

Beschreibung des

Graduiertenkollegs

zum Thema

Aero-thermodynamische Auslegung eines Scramjet - Antriebssystems für zukünftige Raumtransportsysteme

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Angaben	3
1.1. Thema	3
1.2. Antragsteller	3
1.3. Beteiligte Institute und Arbeitsrichtungen.....	5
1.4. Zusammenfassung.....	5
2. Profil des Graduiertenkollegs	7
3. Forschungsprogramm	9
3.1. Motivation	9
3.2. Grundkonzept und Basisdaten.....	10
3.3. Zielsetzung und Methoden.....	11
3.4. Zusammenarbeit	14
4. Qualifizierungskonzept	18
4.1. Ausbildungsprogramm und Lehrveranstaltungen	18
4.2. Betreuungskonzept	26
5. Programm mit Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern.....	28

1. Allgemeine Angaben

1.1. Thema

Aero-thermodynamische Auslegung eines Scramjet - Antriebssystems für zukünftige Raumtransportsysteme

1.2. Antragsteller

Sprecher (Universität Stuttgart):

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weigand
Universität Stuttgart
Institut für Thermodynamik der Luft- und
Raumfahrt
Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart
Tel.: 0711-685-63590, Fax: 0711-685-62317
e-mail: bw@itlr.uni-stuttgart.de
<http://www.uni-stuttgart.de/itlr/>

Weitere 14 Antragsteller

Prof. Dr.-Ing. Manfred Aigner
Universität Stuttgart
Institut für Verbrennungstechnik der Luft-
und Raumfahrt, IVLR
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel.: 0711-686-2309/2347, Fax.: 0711-686-2578
e-mail: manfred.aigner@dlr.de
<http://www.ivlr.uni-stuttgart.de>

Prof. Dr.-Ing. habil. Nikolaus Adams
Technische Universität München
Lehrstuhl für Aerodynamik
Boltzmannstrasse 15
85748 Garching
Tel.: 089-289-16138, Fax: 089-289-16139
e-mail: Nikolaus.Adams@tum.de
<http://www.aer.mw.tum.de>

Dr.-Ing. Ali Gülhan
Abt. Windkanäle
DLR, Köln-Porz
Linder Höhe
51170 Köln
Tel.: 02203-601-3349 u. 2363, Fax.: 02203
601-2344 u. 2085
e-mail: ali.guelhan@dlr.de
<http://www.sm.go.dlr.de/SMinfo/WTKinfo>

Prof. Marek Behr, Ph. D.
RWTH Aachen
Chair for Computational Analysis of Technical
Systems (CATS)
Steinbachstr. 53B
52056 Aachen
Tel.: 0241-80-28430, Fax: 0241-80-22430
e-mail: behr@cats.rwth-aachen.de
<http://www.cats.rwth-aachen.de>

PD Dr.-Ing. Peter Gerlinger
Universität Stuttgart
Institut für Verbrennungstechnik der Luft- und
Raumfahrt, IVLR
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel.: 0711-686-2309/2347, Fax.: 0711-686-2578
e-mail: peter.gerlinger@dlr.de
<http://www.ivlr.uni-stuttgart.de>

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Kau
Technische Universität München
Lehrstuhl für Flugantriebe
Boltzmannstrasse 15
85748 Garching
Tel.: 089-289-16165, Fax: 089-289-16166
e-mail: kau@lfa.mw.tum.de
<http://www.lfa.mw.tu-muenchen.de>

Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Kröplin
Universität Stuttgart
Institut für Statik und Dynamik der Luft- und
Raumfahrtkonstruktionen
Pfaffenwaldring 27
70569 Stuttgart
Tel. 0711-685-63612, Fax 0711-685-63706
E-mail: office@isd.uni-stuttgart.de
<http://www.isd.uni-stuttgart.de>

Prof. Dr.-Ing. Herbert Olivier
RWTH Aachen, SWL
Stosswellenlabor
Templergraben 55
52056 Aachen
Tel.: 0241-802-4606, Fax.: 0241-802-2175
e-mail: olivier@swl.rwth-aachen.de
<http://www.swl.rwth-aachen.de>

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröder
RWTH Aachen, AIA
Aerodynamische Institut
Wüllnerstrasse zw. 5 u. 7
52062 Aachen
Tel.: 0241-809-5410, Fax.: 0241-809-2257
e-mail: office@aia.rwth-aachen.de
<http://www.aia.rwth-aachen.de>

Prof. Dr.-Ing. Ewald Krämer
Universität Stuttgart
Institut für Aerodynamik und Gasdynamik
Pfaffenwaldring 21
70569 Stuttgart
Tel.: 0711-685-63401, Fax: 0711-685-63438
e-mail: kraemer@iag.uni-stuttgart.de
<http://www.iag.uni-stuttgart.de>

Prof. Dr. Claus-Dieter Munz
Universität Stuttgart
Institut für Aerodynamik und Gasdynamik. der
Luft- und Raumfahrt
Pfaffenwaldring 21
70569 Stuttgart
Tel.: 0711-685-63401, Fax: 0711-685-63438
e-mail: munz@iag.uni-stuttgart.de
<http://www.iag.uni-stuttgart.de>

Prof. Dr.-Ing. Thomas Sattelmayer
Technische Universität München
Lehrstuhl für Thermodynamik
Boltzmannstrasse 15
85748 Garching
Tel.: 089-289-16217, Fax: 089-289-16218
e-mail: sattelmayer@td.mw.tum.de
<http://www.thermo-a.mw.tu-muenchen.de>

Prof. Dr.-Ing. Stephan Staudacher
Universität Stuttgart
Institut für Luftfahrtantriebe
Pfaffenwaldring 6
70569 Stuttgart
Tel. 0711-685-63520, Fax 0711-685-63505
E-mail: staudacher@ila.uni-stuttgart.de
<http://www.ila.uni-stuttgart.de>

Prof. Dr.-Ing. Jens von Wolfersdorf
Universität Stuttgart
Institut für Thermodynamik der Luft- und
Raumfahrt
Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart
Tel.: 0711-685-62316, Fax: 0711-685-62317
e-mail: jens.vonwolfersdorf@itlr.uni-stuttgart.de
<http://www.uni-stuttgart.de/itlr/>

1.3. Beteiligte Institute und Arbeitsrichtungen

Antragsteller	Fachgebiet	Arbeitsrichtung
N. Adams	Aerodynamik	Aerodynamik, numerische Verfahren
M. Aigner	Verbrennung	Überschallverbrennung, Kinetik
M. Behr	Numerische Methoden für Technische Systeme	Numerische Verfahren
P. Gerlinger	Verbrennung	Überschallverbrennung, Kinetik
A. Gülhan	Gasdynamik	Aero-Thermodynamik
H.-P. Kau	Flugantriebe	Antriebssysteme, Überschallverbrennung
B. Kröplin*	Statik und Dynamik	Gradierte Werkstoffe, Mechanik
E. Krämer	Aerodynamik und Gasdynamik	Strömungsmechanik, experimentelle Verfahren
C.-D. Munz	Aerodynamik und Gasdynamik	Gasdynamik, numerische Verfahren
H. Olivier	Gasdynamik	hochenthalpe Strömungen, Kurzzeitmesstechnik
T Sattelmayer	Thermodynamik	Überschallverbrennung, Kinetik
W. Schröder	Strömungslehre und Aerodynamik	Strömungsmechanik, numerische Verfahren
S. Staudacher	Luftfahrtantriebe	Antriebssysteme, Gesamtsystemoptimierung
B. Weigand	Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt	Überschallverbrennung, Aero-Thermodynamik
J. v. Wolfersdorf	Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt	Wärmeübertragung

*) Nach dem Ausscheiden von Prof. B. Kröplin werden die Projekte bis zur Berufung eines Nachfolgers von PD Dr. Rudolph weiterbetreut.

1.4. Zusammenfassung

Als Antriebssysteme zukünftiger, hyperschallschneller Fluggeräte aber auch von wiederverwendbaren Raumtransportsystemen stellen luftatmende, mit Verbrennung bei Überschall arbeitende, integrierte Triebwerke (Scramjets) im Machzahlbereich $M > 5$ eine echte Alternative zur klassischen Raketentechnologie dar.

Das globale wissenschaftliche Ziel der in diesem Graduiertenkolleg vernetzten Projekte ist es, sowohl experimentell als auch numerisch die Grundlagen zu schaffen, um einen Scramjet-Demonstrator, bei dem alle Elemente eines kompletten Antriebssystems wie Vorkörper, Einlauf, Isolator, Brennkammer zur Überschallverbrennung und Schubdüse integriert und auf die konkrete Verwendung hin ausgerichtet sind, zu erarbeiten und seine Entwicklung zu ermöglichen. Hierzu werden Probleme auf den Gebieten der Aero- und Gasdynamik wie Vorkörperumströmung, Strömung an den Verdichtungsrampen mit besonderem Fokus auf die Stoß-Grenzschicht-Interaktion, Innenverdichtung und Schubdüse, der Thermodynamik mit besonderem Schwerpunkt im Bereich der Überschallverbrennung, sowie der Spannungsberechnung und Materialkunde beim Einsatz gradiertter Werkstoffe im Bereich der Brennkammer untersucht. Gleichzeitig sind aber auch entsprechende

Gesamtsystemanalysen notwendig, ohne die die sehr komplexe Integration der Einzelkomponenten zu einem funktionierenden Scramjet-Demonstrator nicht möglich wäre. Hierzu werden bestehende Methoden und Verfahren angewendet und auf die sich hier konkret ergebenden Probleme spezifisch angepasst. Als Ausgangsdatenbasis der durchzuführenden Forschungsarbeiten werden Ergebnisse verwendet, die in der ersten Förderperiode des Graduiertenkollegs erarbeitet wurden (siehe auch Bericht zum GRK 1095/1). Im Unterschied zur ersten Förderphase wird in der zweiten Phase auch das Gesamtsystem, bestehend aus einem Scramjet, der auf einer Rakete befestigt ist (für einen möglichen nachfolgenden Test nach Ablauf des Graduiertenkollegs) betrachtet.

