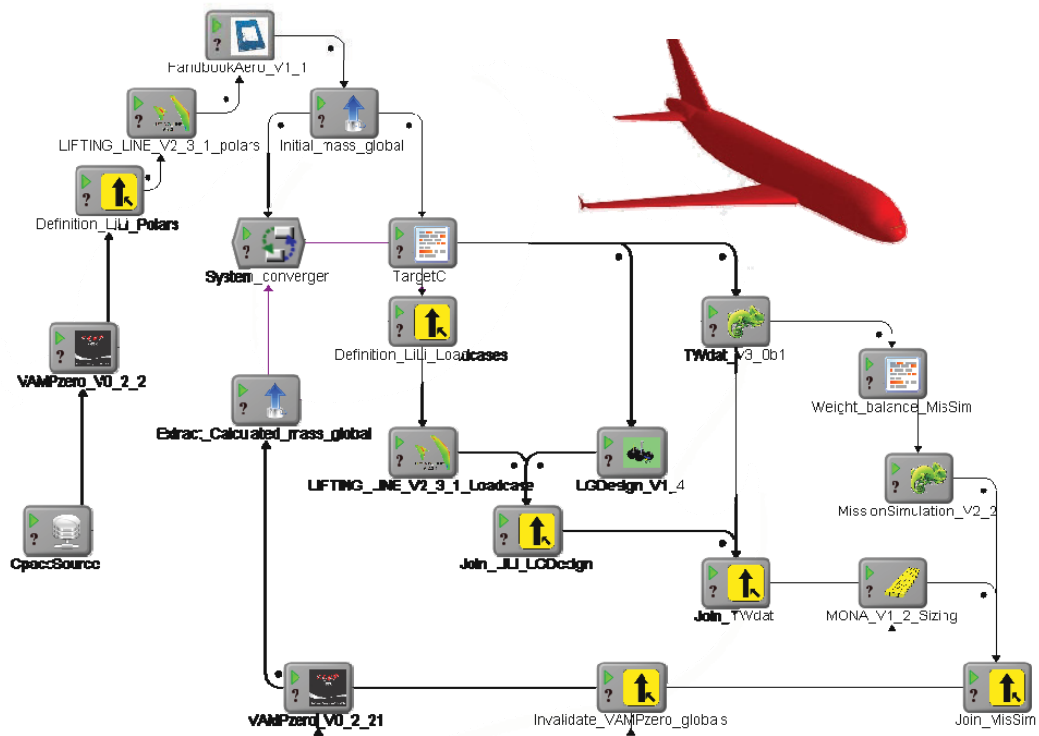


Bild IV-10: Werkzeugkette VAMP für den integrierenden Flugzeugentwurf, siehe [12]

Auf diesen Erfahrungen des integrierenden, interdisziplinären Flugzeugentwurfs aufbauend wird im DLR mit dem Projekt „Total Integrated Air Transportation System“, (TIATS) eine zweite Entwurfsumgebung zur Modellierung und Simulation des Lufttransportsystems mit den Schwerpunkten Luftverkehrsinfrastrukturen, ATM, Flughafen sowie Airline aufgebaut, um für diese Teilsysteme integriert neue Konzepte entwickeln zu können. Beide Umgebungen VAMP und TIATS kommunizieren über die CPACS-Struktur, so daß Flugzeugentwurf und Lufttransportsystementwurf in einer „Sprache“ abgebildet werden, siehe Bild IV-11.