Um die Ziele des Graduiertenkollegs erreichen zu können, werden die Projekte in drei Gruppen eingeteilt:

- Projektgruppe A: „Aero-thermodynamische Fragestellungen“,
- Projektgruppe B: „Verbrennung“,
- Projektgruppe C: „Abströmung und Systemanalyse“,

Das begleitende Studienprogramm, das im Wesentlichen an der Universität Stuttgart durchgeführt wird, verfolgt zwei globale Ziele: Eine Verbesserung der Doktorandenausbildung bei gleichzeitiger Verkürzung der Promotionszeiten auf drei Jahre. Dieses Programm besteht aus bewährten Elementen, wie einem individuellen Ausbildungsplan für jeden Kollegiaten, Blockveranstaltungen, Klausurtagungen und Summer Schools. Darüber hinaus enthält das Studienprogramm neue Elemente, die die Wettbewerbsfähigkeit des beantragten Kollegs in Hinblick auf die Gewinnung exzellenter Stipendiaten stärken soll. Zum einen wird für alle Stipendiaten ein ca. halbjähriger Auslandsaufenthalt angestrebt. Zum anderen sind zur Förderung der Selbständigkeit Veranstaltungen vorgesehen, die ausschließlich von den Kollegiaten zu organisieren sind. Diese Maßnahmen haben sich schon in der ersten Phase des Kollegs als sehr effektiv erwiesen und sollen deshalb auch hier beibehalten bzw. noch verstärkt werden. Als ein neues Element sollen frühere Stipendiaten beratend als „Alumnis“ eingebunden werden.

Das Gastwissenschaftler(innen)programm, das unterschiedliche Formen der Einbindung von ausländischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vorsieht, ist ein integraler Bestandteil des Ausbildungskonzeptes.

2. Profil des Graduiertenkollegs

Das Graduiertenkolleg beschäftigt sich mit der aero-thermodynamischen Auslegung eines Scramjet-Antriebssystems für zukünftige, rückkehrfähige Raumtransportsysteme. Hierbei sprechen besonders die folgenden Gründe dafür diese Thematik in Form eines Graduiertenkollegs zu bearbeiten:

- Die hier verwendeten Technologien, insbesondere jedoch die Überschallverbrennung, sind, wie im Folgenden noch ausführlich erläutert wird, international betrachtet von außerordentlicher technischer, wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Bedeutung.
- Es handelt sich um eine Problemstellung, die einen sehr hohen Komplexitätsgrad aufweist, der mit einer Reihe von teilweise ungelösten wissenschaftlichen und technischen Fragestellungen verbunden ist.
- Auf dem nationalen und internationalen Markt besteht ein großer Bedarf an wissenschaftlich ausgebildeten Ingenieuren und Naturwissenschaftlern mit entsprechender Expertise auf den einzelnen Gebieten.
- Die hochgradig vernetzte Aufgabe der Auslegung eines Scramjets stellt nicht nur hohe wissenschaftliche Anforderungen, sondern auch sehr hohe Anforderungen an das Team. Es müssen hierbei Kompromisslösungen erarbeitet werden, die für das Gesamtsystem die „beste Lösung“ darstellen. Dies ist eine hervorragende Vorbereitung der Kollegiaten auf die industrielle Tätigkeit als Ingenieur.

In den letzten Jahren wurden international sehr große finanzielle und technische Anstrengungen unternommen, um für ein hyperschallschnelles Fluggerät ein luftatmendes Antriebssystem, basierend auf einem Scramjet, zu entwickeln. Die international laufenden Programme, wie das amerikanische X-51A Programm der NASA, das australische HyCAUSE und HyFIRE Projekt, das europäische LAPCAT Projekt oder das französische PROMETHEE Programm zeigen sehr deutlich, dass das Antriebskonzept *Scramjet* eine der technisch komplexesten Antriebstechnologien darstellt, die im Augenblick erforscht werden. Eingeordnet in diesen internationalen Kontext stellt die aero-thermodynamische Auslegung eines Scramjet-Demonstrators den zentralen Leitgedanken des Kollegs dar.

Das Leitkonzept des Demonstrators, bei dem alle Elemente eines kompletten Antriebssystems wie Vorkörper, Einlauf, Isolator, Brennkammer und Schubdüse vorhanden sind, erfordert die Verwendung von Methoden aus den Bereichen der Aero- und Gasdynamik, der Verbrennungstechnik, der Mechanik, der Materialkunde sowie der Systemauslegung und ist dabei gleichzeitig das integrierende Element über die teilweise sehr unterschiedlichen Arbeitsansätze. Zur Realisierung dieser Idee ist das Forschungsprogramm entsprechend den technischen Erfordernissen des Demonstrators in drei Gruppen von Dissertationsprojekten aufgeteilt:

- Aero-thermodynamische Fragestellungen,
- Verbrennung,
- Abströmung und Systemanalyse.

Die wissenschaftliche Relevanz und die angewendeten Methoden werden im Forschungsprogramm (Kapitel 3) noch ausführlich erläutert. Die beteiligten Wissenschaftler decken mit ihren Forschungserfahrungen die Themenstellung in einer großen wissenschaftlichen Breite und Tiefe ab. Die Kompetenz der Wissenschaftler an der Universität Stuttgart wird dabei gezielt auf den Gebieten der Aero- und Gasdynamik sowie der Überschallverbrennung durch Wissenschaftler der RWTH Aachen, der TU München und durch das DLR (Köln-Porz) im Rahmen einer engen Zusammenarbeit erweitert. Diese Erweiterung des Graduiertenkollegs auf die Wissenschaftler aus Aachen und München hat sich in der ersten Phase des Graduiertenkollegs in hervorragender Weise bewährt (siehe hierzu auch den Bericht zum GRK).

In Hinblick auf Interdisziplinarität ist das Kolleg breit angelegt. Die aus den vertretenen Fachbereichen Maschinenbau, Mathematik und Luft- und Raumfahrttechnik beteiligten Institute arbeiten auf den Gebieten der Strömungsmechanik, der Aero- und Gasdynamik, der Thermodynamik, der Verbrennung, der Statik und Dynamik sowie auf dem Gebiet der Systemoptimierung.

Das Kolleg ist an der Universität Stuttgart in eine Struktur von Verbundforschungsvorhaben eingebunden, die ein exzellenter Indikator für die Kooperationserfahrung der beteiligten Wissenschaftler ist. Die beteiligten Partner arbeiten schon seit vielen Jahren zusammen und konnten im Rahmen der ersten Phase des Graduiertenkollegs ihre Zusammenarbeit noch deutlich vertiefen.

Das Studienprogramm verfolgt ähnlich wie in der ersten Phase zwei globale Ziele. Zum einen die Verbesserung der Doktorandenausbildung bei gleichzeitiger Verkürzung der Promotionszeiten auf drei Jahre. Dieses Programm besteht aus bewährten Elementen, wie einem individuellen Ausbildungsplan für jeden Kollegiaten, Blockveranstaltungen, Klausurtagungen und Summer Schools. Darüber hinaus enthält das Studienprogramm neue Elemente, die die Wettbewerbsfähigkeit des beantragten Kollegs in Hinblick auf die Gewinnung exzellenter Stipendiaten stärken soll.

Im Einzelnen:

- Für alle Stipendiaten ist ein ca. halbjähriger Auslandsaufenthalt angestrebt, der in das individuelle Ausbildungsprogramm eingebunden ist. Dies hat sich in der ersten Phase des Kollegs sehr gut bewährt und auch viele wissenschaftliche Kontakte zwischen Forschern im Kolleg und international renommierten Kollegen vertieft.
- Zur Förderung der Selbständigkeit sind Elemente vorgesehen, die ausschließlich von den Kollegiaten zu organisieren sind, wie Seminartage oder Web-basierter Informationsaustausch. Zur Erleichterung des Web-basierten Informationsaustauschs wurde in der ersten Phase des Kollegs schon ein zentraler Raid-Server in Stuttgart aus zentralen Mitteln der Universität beschafft, auf den alle Stipendiaten Zugriff haben.
- Einbindung von beratenden Industrievertretern, durch die die späteren Karrierechancen der Kollegiaten verbessert werden.
- Weiterhin soll ein Patentanwalt, der an der Universität Stuttgart bereits entsprechende Vorlesungen anbietet, zur Mitte der zweiten Phase beratend in das Kolleg mit eingebunden werden, um die Stipendiaten zu ermuntern, neu geschaffene Ideen zu patentieren. Dies kann zu einer Ausgründung aus dem Kolleg führen.
- Für die Stipendiaten, die nach Abschluss des Kollegs eine berufliche Selbstständigkeit planen, bietet die Universität Stuttgart verschiedenen Möglichkeiten. Hierbei stellen vor allem die Technologie-Transfer-Initiative GmbH (TTI GmbH) und PUSH!, das Partnernetz für Unternehmensgründungen aus Hochschulen, kompetente und individuelle Beratungs- und Informationsleistungen bereit. Entsprechendes Basiswissen und Experten-Know-How für Existenzgründer bietet die Kontaktstelle Wissenschaftliche Weiterbildung (KWW) im Rahmen ihres umfangreichen Kursangebots an, das in jedem Semester einen anderen Schwerpunkt setzt. Zusätzlich findet jährlich ein Existenzgründertag statt.
- Wegen dem extrem guten Zusammenhalt aller Stipendiaten/innen in der ersten Phase des Graduiertenkollegs wird angestrebt die früheren Kollegiaten als „Alumni“ in das Kolleg mit einzubeziehen und diesen Gelegenheit zu geben einmal im Jahr sowohl ihre noch frischen Erfahrungen zum Wechsel in die Industrie, als auch ihr Wissen zu den einzelnen Projekten im Graduiertenkolleg an die Kollegiaten weiterzugeben.

Das Gastwissenschaftler(innen)programm, das unterschiedliche Formen der Einbindung von ausländischen Wissenschaftlern vorsieht, ist ein integraler Bestandteil des Ausbildungskonzeptes. Dieses hat sich in der ersten Phase des Kollegs gut bewährt. Alle Antragsteller können auf eine Vielzahl bestehender Auslandskontakte auf den Forschungsgebieten des Kollegs zurückgreifen, die im Qualifizierungsprogramm (Kapitel 4) näher beschrieben sind.

3. Forschungsprogramm

3.1. Motivation

In den letzten Jahren wurden international große Anstrengungen unternommen, um für ein hyperschallschnelles Fluggerät ein luftatmendes Antriebssystem, basierend auf einem Scramjet, zu entwickeln.

Um diese sehr aufwendige Technologie erproben zu können, wurden entsprechende Untersuchungen an Scramjet-Demonstratoren durchgeführt. Hierzu wurden unterschiedliche Typen von Erprobungsträgern eingesetzt. Zum einen handelt es sich bezüglich des Designs um hyperschallschnelle Fluggeräte mit einem Scramjet-Antrieb, die in aller Regel von einer konventionellen Rakete auf die entsprechende Flugmachzahl beschleunigt werden und danach mit Hilfe des eigenen Antriebes einen aerodynamischen Flug durchführen sollen. Hier ist einerseits das amerikanische Hyper-X Programm zu nennen, in dessen Rahmen 2004 zwei erfolgreiche Flugversuche mit einem selbstangetriebenen Scramjet durchgeführt wurden und das jetzt seine Fortsetzung in der Entwicklung der X51A findet, andererseits das europäische Testprogramm LEA, welches sich im Augenblick in Phase 2 befindet, in der erste Freistromversuche (free jet tests) des Triebwerks durchgeführt werden sowie das Design des Transportsystems vorangetrieben wird.

Zum anderen handelt es sich bei den Erprobungsträgern um reine Scramjet-Demonstrator Systeme wie beim russischen KHOLOD Hypersonic Flight Lab, einer Kombination aus rotationssymmetrischem Scramjet und Rakete, wobei es hier nicht zur Trennung der beiden Systeme kommt, sondern die Rakete für die gesamte Flugzeit Schub erzeugt. Eine klare Analyse der Funktionsweise des Scramjet-Antriebs ist daher nur sehr schwer möglich.

Eine weitere Art eines Erprobungsträgers besteht ebenfalls aus einem reinen Scramjet-Demonstrator in Kombination mit einer Rakete. Jedoch wird der Demonstrator damit nur auf eine entsprechende Höhe gebracht, trennt sich im Scheitelpunkt der Flugparabel von der Rakete ab und beschleunigt alleine durch die Gravitation im freien Fall auf die zum Betrieb des Scramjets notwendige Geschwindigkeit. Dieses Konzept wurde auch bei unserem Graduiertenkolleg GRK 1095/1 als integrierendes Leitkonzept verwendet.

Beim französischen PROMETHEE Programm handelt es sich um ein nationales, militärisches Hyperschall-Antriebskonzept. Das bisher gebaute und veröffentlichte Modell besteht aus einem einfachen Vorkörper (ebene Platte), Einlauf, Brennkammer und einfacher Schubdüse. Erste Windkanaltest wurden in Frankreich und Russland (ITAM) durchgeführt, die Flugerprobung steht noch aus.

Grundlegende Untersuchungen hierzu wurden im Rahmen des JAPHAR-Programms gemacht, bei dem neben der ONERA auch das DLR beteiligt war.

Das EU-Projekt LAPCAT beschäftigt sich mit integrierten Konzepten für hyperschallschnelle Flugtransporter. Das Projekt umfasst 16 europäische Partner aus Industrie, Forschungseinrichtungen und Universitäten. Das Projekt geht Ende 2008 in die zweite Phase über. Das Projekt ATLLAS (Aerodynamic and Thermal Load Interaction with Lightweight Advanced Materials for High Speed Flight) ist ein laufendes europäisches Verbundprojekt (Ende Okt. 2009) mit 13 Partnern aus Industrie und Forschung.

Die Aufstellung der zur Zeit mit großem wissenschaftlichen und finanziellen Einsatz durchgeführten Projekte auf dem Gebiet der Scramjet-Technologie zeigt, welchen hohen internationalen Stellenwert die Forschung auf diesem Gebiet besitzt, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung eines zukünftigen hyperschallschnellen Fluggeräts, sei es als Unterstufe für ein modernes rückkehrfähiges Raumtransportsystem oder als Hyperschallflugzeug selbst.

Durch die Förderung der ersten Phase unseres Graduiertenkollegs entstand in Deutschland ein Arbeitsteam, das in den letzten 3,5 Jahren einen deutlichen Beitrag auf dem Gebiet der Scramjet-Antriebssysteme geleistet hat. Durch das in den früheren SFBs 253, 255 und 259 erarbeitete und in hohem Maße international anerkannte und geschätzte Grundlagenwissen und das bereits vorhandene „wissenschaftliche Netzwerk“ konnten die Stipendiaten in der

ersten Phase schon beachtliches leisten (siehe Bericht zum GRK). Diese Leistungen fanden auf internationalen Tagungen hohe Beachtung und damit war es dem GRK sogar möglich auf der DGLR Tagung in 2008 ganze 3 Sessions mit insgesamt 13 Beiträgen (!) zum Thema Scramjets zu füllen. Dies zeigt den herausragenden Beitrag der durch das Graduiertenkolleg in den letzten Jahren geleistet wurde.

Die im Rahmen eines Kollegs gegebene enge Zusammenarbeit der einzelnen Gebiete eröffnet auf hervorragende Art und Weise die Möglichkeit, Problemstellungen zu bearbeiten, die sich hinsichtlich der Konkretisierung des erworbenen Grundlagenwissens ergeben. Vordergründig jedoch können aber auch insbesondere Fragen behandelt werden, die sich ergeben, wenn es zur Kombination der auf den einzelnen Teilgebieten erworbenen Ergebnisse kommt. Hierbei muss klar herausgestellt werden, dass es im Hinblick auf einen operationell arbeitenden Scramjet-Antrieb nicht möglich ist, Einzelkomponenten getrennt voneinander zu entwickeln. Sobald der Schritt von isolierten Simulationen und Laborversuchen hin zu einem konkreten Demonstrator gemacht wird, müssen alle Komponenten wie Zentralkörper, Einlauf, Isolator, Brennkammer und Schubdüse im engen Verbund, direkt gekoppelt entwickelt werden. Diese von der technischen Seite her vorgegebene Integration, wird von der Projektarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs direkt aufgenommen und umgesetzt. Das Graduiertenkolleg als solches bildet hier die optimale Arbeitsplattform, um die stark verzahnten Themengebiete effektiv und erfolgreich bearbeiten zu können. Dies hat sich in der ersten Phase des Graduiertenkollegs sehr schön gezeigt und bedingte, dass eine einfache Modellierung des Gesamtsystems für jeden Stipendiaten zur Verfügung steht um seine Modifikationen und deren Wirkung auf den gesamten Scramjet-Antrieb auszuprobieren.

Aus den oben dargestellten Überlegungen ergab sich die Fokussierung auf ein klares Leitkonzept in der ersten Phase des Kollegs. Dieses Konzept wird im Grunde beibehalten, jedoch in der nun beantragten zweiten Phase ausgeweitet. Dies wird im Folgenden genauer beschrieben.

3.2. Grundkonzept und Basisdaten

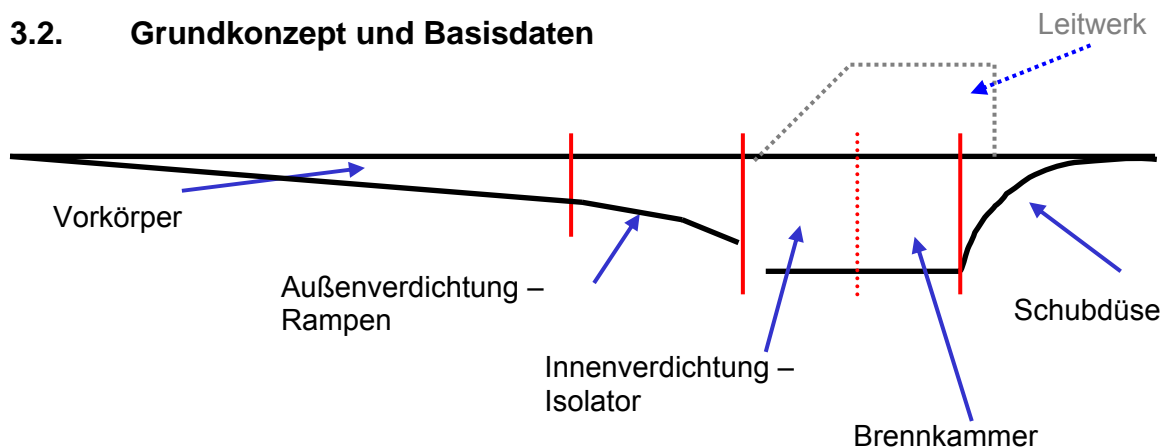


Abb. 3.1: Grundkonzept Scramjet

Die Basisauslegung des Scramjet-Antriebssystems (erste Antragsphase) sah zunächst einen mehr zweidimensionalen Flugkörper vor, bestehend aus einem Vorkörper in der Form eines langgezogenen Doppelkeils, einem Doppelrampeneinlauf mit sehr moderaten Rampenwinkeln, einem sich anschließenden Strömungskanal (Isolator) zur Innenverdichtung, einer Brennkammer zur Überschallverbrennung sowie einer Schubdüse. Als Schubdüse wurde eine sogenannte SERN-Düse (single expansion ramp nozzle) vorgesehen. In der zweiten Antragsphase soll nun auch die Untersuchung komplexerer 3D Einläufe erfolgen. Dies ist notwendig, da mit einem reinen 2D Einlauf die benötigte Kompression der Luft nur extrem schwer erreicht werden kann. Die anderen Komponenten des Scramjets werden wie in der ersten Phase bereits begonnen, systematisch weiter entwickelt. Die äußere geometrische Form sowie die Basisabmessungen ergeben sich aus

der Anforderung, dass dieses Antriebskonzept als ferne Zielsetzung auf einer Rakete fliegen soll. Hierbei ist vorgesehen, dass der Flugkörper mit der Rakete auf eine entsprechende Höhe gebracht wird und sich im Scheitelpunkt der Flugbahnparabel von der Rakete trennt. Allein durch den freien Fall zurück zur Erdoberfläche erfolgt die Beschleunigung auf die zum Betrieb des Scramjets notwendige Geschwindigkeit. Sobald dann der notwendige Staudruck erreicht ist, erfolgt die Zündung. Die in der Brennkammer erzielte Überschallverbrennung dauert, je nach angestrebter Ausgangsflughöhe, einige Sekunden.