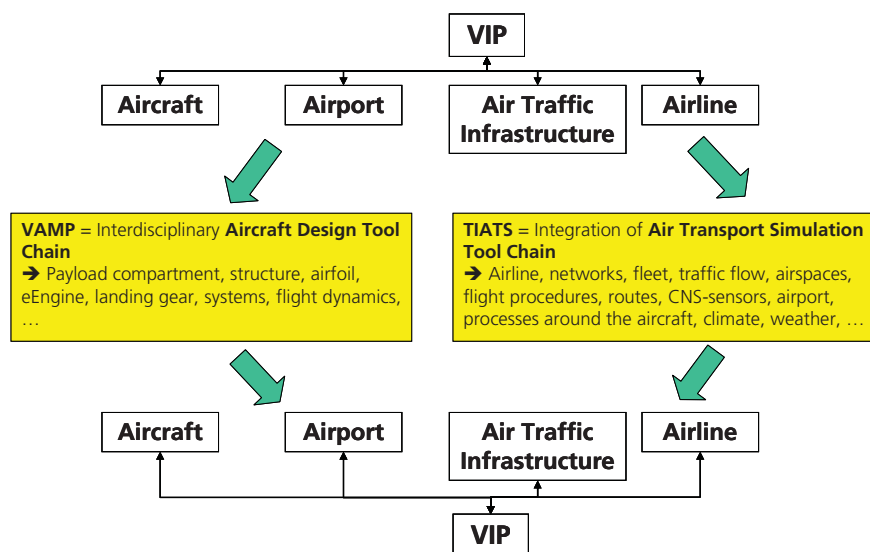


Bild IV-11: VIP – Entwicklungs- und Werkzeugkettenstruktur

E. Beispiel für eine einzelne Technologieintegration und Analyse

Im Rahmen des Aufbaus der Entwurfs- und Analyseumgebungen wurde am Beispiel der Einführung der Laminartechnologie in einer Airlineflotte die Funktionsfähigkeit und Anwendbarkeit überprüft. Hierfür wurde in einem eigenständigen Projekt ein vorwärtsgepeiltes Kurzstreckenflugzeug mit Flügeln natürlicher Laminarität entworfen und in eine bestehende Airlineflotte eingeführt, siehe [17]. Die Optimierungsaufgabe bestand nun darin, den Betrieb eines solchen Flugzeugs bei vorgegebenen Flughäfen und Routen profitabel zu gestalten.

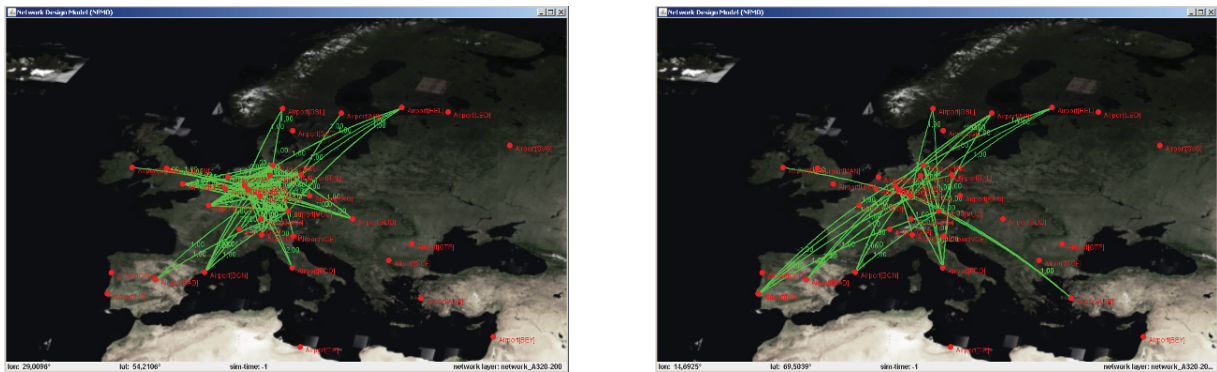


Bild IV-12: Veränderungen einer Airlinernetzstruktur durch Einführung eines Flugzeugs mit Laminarflügeln

Bild IV-12 zeigt hierzu auf Airlineflottenebene, daß sich die Netzstruktur doch deutlich verändert, siehe rechtes Bild. Es werden weiter alle bisherigen Flughäfen angebunden, aber die Frequenz und Netzdichte reduzieren sich. Die einzelnen Route bewegen sich zu größeren Streckenlängen. Diese ersten Ergebnisse werden aktuell weiter vertieft, um die Mechanismen genauer zu verstehen. Hierzu zeigen erste Analysen der Blockfuellersparnis, daß diese mit zunehmender Streckenlänge deutlich größer ausfallen, siehe Bild IV-13.