Um das Projekt möglichst nahe an einem konkreten Anwendungsfall orientieren zu können, wurde eine Ausrichtung auf einen solchen Flugversuch bei der Auslegung des Demonstrators verwendet, wenngleich der konkrete Einsatz im Rahmen des Graduiertenkollegs nicht vorgesehen ist. Entsprechend werden flugmechanische Fragestellungen zur Stabilität und zur Lage-Bahnregelung nicht behandelt. Dennoch besteht so die Möglichkeit, ein für alle Projektpartner gültiges und gleichzeitig anwendungsorientiertes Leitkonzept zu definieren. Allerdings sollen in der zweiten Phase nun als Gesamtkonzept der Scramjet zusammen mit der Trägerrakete als Gesamtsystem betrachtet werden. Dies hat den Vorteil, dass am Ende des Kollegs tatsächlich ein möglicher Demonstrator eines Scramjets vorliegt, der prinzipiell auf einer Rakete fliegen könnte.

Basisdaten des als Leitkonzept entwickelten Scramjet-Antriebs:

Als Auslegungsfall wird ein stationärer Flugzustand in einer Höhe von ca. 30 km bei einer Fluggeschwindigkeit von $M=8$ angenommen. Bei dieser Anfangsauslegung wurden die Basisgeometrieparameter dadurch bestimmt, dass von den notwendigen Einströmzuständen zu der Überschallbrennkammer nach außen gerechnet wurde. Neben den beiden Zuströmgrößen Höhe und Geschwindigkeit wurde noch der in der Brennkammer benötigte Massenstrom mit $\dot{m}=1.45$ kg/s als Ausgangsgröße zugrunde gelegt. Diese Basisdaten stützen sich auf die Arbeiten der ersten Phase des Kollegs.

Anströmdaten:

Höhe: $H=30$ km

Geschwindigkeit: $M=8$

Druck: $p_{\infty}=11.7$ hPa

Temperatur: $T_{\infty}=226.7$ K

Dichte: $\rho_{\infty}=1.801 \cdot 10^{-2}$ kg/m³

Massenstrom: $\dot{m} = 1.45$ kg/s

Geometrie:

Rampenwinkel 1: $\alpha_1 \approx 7,5^\circ$

Rampenwinkel 2: $\alpha_2 \approx 19^\circ$

Breite : $b \approx 76$ mm

Halbhöhe: $h=228$ mm

Vorkörperlänge: $L_V=450 \div 500$ mm

Gesamtlänge: $L_{ges} > 1000$ mm

3.3. Zielsetzung und Methoden

Die Hauptzielsetzung des Fortsetzungsantrags ist die aero-thermodynamische Auslegung eines Scramjet-Antriebssystems, bei dem alle Elemente eines kompletten Antriebssystems wie Vorkörper, Einlauf, Isolator, Brennkammer und Schubdüse integriert und auf die konkrete Verwendung hin ausgerichtet sind. Zusätzlich werden thermomechanische Fragestellungen hinsichtlich eines geeigneten hochtemperaturfesten Brennkammermaterials sowie numerische Analysen des Gesamtsystems durchgeführt. In Erweiterung der Arbeiten der ersten Phase des GRK treten nun auch noch die detaillierte Untersuchung von unterschiedlichen Geometrievarianten und die Beschreibung der Anbindung des Flugobjekts auf einer Rakete mit hinzu.

Das beschriebene Scramjet-Antriebskonzept soll, wie bereits erwähnt, zunächst als eine Art „Leitkonzept“ dienen. Die Durchführung eines tatsächlichen Flugversuches soll nicht Gegenstand dieses Graduiertenkollegs sein. Dennoch dient der mittels einer Rakete beschleunigte Demonstrator als gemeinsames Objekt, um die Kräfte der einzelnen Teilprojekte innerhalb des Graduiertenkollegs am konkreten Anwendungsfall zu bündeln und zu vereinen. Weiterhin sollen in assoziierten Projekten zu diesem Kolleg wieder Tests der Komponenten unter realen Bedingungen am ITAM, Novosibirsk, Russland durchgeführt

werden. Dieses Konzept wurde in der Mitte der ersten Phase durch den Antrag (GA 1332/1) begonnen und hat sich sehr gut bewährt.

Um dieses gemeinsame Vorhaben verwirklichen zu können, ergeben sich für die einzelnen Teilprojekte individuelle Ziele, die jedoch in hohem Maße miteinander in Wechselwirkung stehen und entsprechend gut miteinander abgestimmt wurden.

Im Bereich der Vorkörperumströmung muss auf experimentellem und numerischem Weg geklärt werden, welchen Einfluss die spezielle geometrische Form des Vorkörpers auf die Zuströmrandbedingungen des Einlaufes und somit auf die Luftzufuhr zum eigentlichen Triebwerk hat. Hierzu soll eine genaue Analyse des jeweiligen Grenzschichtzustandes unter Berücksichtigung der Strömungszustände bei geometrisch verschiedenen Vorkörpergeometrien und Anströmzuständen (Machzahl, Reynoldszahl) untersucht werden, um somit die Zuströmrandbedingungen für die räumlich konzentrierte Kompression an den sich anschließenden Verdichtungsrampen festlegen zu können, was sowohl für die experimentelle als auch numerische Behandlung aller stromab stattfindenden Vorgänge von sehr großer Bedeutung ist.

Die Schnittstelle zum eigentlichen Einlauf und der sich direkt anschließenden Innenverdichtung durch den Isolator ergibt sich aus der Fragestellung nach dem wechselseitigen, strömungsphysikalischen Einfluss der 3D-Rampengrenzschicht auf den Einlauf. Hierbei soll das Problem der Stabilität des sich bildenden Stoßsystems (Stoßoszillation) infolge der ankommenden 3D-Grenzschicht sowie die hier speziellen Fragestellungen hinsichtlich der Stoß-Grenzschicht-Wechselwirkung erforscht werden.

Der Einlauf selbst, bestehend aus Doppelrampe und Einlaufippe, sowie der sich anschließende Isolator werden hinsichtlich eines optimalen Druckrückgewinns zur Erzielung eines für die Brennkammer günstigen Eintrittsdruckes sowie unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen der sicheren Selbstzündung des Brennstoffs vom Zentralinjektors ausgelegt und optimiert. Maßgebende Forderungen sind hier die Untersuchung des Startverhaltens des Einlaufes, Veränderungen der Anströmzustände durch kleine Schiebe- und Anstellwinkel sowie Effekte, die den Massenstrom durch das Triebwerk betreffen (Spillage).

Die Brennkammer stellt den Kern des beantragten Projekts dar. Das Hauptziel hierbei ist die Auslegung einer Brennkammer zur Überschallverbrennung unter den geometrischen Gegebenheiten des Scramjet-Antriebssystems. Es soll gezeigt werden, dass es möglich ist eine stabile und technisch einwandfreie Überschallverbrennung auch außerhalb optimaler Laborbedingungen zu realisieren. Hierzu werden sowohl experimentelle als auch numerische Untersuchungen durchgeführt. Entsprechend der hier vorliegenden Erfordernissen soll eine Brennkammer mit variabel verstellbaren Wänden realisiert werden. Hierzu gehören auch systematische Berechnungen der Brennkammer, die unterschiedliche Geometrieconfigurationen, Brennstoffeinbringungen und verschiedene Flugbedingungen berechnen und so helfen eine optimal angepasste Brennkammergeometrie zu finden. Die Untersuchungen zur Überschallverbrennung sind sehr vielfältiger Natur. Hierbei sollen der Einfluss der Turbulenz-Chemie Interaktion auf das Zündverhalten sowie numerische Untersuchungen zur Flammstabilisierung in der Überschallflamme erfolgen. Gleichzeitig werden aber auch Probleme der Wärmeübertragung an Zentralkörpern innerhalb der Brennkammer untersucht. Als Brennstoff wird ausschließlich Wasserstoff verwendet.

Schließlich soll die Schubdüse entsprechend den durch die Brennkammer vorgegebenen Randbedingungen hinsichtlich der Schuberzeugung an einem realen Flugkörper angepasst sowie weiterhin experimentell und numerisch optimiert werden. Hinzu treten Arbeiten, die sich schon konkret mit der Auslegung einer möglichen Flugkonfiguration und der notwendigen Instrumentierung befassen.

Als integrierendes Element über alle Teilprojekte wird wieder eine Gesamtsystemanalyse durchgeführt, die das Bindeglied zwischen allen behandelten Einzelfragestellungen darstellt. Hierbei wird in der zweiten Antragsphase sowohl der Scramjet, als auch ein Gesamtsystem bestehend aus Scramjet und einer Trägerrakete behandelt.

In Erweiterung der ersten Phase des Kollegs treten nun auch mehrere Parameterstudien in den Vordergrund, die gezielt Variationen der Geometrie und Strömungsgrößen auf das Verhalten des Scramjets untersuchen. Dies ist bei einem so stark wechselseitig gekoppelten System wie einem Scramjet von außerordentlicher Wichtigkeit für ein erfolgreiches Design.

Um die vorgegebenen Ziele erreichen zu können, aber auch um zu handhabbaren Verbundstrukturen zu gelangen, ist es zweckmäßig, die Projekte des Graduiertenkollegs in drei Gruppen einzuteilen, die sich an den unterschiedlichen Schwerpunkten des Forschungsprogramms orientieren. Diese Einteilung hat sich in der ersten Antragsphase hervorragend bewährt und soll deshalb hier beibehalten werden:

- Projektgruppe A: „Aero-thermodynamische Fragestellungen“,
- Projektgruppe B: „Verbrennung“,
- Projektgruppe C: „Abströmung und Systemanalyse“,

Die drei Projektgruppen werden aus den im Folgenden aufgelisteten Dissertationsprojekten gebildet.

Projektgruppe A: Aero-thermodynamische Fragestellungen

- A1: Experimentelle Untersuchungen zum Transitionsverhalten der Grenzschicht im Zuströmbereich eines Doppelrampeneinlaufes
(Krämer, Schröder)
- A2: Experimentelle Untersuchungen zu Phänomenen der Stoß-Grenzschicht Wechselwirkung an einem Doppelrampen-Einlauf bei unterschiedlichen Zuströmbedingungen
(Krämer, Olivier)
- A3: Auslegung und Charakterisierung eines 3D-Einlaufs
(Gülhan, Krämer)
- A4: Experimentelle Untersuchung der Innenströmung eines Scramjet-Triebwerks
(Olivier, Krämer)
- A5: Untersuchung dreidimensionaler Strömungsstrukturen hervorgerufen durch Seitenwandeffekte an einem Scramjet-Triebwerk
(Olivier, Behr)
- A6: Numerische Simulation der instationären Effekte an einem Scramjet-Einlauf
(Munz, Gerlinger)
- A7: Numerische Untersuchung zur Relaminarisierung in Hyperschalleinläufen
(Behr, Adams)
- A8: Numerische Untersuchungen von Sensitivitäten bei der Auslegung eines Hyperschalleinlaufes
(Behr, Olivier)

Projektgruppe B: Verbrennung

- B1: Experimentelle Untersuchungen zur Brennstoffeinmischung und Stabilität einer Scramjet-Brennkammer
(Weigand, Sattelmayer)
- B2: Numerische Untersuchung einer Scramjet-Brennkammer für verschiedene Flugbedingungen
(Weigand, Adams)

- B3: Thermische und mechanische Betrachtungen für Zentralkörper in einer Scramjet-Brennkammer
(v. Wolfersdorf, Kau)
- B4: Numerische Untersuchungen zur Turbulenz-Chemie-Interaktion und zur Schadstoffbildung in Scramjet-Brennkammern
(Gerlinger, Sattelmayer)
- B5: Instationäre Simulationen von Scramjet-Brennkammern
(Aigner, Munz)
- B6: Entwicklung eines numerisch effizienten Verbrennungsmodells mit Turbulenz-Chemie Interaktion für LES
(Sattelmayer, Aigner)
- B7: Stoß-Turbulenz-Wechselwirkung in reagierenden Strömungen
(Adams, Gerlinger)
- B8: Vermeidung von thermischem Blockieren in stöchiometrisch betriebenen Überschallbrennkammern durch sequenzielle Injektion
(Kau, Weigand)

Projektgruppe C: Abströmung und Systemanalyse

- C1: Aerodynamische Auslegung der Flugkonfiguration und deren Instrumentierung
(Gülhan, Schröder)
- C2: Numerische Analyse der gekühlten Expansionsströmung einer Scramjet-Düse
(Schröder, Krämer)
- C3: Experimentelle Untersuchung der Düsenströmung eines Scramjets unter Berücksichtigung des Temperaturgradienten zwischen Freistrahl und Außenströmung
(Schröder, Kau)
- C4: Mehrfeld-Formulierung für gradierte Hochtemperatur-Werkstoffe
(Kröplin, Munz)
- C5: Gekoppelte Simulation zur systematischen Konstruktionsoptimierung von Scramjets
(Kröplin, Behr)
- C6: Thermalhaushalt von Hyperschallantriebssystemen
(Kau, v. Wolfersdorf)
- C7: Modellierung eines Scramjet-Antriebes: Auslegung eines Gesamtsystems bestehend aus Trägerrakete und Versuchsträger
(Staudacher, Kau)

Diese insgesamt 23 Projekte (21 Dissertationsprojekte sowie die zwei Post-Doc-Projekte), zeigen sowohl das große Forschungspotenzial dieser Aufgabenstellung als auch die Methodenkompetenz der Antragsteller. Da wieder, wie in der ersten Phase, Normalstipendien zu erhöhten Stipendien umgewandelt werden sollen, können auch Projekte bei gleichzeitiger Verringerung der Bearbeitungstiefe zusammengefasst werden.

Hinsichtlich des Standes der Forschung und der jeweiligen Vorarbeiten zu diesem breiten Spektrum zu behandelnder Themen sowie auf die entsprechend zum Einsatz kommenden bzw. zu bearbeitenden Methoden und Verfahren, sei auf die Kurzbeschreibung der Dissertationsprojekte im Anhang A sowie auf die Literaturangaben im Anhang B verwiesen.

3.4. Zusammenarbeit

Da es sich bei dem Thema dieses Graduiertenkollegs um eine interdisziplinär angeordnete komplexe Problemstellung handelt, ist nur ein integrierter und stark vernetzter Forschungsansatz erfolgversprechend. Die erste Phase des Graduiertenkollegs hat gezeigt, dass das Graduiertenkolleg so konzipiert ist, dass es diesen Forderungen in kompetenter

Weise Rechnung trägt. Die Zusammenarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs hinsichtlich des Forschungsprogramms wird durch mehrere systemgegebene Elemente geprägt:

- Enge Zusammenarbeit innerhalb der Projektgruppen,
- Nutzung eines bestehenden „wissenschaftlichen Netzwerks“, s.o.,
- Zusammenarbeit zwischen den Projektgruppen,
- mannigfaltige projekt-, methoden- und verfahrensorientierte Kooperation,
- gemeinsame Veranstaltungen im Studienprogramm,
- Internet basierter Austausch von Daten und Gesamtsystemanalyse (Raid-Server)

Bei der Entwicklung eines Scramjet-Antriebskonzepts müssen die einzelnen Komponenten in ihrem Zusammenspiel untersucht werden. Aufgrund der hohen Komplexität der Auslegungs-Interaktion der einzelnen Elemente wie Vorkörper, Einlauf, Isolator, Brennkammer und Schubdüse in Kombination mit Aspekten der Materialforschung und Systemauslegung kann ein solches Antriebssystem nur fein abgestimmt funktionieren. Diese technische Anforderung wurde schon in der ersten Phase des Graduiertenkollegs in die Projekte und deren Zusammenarbeit übernommen. Dies soll auch in der zweiten Phase wieder analog geschehen. Die einzelnen Teilprojekte stehen daher automatisch in sehr engem Kontakt. Es entsteht ein kontinuierlicher Wissens- und Datenaustausch über alle Teilprojekte hinweg. So sind beispielhaft die im Themenbereich der Brennstoffeindüsung sowohl numerisch als auch experimentell ermittelten Erkenntnisse und Daten nicht nur für die optimale Auslegung der Brennkammer und der gesamten Innenströmung maßgebend, sondern haben in gleicher Weise einen wichtigen Einfluss auf die Einlauf- und Düsenströmung. Diese Abhängigkeit ist ebenso in umgekehrter Richtung vorhanden. Untersuchungen von Grundausslegungen und eine folglich gegenseitige, iterative Anpassung sind also notwendig. Diese starke Vernetzung der Projekte wurde unter anderem auch noch durch das Anlegen eines Raid-Servers in der ersten Antragsphase stimuliert und verbessert. Hier findet sich auch ein Programm in das alle Kerndaten der Einzelprojekte einfließen und in dem das Gesamtsystem (Scramjet) 1D modelliert ist. Hier sieht jedes Projekt sehr schnell, ob Veränderungen in die richtige Richtung (also zu mehr Schub) des Gesamtsystems gehen oder nicht. Entsprechend dieser sehr engen, technisch vorgegebenen Verknüpfungen ergeben sich die im Folgenden dargestellten Kooperationen.

In der **Projektgruppe A** existiert eine sehr enge Zusammenarbeit zwischen den Projekten A1, A2, A3, A4, A5, A6 und A7 die sich alle auf unterschiedliche Art und Weise mit dem sehr komplexen Themengebiet der Vorkörperumströmung sowie des Doppelrampeneinlaufs beschäftigen. Hier findet eine optimale Ergänzung hinsichtlich der sich, wie im tatsächlichen operationellen Betrieb, steigenden Machzahl, Reynoldszahl und Temperatur statt. So steht in den Teilprojekten A1 und A2 ein in seiner Art einmaliger Windkanal zur Verfügung, der es erlaubt, Untersuchungen an einem Vorkörper in Kombination mit einem Doppelrampeneinlauf in nahezu Originalgröße im unteren Machzahl- und Temperaturbereich durchzuführen. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, Sektionsmodelle des Einlaufs sogar in vergrößertem Maßstab zu untersuchen. Die numerische Behandlung dieser stationären und instationären Teilprobleme erfolgt in A6. Im Teilprojekt A3 wird ein 3D-Einlauf ausgelegt und im Windkanal getestet. Dieses Projekt ist eng vernetzt mit den Projekten im Bereich A, aber auch mit B1 und B2 und hier insbesondere an der Schnittstelle zwischen Isolator und Brennkammer. Dies gilt genauso für die Projekte A4, A5, die sich der Innenströmung im Scramjet-Antriebssystem widmen. Im Projekt A7 wird die Relaminarisierung in Hyperschalleinläufen untersucht. Dieses Projekt ist stark mit den Projekten im A-Bereich verknüpft und liefert wichtige Ergebnisse zur Auslegung und Optimierung des 3D-Einlaufs. Da bei der Auslegung des Hyperschalleinlaufs kleine Änderungen sehr große Effekte für das Gesamtsystem haben können, untersucht Teilprojekt A8 diese Sensitivitäten und verknüpft somit sehr schön die Projektgruppen A,B und C.

In der **Projektgruppe B**, die im Zentrum des Graduiertenkollegs steht, werden in allen Teilprojekten die Ergebnisse aus der Projektgruppe A als Startwerte verwendet. Die Projekte in B sind naturgegeben sehr stark miteinander verzahnt. Das Zusammenspiel liegt hier nun nicht mehr in der Über- bzw. Weitergabe von Daten sondern vielmehr in der gemeinsamen Behandlung der vorliegenden Problematik der Überschallverbrennung. Hierbei werden verschiedene Detailprobleme auf unterschiedliche Art und Weise experimentell (B1, B3 und B8) sowie numerisch (B2, B4, B5, B6 und B7) behandelt, so dass letztendlich eine sehr umfassende Problemlösung erfolgen kann. Teilweise ergibt sich hierbei eine direkte Kombination zwischen experimenteller und numerischer Behandlung, wie zwischen den Projekten B1, B2 und B5. Die Thematik der Überschallverbrennung ist in ihrer Gesamtheit extrem komplex, so dass eine Behandlung der sich ergebenden Probleme nur nach Separation wichtiger Detailfragen möglich ist. Dennoch muss ein enger Austausch zwischen den einzelnen Teilprojekten hinsichtlich der Grunddaten bestehen, um die Einzelerkenntnisse am Ende zu einem Gesamtbild zusammenfügen zu können. Hier kommt dem Teilprojekt B2 eine zentrale Verknüpfungswirkung zu, da hierin verschiedene Geometrien der Brennkammer für unterschiedliche Flugbedingungen berechnet werden. In dieses Projekt fließen Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen aus den Bereichen B und A ein. Weiterhin werden hier die verbesserten entwickelten Modelle (z.B. Turbulenz-Chemie Interaktion) aus dem Bereich B verwendet.