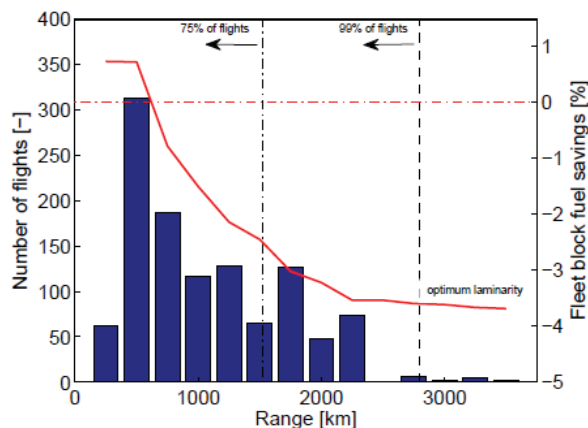


Bild IV-13: Blockfuel-Erparnis und Fluganzahl abhängig von der Streckenlänge

Bild IV-13 zeigt weiter, daß für ein Airline-Netz, das auf maximalen Profit ausgelegt ist, die meisten Flüge über eine Strecke von 750km oder kürzer gehen. Gleichzeitig wird deutlich, daß natürliche Laminarhaltung auf diesen Streckenlängen ihre Stärken nicht vollständig zur Geltung bringen kann. Diese erste Anwendung der vorgestellten Entwurfs- und Analyseumgebung zeigt, daß die Verknüpfung von Technologieentwicklungen im Rahmen des Flugzeugentwurfs mit neuen realitätsnahen operationellen Betriebskonzepten zu erweiterten Aussagen für eine balanzierte Gesamtauslegung führt. Hier wurden lediglich Flugzeugentwurf und Airlineaspekte verknüpft. Im

nächsten Schritt sind durch die Einbeziehung von ATM und dem Flughafen auch deren Implikationen zu berücksichtigen.

V. Zusammenfassung

Um die optimale Einführung neuer Technologien in den Teilsystemen des Lufttransportsystems zu ermöglichen und damit globale Ziele wie die der ACARE zu erreichen, ist eine interdisziplinäre und integrierende Sichtweise und damit verbundene Entwicklungsumgebung erforderlich. Für diesen Ansatz hat das DLR Institut für Lufttransportsysteme das Konzept der „Virtuellen Integrations-Plattformen (VIP)“ entwickelt. Dieses Konzept deckt die wesentlichen Elemente des Lufttransportsystems (Flugzeug, Flughafen, Airline und ATM) in einer integrierten Entwicklungsumgebung ab und ermöglicht so die Analyse teilsystemübergreifender Wechselwirkungen neuer Technologien. Die konkrete Definition der VIP richtet sich auf die Basismissionen Kurzstreckenlufttransport, Langstreckenlufttransport und Individuallufttransport, die jede besondere Anforderungen stellt. Dabei wird zunächst der Zielzeithorizont 2030+ zur Realisierung betrachtet. Die Definition der Konzepte folgt einem Systemengineeringansatz und wendet sowohl rational ingenieurwissenschaftliches als auch empirisches Vorgehen an. Letzteres hat sich als neues Forschungsfeld erwiesen, bei dem es darum geht, die Entscheidungsmechanismen von Ingenieuren, die auf Wissen und Unterbewußtsein basieren, besser zu verstehen. Für die Entwicklung der VIP wurde im DLR zunächst für den integrierten, interdisziplinären Flugzeugentwurf eine modulare und skalierbare Entwurfsumgebung entwickelt. In gleicher Form wird nun eine Modellierungs- und Simulationsumgebung für die Teilsysteme Flughafen, Luftverkehrsinfrastrukturen und Airline entwickelt. Erste Anwendungen der Entwurfs- und Simulationsumgebungen an dem Beispiel der flottenweiten Einführung von Flugzeugen mit natürlicher Laminarität haben gezeigt, daß durch die Verknüpfung von Flugzeugentwurf und realoperationellen Modellierungen des Betriebs erweiterte Erkenntnisse über eine balancierte Auslegung von Teil- und Subsystemen zur Erreichung globaler Gesamtziele des Lufttransportsystems möglich sind. Diese ersten Erkenntnisse sind nun in umfassenderen Studien zu verifizieren hinsichtlich des Nutzens des methodischen Ansatzes der VIP.