Innerhalb der **Projektgruppe C** ergeben sich entsprechend den Anforderungen des erdachten erweiterten Leitkonzepts für die zweite Phase des Graduiertenkollegs zwei Projektgruppen. Im Bereich der Abströmung werden aero- und gasdynamische Fragestellungen zur Schuberzeugung behandelt. Die Schubdüse wird von den Projekten C2 und C3 kombiniert sowohl experimentell als auch numerisch in einem weiten Parameterbereich bearbeitet. Hierbei zeigt sich eine sehr enge Verzahnung mit der Projektgruppe B. Die dort erarbeiteten Strömungs- und Verbrennungsdaten repräsentieren die Randbedingungen zur Behandlung der hier vorliegenden Fragestellungen hinsichtlich Schuberzeugung und Abströmung, wobei aus aero- und gasdynamischer Sicht auch die Ergebnisse der Vorkörperumströmung aus dem Bereich A beachtet werden müssen.

Die Systemauslegung stellt ein über alle Teilprojekte integrierendes Element dar. Zur Gesamtsystemauslegung sowie zur Beurteilung des Betriebsverhaltens des Scramjet-Antriebssystems müssen die Daten von allen technischen Teilkomponenten eines Scramjets in ihrer Gesamtheit vorhanden sein, um eine entsprechende Bewertung durchführen zu können. So steht das Projekt C7 mit allen Projektbereichen in starker Wechselwirkung und stellt ausgehend von antriebsspezifischen Fragen die übergeordneten Verbindungen zwischen den verschiedenen Projekten und Projektgruppen her. Dies gilt auch für das Teilprojekt C6, das sich dem Thermalhaushalt des Scramjet-Antriebs widmet. Als ein besonderes Element des hier vorliegenden Graduiertenkollegs wird die Systemauslegung noch durch Teilprojekte (C4 und C5) ergänzt, die die Auswahl geeigneter Hochtemperatur-Werkstoffe für den Einsatz in einer Brennkammer und die Gesamt-Strukturbewertung eines Scramjets zum Inhalt haben. Eine Verzahnung besteht auch hier zu allen anderen Projektgruppen. So müssen einerseits bei der Wahl der Werkstoffe die aus Projektgruppe B stammenden Ergebnisse beachtet werden und andererseits muss aber auch bei der Konzeption des Flugkörpers ein starker Datenaustausch zwischen den Projektbereichen A und C erfolgen. Hierbei erweitert das Teilprojekt C5 die Betrachtungen auf den Scramjet, der mit einer Trägerrakete verbunden ist. Im Projekt C1 erfolgt die aerodynamische Auslegung der Flugkonfiguration und der Instrumentierung. Diese Projekte sind zum Einen stark mit den übrigen Projekten gekoppelt, da Daten aus verschiedenen Bereichen benötigt werden. Zum Anderen könnten diese Projekte die „Brücke“ zu einem eventuellen Demonstratorrest im Anschluss an das Graduiertenkolleg sein

Es lässt sich ohne Zweifel feststellen, dass ein erfolgreiches und zielorientiertes Arbeiten nur im engen Verbund dieser Projekte innerhalb des Graduiertenkollegs möglich ist und in erheblichem Maße zum Gelingen des Gesamtvorhabens beiträgt. Nur die enge Kooperation

und das gleichzeitige entsprechende Aufteilen der Einzelaufgaben können gewährleisten, dass die Gesamtproblematik eines Scramjet-Antriebskonzepts erfolgreich und zukunftsweisend behandelt wird. Diese Zusammenarbeit wurde in der ersten Phase des Graduiertenkollegs in hervorragender Weise durch die Stipendiaten betrieben. Der Datenaustausch und die Interaktion der Stipendiaten hat ein sehr enges Netz zwischen allen beteiligten Hochschulen und Institutionen aufgebaut, das für die zweite Antragsphase der Arbeiten zur Verfügung steht.

Zur Verdeutlichung der Zusammenarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs sind im Folgenden die Verknüpfungen der Einzelprojekte in einer Grafik zusammengefasst.

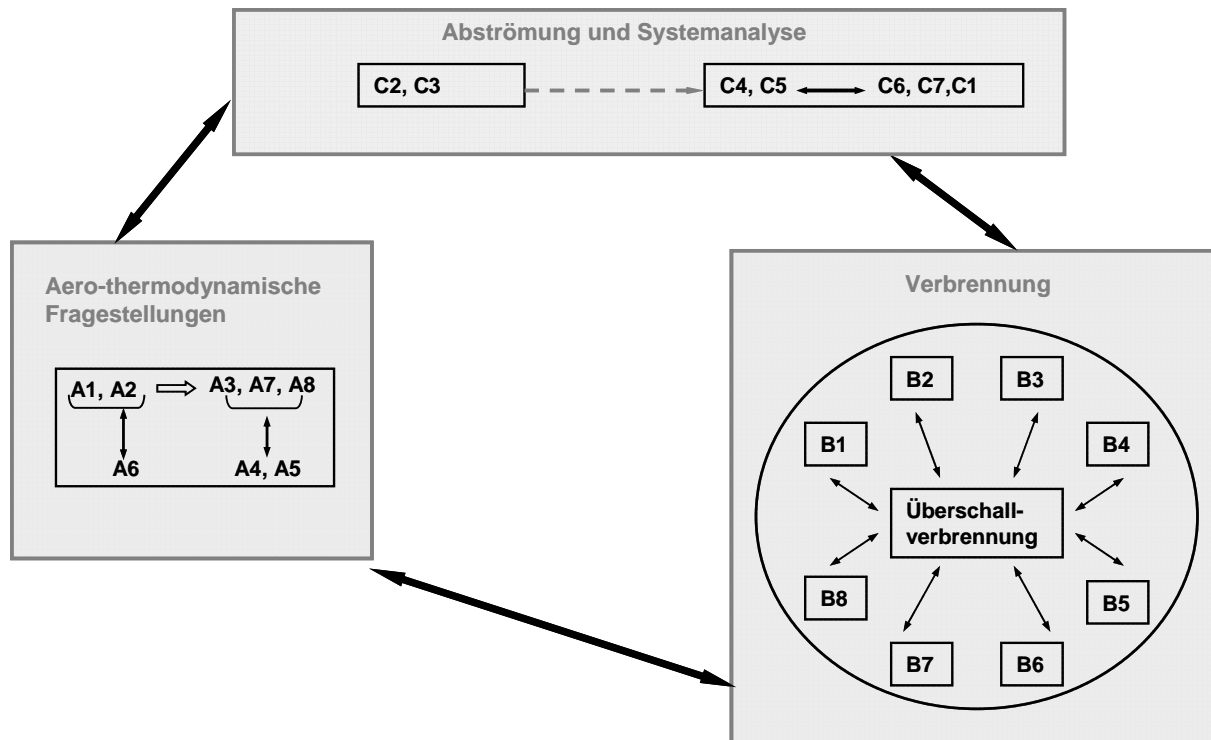


Abb. 3.2: Diagramm zur Verdeutlichung der Kooperationen innerhalb der einzelnen Projektgruppen aber auch zur Darstellung der Verknüpfungen und Zusammenarbeiten innerhalb des gesamten Graduiertenkollegs.

4. Qualifizierungskonzept

4.1. Ausbildungsprogramm und Lehrveranstaltungen

4.1.1. Vorbemerkung

Gestützt durch eine gezielte Themenstellung zugunsten einer kürzeren Promotionsdauer, orientiert sich das Qualifizierungsprogramm an den Zielsetzungen des Antrages und verfolgt zwei globale Ziele. Zum einen soll eine zu starke Spezialisierung durch Integration interdisziplinärer Elemente vermieden werden und damit die Ausbildungsqualität verbessert werden. Es ist besonderes Gewicht auf die Vermittlung von modernem Grundlagenwissen aus den Bereichen der Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie der Mathematik gelegt, wobei gleichzeitig der Anwendungsbezug erhalten bleibt. Zum anderen soll ein gezieltes Ausbildungsprogramm eine Reduktion der Promotionsdauer von bisher 5 auf 3 Jahre ermöglichen.

Das Studienprogramm berücksichtigt Erfahrungen früherer Graduiertenkollegs und besonders die Erfahrungen aus der ersten Phase dieses Kollegs, schreibt diese fort und ergänzt sie um neue Elemente, die zum einen der verschärften Wettbewerbssituation um exzellente Absolventen Rechnung trägt und zum anderen die steigende Bedeutung von Auslandserfahrung berücksichtigt. Dabei wird besonderer Wert auf folgende Elemente gelegt:

- Individuelles Ausbildungsprogramm mit vertiefenden Lehrveranstaltungen,
- Ringvorlesungen der am Kolleg beteiligten Wissenschaftler und Gäste,
- Blockkurse und Summer Schools,
- Vorträge auswärtiger Dozenten,
- Doktorandenkolloquien,
- Klausurtagungen.

Diese bewährten Elemente wurden in der ersten Phase des GRK um weitere neue Elemente ergänzt. Diese sind

- Für alle Stipendiaten wird ein ca. halbjähriger individuell konzipierter Auslandsaufenthalt angestrebt.
- Durch die Kollegiaten zu organisierende Studienprogramm Elemente zur Förderung der Selbständigkeit (Seminarstage, Summer Schools, Internet-Kommunikations-Elemente).
- Einbeziehung von Spezialisten aus der Industrie.
- Einbindung eines externen Patentanwaltes, der Verwertungsmöglichkeiten aufzeigt.

Auf eine Besonderheit des Kollegs sei ausführlich hingewiesen. Mehrheitlich stammen die Betreuer des Kollegs von der Universität Stuttgart. Betreuer von der RWTH Aachen, DLR Köln und TU München, die das Forschungsprogramm in notwendiger Weise ergänzen, werden in das Studienprogramm in geeigneter Weise integriert. Es ist Konsens aller Antragsteller, das Studienprogramm weitestgehend an der Universität Stuttgart durchzuführen. Um dieser ortsverteilten Struktur Rechnung zu tragen, werden als neues Element Seminarstage von den Stipendiaten organisiert, die in regelmäßigen Abständen an allen beteiligten Universitäten durchgeführt werden. Darüber hinaus sind individuelle Reisen der Kollegiaten/innen nach Aachen, Köln und München mit längeren Aufenthalten während der vorlesungsfreien Zeit, bzw. im letzten Ausbildungsjahr (sofern keine Blockveranstaltungen oder Summer Schools stattfinden) vorgesehen, um auch die exzellenten experimentellen Einrichtungen der auswärtigen Fachgebiete für ihre Arbeit zu nutzen. Weiterhin ist eine intensive web-basierte Kommunikation wichtig. Hierfür wurde in der ersten Phase des Kollegs ein Raid-Server in Stuttgart aus Mitteln der Universität angeschafft, auf den alle Stipendiaten Zugriff haben und wo Daten schnell und bequem

ausgetauscht und abgelegt werden können. Falls erforderlich wird dieses System in der zweiten Phase noch ausgebaut.