VI. Literatur

- ¹ N.N: EUROPEAN AERONAUTICS: A VISION FOR 2020, REPORT OF THE GROUP OF PERSONALITIES JANUARY 2001, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001
- ² N.N: Strategic Research Agenda, Volume 1, Advisory Council For Aeronautics Research in Europe, October 2002, www.acare4europe.org
- ³ N.N: Strategic Research Agenda, Volume 2, Advisory Council For Aeronautics Research in Europe, October 2002, www.acare4europe.org
- ⁴ F. Quentin, J. Szodrich: 2008 Addendum to the Strategic Research Agenda Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, 2008, www.acare4europe.org
- ⁵ E.M. Greitzer, et. Al.: N+3 aircraft Concept Concept Designs and Trade Studies, Final Report, Volume 1, NASA/CR-2010-216794/Vol.1, NASA, December 2010
- ⁶ N.N.: Flightpath 2050 - Europe's Vision for Aviation, Report of the High Level Group on Aviation Research, ISBN 978-92-79-19724-6, Publications Office of the European Union, 2011
- ⁷ V. Gollnick, S. Langhans, E. Stumpf: „A Holistic Approach to evaluate the Air Transportation System“, ICAS Conference, Paper 228, Anchorage 18-23 September, USA, 2008
- ⁸ S. Langhans: „A Systems-Engineering based Methodology for Economic ATSC Concepts Assessment, Ph.-D. Thesis, Institute for Air Transportation Systems, Technical University Hamburg-Harburg, in Vorbereitung
- ⁹ T. Schilling: „Ein Systems Engineering Ansatz zur Definition des Lufttransportsystems“, Institut für Lufttransportsysteme des DLR, IB LK-SA-004/09, Hamburg, 2009

- ¹⁰N.N. :”ATM Master Plan Update Working Group Report, edition 1.1, SESAR Joint Undertaking, European Commission, http://atmmasterplan/faces/public/ur/change_history.jspx March 27th, 2010
- ¹¹B. Liebhardt: “Ökonomische, technische und regulative Rahmenbedingungen für Überschallgeschäftsreisetransportkonzepte und resultierende Anforderungen”, Institut für Lufttransportsysteme des DLR, IB 328-XXX-2010, Hamburg, 2010,
- ¹²D. Boehnke, B. Nagel, V. Gollnick: „An Approach to Multi-Fidelity in Conceptual Aircraft Design in Distributed Design Environments”, IEEE Aerospace Conference, 2011
- ¹³M. D. Griffin: “System Engineering and the Two Cultures of Engineering”, Boeing Lecture, Purdue University, 2007, <http://www.spaceref.com/news/viewsr.html?pid=23775>, last access August 18th, 2011
- ¹⁴G. La Rocca, M. van Tooren: “Knowledge Based Engineering to support aircraft multidisciplinary design and optimization”, Journal of Aerospace Engineering 224 (2010), 1041-1055
- ¹⁵G. Gigerenzer: „Bauchentscheidungen – Die Intelligenz des Unbewußten und die Macht der Intuition.“, Goldmann Verlag, München, 6. Auflage, 2008
- ¹⁶P.D. Ciampa, B. Nagel, M. van Tooren: “Global local structural optimization of transportation aircraft wing”, 1651st AIAA Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 12 - 15 Apr 2010, Orlando, Florida
- ¹⁷M. Braun, K. Wicke, A. Koch, T. Wunderlich: „Airline Systems Analysis of Natural Laminar Flow based on Network Design and Integrated Fleet Planning”, paper submitted to 11th ATIO conference Virginia Beach 2011
- ¹⁸N.N: “Big Future ahead?!, Flight international 17th – 23rd of May 2011
- ¹⁹Xiaoqian Sun and Yongchang Li, “An Intelligent Multi-Criteria Decision Support System for Systems Design”, 13th MAO & 10th Aviation Technology Integration and Operation Conference, 2010.9.13-15, Texas, USA
- ²⁰Xiaoqian Sun and Yongchang Li, Evaluation of Control System Performance Using Multiple Criteria Decision Making Techniques, 49th IEEE Conference on Decision and Control, 2010.12.15-17, Atlanta, USA
- ²¹Xiaoqian Sun, Volker Gollnick and Eike Stumpf: “Extension of Robust Control & its Combination with MCDM”, 20th International Conference on MCDM, Chengdu, China, 2009.6.21-26
- ²²K. Wicke, M. Kruse: “Mission and Economic Analysis of Aircraft with Natural Laminar Flow Technology”, 11th Aviation Technology Integration and Operation Conference, 2011.9.20-23, Virginia Beach, USA