4.1.2. Ausbildungsprogramm

Um die unter 4.1.1 formulierten Ziele der Verbesserung der Ausbildungsqualität bei gleichzeitiger Reduktion der Promotionsdauer zu erreichen, ist ein spezielles Ausbildungsprogramm vorgesehen. Dieses Ausbildungsprogramm besteht aus zwei Elementen, einem Studienplan, der auf die individuelle Situation des Stipendiaten abgestimmt ist und einem angestrebten Auslandsaufenthalt.

Festlegung eines individuellen Studienplans

Aufgrund der interdisziplinär angelegten Struktur des Kollegs haben die Doktoranden/innen ihr Studium in unterschiedlichen Fachbereichen (Maschinenbau, Luft- und Raumfahrttechnik, Physik, Verfahrenstechnik, Mathematik) absolviert und planen eine Promotion bei einem Betreuer, der im Regelfall, aber nicht zwingend, aus dem Fachbereich ihres Studiums kommt. Somit sind sowohl die Vorbildung als auch das zusätzlich zu erwerbende Qualifikationsspektrum bei den einzelnen Kollegiaten/innen sehr unterschiedlich.

Nur ein auf die spezifische Vorbildung und das geplante Arbeitsfeld des jeweiligen Kollegiaten/innen individuell abgestimmter Studienplan ist geeignet, die gesteckten Ziele zu erreichen. Dieser Studienplan ist vom Doktoranden/von der Doktorandin unter Abstimmung mit den Betreuern zu erstellen. Das kommende Studienjahr ist jeweils zu konkretisieren, die folgenden Studienjahre vorzuplanen. Somit erfolgt eine jährliche Fortschreibung des Studienplans, die eine Berücksichtigung individueller Erfahrungen und neuer Zielsetzungen ermöglicht.

Dieses Konzept hat sich in der ersten Antragsphase des Graduiertenkollegs außerordentlich gut bewährt und soll, basierend auf den dort gemachten Erfahrungen, fortgeschrieben werden. Zwei Elemente kennzeichnen diesen Studienplan:

- **Methodenorientierung des Studienplans**
Um eine möglichst breite Ausbildung zu gewährleisten, sollen ca. 50 % der zu belegenden Lehrveranstaltungen methodische Grundlagen vermittelt. Diese Veranstaltungen sollen in Abstimmung mit den Betreuern derart zusammengestellt werden, dass diese Zielsetzung erreicht wird.
- **Gestaffelte Belegung der Lehrveranstaltungen**
Da der Besuch von Lehrveranstaltungen eine zügige Erarbeitung der für das Promotionsprojekt notwendigen Grundlagen ermöglichen soll, ist es zweckmäßig, eine Staffelung der zu belegenden Semesterwochenstunden wie folgt vorzunehmen:

	Anzahl der Vorlesungsstunden	Ausrichtung der Lehrveranstaltungen
1. Jahr	8 + Seminarvortrag	Bevorzugt grundlagen- und methoden- orientiert
2. Jahr	4 + Seminarvortrag	sowohl methoden- als auch problem- bzw. anwendungsorientiert

Im zweiten Jahr ist eine geringere Stundenzahl aufgrund des vorgesehenen Auslandsaufenthaltes vorgesehen.

Das dritte Studienjahr soll frei von Lehrveranstaltungen sein, um hinreichend Zeit für die Fertigstellung der wissenschaftlichen Arbeit zu gewähren. Spezielle wissenschaftlich-methodische Fragestellungen werden in der Ringvorlesung (Punkt 4.1.3) und den Vorträgen, Vorlesungen und Seminaren (Punkten 4.1.4, 4.1.6) behandelt.

Die zu belegenden Lehrveranstaltungen sind aus einem Katalog zu wählen, der sich in zwei Bereiche unterteilt. Im Bereich I werden Grundlagen der Modellierung und der Messtechnik vermittelt. Der Teil II beinhaltet Veranstaltungen über numerische Methoden und der Teil III über Anwendungen. Es sind unter Berücksichtigung des individuellen Studienplans aus allen drei Bereichen Vorlesungen zu wählen.

Katalog der Lehrveranstaltungen [mit Angabe von Vorlesungsstunden]

Bereich I: Grundlagen der Modellierung und Messtechnik

- Strömungslehre I, II [3+3]
(Krämer)
- Hypersonische Strömungen [3]
(Kloker)
- Thermodynamik III, IV [3+2]
(Neumann, von Wolfersdorf)
- Einführung in die Verbrennung [2]
(Aigner)
- Hochtemperatur-Thermodynamik [3]
(Olivier)
- Theoretische Gasdynamik I, II [2]
(Reinartz, Munz)
- Selected Problems of Convective Heat Transfer [3]
(Lamanna)
- Wärmeübertragung [2+2]
(Weigand)
- Wärmeübertragungsintensivierung [2+2]
(von Wolfersdorf)
- Spez. Probleme der Wärmeübertragung [3]
(Neumann)
- Moderne Messverfahren in der Thermodynamik I, II [1+1]
(Roth, von Wolfersdorf, Lamanna)
- Hochtemperatur-Messtechnik [3]
(Bauer)
- Transonic Flows with Internal Heat Addition [2]
(Lamana)
- Materialermüdung und Bruchmechanik I, II [2+2]
(Kierner, Erlet)
- Aeroelastizität I, II [2+1]
(Faust)
- Shourtcourses (Carrera): [1]
Theories for Composite Multilayered Structures: Basics
Classical Models and Recent Advances
- Blockkurs: Kompressible Turbulenz [2]
(Younis)
- Gasdynamik (Gaisbauer) [3]
- Strömungsversuchs- und Messtechnik (Gaisbauer) [2]
- Blockkurs: Grenzschichtströmungen (Stemmer) [3]
- Blockkurs: Strömungs- und Temperaturgrenzschichten (Schröder) [2]

Bereich II: Numerische Methoden

- Stoffübertragung und Verbrennung (Numerik) [3]
(Gerlinger)
- Numerische Methoden in der Thermodynamik [3]
(Neumann)
- Modellbildung für die Anwendung der Methode der Finiten Elemente I, II [2+2]
(Schrem)
- Nichtlinearitäten in der Statik [2]
(Parisch)
- Algorithmen und Datenstrukturen [2]
(Rudolph)
- Numerische Gasdynamik und Recherpraktikum [2+3]
(Munz)
- Numerische Strömungsmechanik [2]
(Munz)
- Blockkurs: Numerische Methoden für DNS/LES einschließlich der Stoß [2]
Turbulenz– Wechselwirkung
(Adams)

- Blockkurse (Rabenseifner, Munz, Meister, Nagel) [3]
 - Einführung in die Numerische Strömungsmechanik
 - Hochleistungsrechnen und Paralleles Programmieren für Fortgeschrittene
 - Iterative Gleichungssystemlöser und Parallelisierung

Bereich III: Anwendungen

- Verbrennungsprobleme der Luft- und Raumfahrt I, II [3]
(Walther)
- Elastoplastisches Tragwerksverhalten [2]
(Doltsinis)
- Adaptive Strukturen [1]
(Wagner, J., Wallmersperger)
- Berechnung von Faserverbundwerkstoffen [2]
(Rohwer)
- Ähnlichkeitstheorie im Ingenieurwesen und in der künstlichen [2]
Intelligenz
(Rudolph)
- Einführung in die künstliche Intelligenz [2]
(Rudolph)
- Advanced Materials and Smart Structures [2]
(Kröplin + co-workers)
- Adaptive Systems [3]
(Kröplin + co-workers)
- Blockkurs: Grundlagen des Scramjet-Antriebs [2]
(Reinartz)

Diese Vorlesungen werden durch Gastdozenten erweitert und ergänzt. Im Übrigen bietet sich aus der Fülle der Lehrveranstaltungen der beteiligten Fachbereiche eine breite Palette von zusätzlichen Lehrangeboten an.

Auslandsaufenthalt

Das zweite zentrale Element des Ausbildungsprogramms ist ein ca. sechsmonatiger Auslandsaufenthalt für die Stipendiaten. Dieser Auslandsaufenthalt ist, wie schon in der ersten Phase des Graduiertenkollegs, in der mittleren Phase der dreijährigen Promotionszeit vorgesehen, da in dieser Phase einerseits die notwendige Einarbeitung abgeschlossen ist, andererseits noch genügend Zeit für die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse bleibt. Der Auslandsaufenthalt wird hinsichtlich der auszuwählenden Hochschule und der Aufgabenstellung auf die spezifische Vorbildung der Stipendiaten sowie die Themenstellung des Promotionsprojektes individuell zwischen Stipendiat und den Betreuern abgestimmt und hat sich in der ersten Phase des Graduiertenkollegs hervorragend bewährt. Während der Zeit des Auslandsaufenthaltes wird ein regelmäßiges Kommunikationsprozedere über Internet zwischen Stipendiat und Betreuern verabredet. Die Antragsteller können eine Vielzahl bestehender Auslandskontakte auf dem Forschungsgebiet des Kollegs vorweisen. Beispiele für diese Kontakte sind:

- University of Queensland, Australien (Prof. Boyce, R.)
- University of California, Davis, USA (Prof. Younis, B.A.)
- Institute for Computational Science and Informatics, Virginia, USA (Prof. Löhner, R.)
- Space Institute, University of Tennessee, Tullahoma, USA (Prof. Steinhoff, J.)
- School of Aeronautics and Astronautics, Purdue University, West Lafayette (Prof. Merkle, Ch.)
- Institute of Mechanics, Moscow State University, Moskau, Russland (Prof. Cherny, G.)
- Semenov Institute of Chemical Physics, Moskau, Russland (Prof. Frolov, S.M.)
- Kristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanic, Novosibirsk, Russland (Prof. Shplyuk, A., Prof. Maslov, A.A., Prof. Ivanov, M., Prof. Lebiga, V.)
- Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques, Université de Poitiers, Frankreich (Prof. Comte, P.)
- CNRS, Orleans, Frankreich (Dr. Lengrad, J.-C.)
- ONERA, Toulouse, Frankreich (Mr. Verant, J.-L.)
- Di Ingegneria Aeronautica e Spaziale, Torino, Italien (Prof. d'Ambrosio, D.)
- Institut für Fluidodynamik, ETH Zürich, Schweiz (Prof. Rösgen)
- University of California, San Diego, USA (Prof. Sarkar)
- Georgia Institute of Technology, USA (Prof. Menon)
- University of Debrecen, Ungarn (Prof. Kun, F.)
- University of Latvia, Riga, Lettland (Prof. Andersons, J.)
- University of Sydney, Australien (Prof. Gero, J.)
- MIT, Boston, USA (Prof. Wallace, D.)
- Carnegy Mellon University, Pittsburg, USA (Prof. Cargan, J., Prof. Finger, S.)
- Politecnico di Torino, Italien (Prof. Carrera, E.)
- Aeronautical Laboratories, CalTech, Pasadena, USA (Prof. Hornung, H.)
- Département d'Aérodynamique Fondamentale et Expérimentale, ONERA, Meduon, Frankreich (Prof. Delery, J.)
- University of Washington, Mechanical Engineering, Seattle, USA (Prof. Malte, P.)
- University of Dayton, von Ohain Fuels and Combustion Centre, Ohio, USA (Prof. Ballal, D.)
- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Institute of Aerospace Technology, Jindaiji Higashimachi, Japan (Dr. Ito, K.)

Diese Partner für Auslandsaufenthalte werden auch, wie unter Kapitel 5 erläutert, eng in das Gastwissenschaftlerprogramm eingebunden.

4.1.3. Ringvorlesung der am Kolleg beteiligten Wissenschaftler und Gäste

Die am Kolleg mitwirkenden Wissenschaftler und Gäste bieten als regelmäßige Veranstaltung eine Ringvorlesung an. Diese Veranstaltung verfolgt zwei Ziele. Zum einen sollen spezielle wissenschaftlich-methodische Fragestellungen behandelt werden, die über den Umfang des dargestellten Lehrangebots hinausgehen, zum anderen dient diese Veranstaltung der wissenschaftlichen Kommunikation innerhalb des Kollegs.

4.1.4. Blockkurse

Blockkurse sind Teil des Ausbildungsprogramms der Doktoranden und dienen der fachlichen Spezialisierung. Diese Veranstaltungen, die einmal pro Halbjahr in der vorlesungsfreien Zeit geplant sind, werden im Regelfall von auswärtigen Hochschullehrern im Rahmen des Gastwissenschaftlerprogramms angeboten.

Vorläufige Themen dieser Veranstaltung in der zweiten Phase des Graduiertenkollegs werden sein:

- Turbulenzmodelle für die Strömungs- und die Energiegleichung
- Hochtemperaturmesstechniken und Instrumentierung von Modellen
- Stoß-Grenzschicht Wechselwirkungen
- Mischungsvorgänge in Strömungen

Diese Blockkurse werden zum Teil auf Englisch gehalten. Diese Kurse haben für die Antragsteller Modellcharakter in Hinblick auf die Fragestellung, ob diese Veranstaltungen auch für einen breiteren Teilnehmerkreis aus Industrie- und Hochschule von Interesse sein könnten.

4.1.5. Doktorandenkolloquien

Das Kolleg hat schon in der ersten Phase regelmäßige Doktorandenkolloquien eingerichtet. Innerhalb dieser berichten die Kollegiaten/innen einmal pro Jahr über den Fortgang ihrer Arbeiten. Die Erfahrungen mit Kolloquien dieser Art in der ersten Phase des Kollegs zeigen, dass sie hervorragend geeignet sind, um den Stipendiaten Präsentationsmethoden als ein zentrales Element der „soft-skills“ zu vermitteln, wenn nicht nur die fachlichen Inhalte, sondern auch die Präsentationsmethodik von den Betreuern kritisch gewürdigt wird. Diese Kolloquien dienen außerdem der wissenschaftlichen Diskussion und Kommunikation. Zu den Doktorandenkolloquien können auch Zuhörer aus der Wissenschaft oder/und Industrie eingeladen werden. Dadurch erhalten die Kollegiaten/innen Feedback von international renommierten, erfahrenen Persönlichkeiten. Weiterhin wird so der Kontakt zur Industrie und zu auswärtigen Wissenschaftlern in ungezwungener Art und Weise gefördert.

4.1.6. Vorträge auswärtiger Dozenten

Die am Kolleg beteiligten Hochschullehrer haben in der Vergangenheit regen wissenschaftlichen Kontakt zu auswärtigen Wissenschaftlern gepflegt. Diese Kontakte werden im Rahmen des Kollegs gesucht und vertieft.

Vortragende Wissenschaftler:

- Prof. Younis, B.A., University of California, Davis, USA

- Prof. Löhner, R., Institute for Computational Science and Informatics, Virginia, USA
- Prof. Steinhoff, J., Space Institute, University of Tennessee, USA
- Prof. Merkle, Ch., Purdue University, West Lafayette, USA
- Prof. Shpilyuk, A., Khristianovich Institute of Applied Mechanics, Novosibirsk, Russland.
- Prof. Kosinov, A.D., Khristianovich Institute of Applied Mechanics, Novosibirsk, Russland.
- Prof. Zapryagaev, Khristianovich Institute of Applied Mechanics, Novosibirsk, Russland.
- Prof. Kharitonov, A.M., Institute of Applied Mechanics, Novosibirsk, Russland
- Prof. Comte, P., Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques, Université de Poitiers, Frankreich
- Prof. d'Ambrosio, D., Di Ingegneria Aeronautica e Spaziale, Torino, Italien
- PD Dr. Schlamp, S., ETH Zürich, Schweiz
- Prof. Paull, A., University of Queensland, Australien
- Prof. Sarkar, S., University of California, San Diego, USA
- Prof. Menon, S., Georgia Institute of Technology, USA
- Prof. Kun, F., University of Debrecen, Ungarn
- Prof. Anderson, J., University of Latvia, Lettland
- Prof. Gero, J., University of Sydney, Australien
- Prof. Cagan, J., Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA
- Prof. Wallace, D., MIT, Boston, USA
- Prof. Carrera, E., Politecnico di Torino, Italien
- Prof. Maslov, A.A., Khristianovich Institute of Applied Mechanics, Novosibirsk, Russland

Vortragende Persönlichkeiten aus der Industrie:

- Prof. Walther, R., MTU München
- Dr. Kordulla, W. ESTEC, Noordwijk, Holland
- Dr. Falempin, F., MBDA, Frankreich
- Prof. Koschel, W., DLR Lampoldshausen
- Dr. Sacher, P.W., Astrium München
- Dr. Kuczera, H., Astrium München
- Dr. J. Steelant, ESTEC, Noordwijk, Holland
- Prof. J. Muaylaert, ESTEC, Noordwijk, Holland; VKI, Belgien

Dieses „Wissenschaftsnetzwerk“ lässt sich in hervorragender Weise nutzen, um das Angebot an Lehrveranstaltungen gezielt zu erweitern. Wie in der Vergangenheit ist auch für die beantragten Projekte geplant, den Kollegiaten mindestens eine regelmäßige Vorlesungsveranstaltung in den Semesterferien (Summer School) und mehr als 4 Seminarveranstaltungen pro Semester durch auswärtige Wissenschaftler anzubieten. Diese Veranstaltungen sollen sich mit einem methoden- oder problemorientierten Schwerpunkt befassen.

4.1.7. Klausurtagungen

Darüber hinaus wird einmal pro Jahr eine Klausurtagung durchgeführt. Außerhalb der regelmäßigen Doktorandenkolloquien wird dabei den Kollegiaten/innen noch die Möglichkeit gegeben, über ihre Arbeiten in Form von Fortschrittsvorträgen zu berichten. In den Klausurtagungen wird weiterhin auch über die Gesamtziele des Kollegs und deren mögliche

Erreichung gesprochen. Es werden zusammen mit den Kollegiaten/innen Möglichkeiten ermittelt den gesamten Projektfortschritt zu verbessern.

Weitere Ziele dieser Veranstaltungen sind zum Einen die Verbesserung der wissenschaftlichen Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Arbeitsgruppen, zum Anderen dienen sie der wissenschaftlichen Qualifizierung der Doktoranden. Die Klausuratmosferaere dieser Veranstaltungen führt vor allem dazu, dass die Kontakte zwischen Stipendiaten und Wissenschaftlern, die nicht Betreuer des Projektes sind, verbessert werden.

4.1.8. Selbstorganisierte Veranstaltungen der Kollegiaten

Auch bei einem gut organisierten Studienprogramm mit vielen Veranstaltungstypen, die sich an den Zielen der Verbesserung der Qualität bei einer angestrebten 3-jährigen Promotionsdauer und eine Erhöhung der Attraktivität für hochqualifizierte Stipendiaten orientieren, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich bei den Kollegiaten um hochintelligente junge Wissenschaftler/innen handelt, deren Selbständigkeit auch im Rahmen des Kollegs gefördert werden soll. Die Antragsteller sind der Überzeugung, dass Veranstaltungen und Organisationsformen, die von den Kollegiaten ohne direkte Einflussnahme der Betreuer konzipiert werden, ein weiteres notwendiges Element des Studienprogramms sind. Wissenschaftliche Mitarbeiter organisieren in eigener Verantwortung in Ergänzung zu den regulären Projekttreffen in regelmäßigen Abständen 1 bis 2-tägige Kolloquien ohne Projektleiter und Betreuer, die sich außerordentlich positiv auf Zusammenarbeits- und Kommunikationsstrukturen auswirken. Zwei Elemente sind in Anlehnung an die Erfahrungen aus der ersten Phase geplant:

Summer Schools und Seminartage

Diese Veranstaltungen haben einen Themenschwerpunkt und können sowohl Vorträge von eingeladenen Wissenschaftlern und Kollegiaten, als auch durch externe Berater betreute Workshops sein (z.B. „Writers Workshop“). Da diese Veranstaltungen an unterschiedlichen Standorten durchgeführt werden (Stuttgart, Aachen und München) werden die Forschungsschwerpunkte des jeweils lokalen Gastgebers besonders gewichtet. Den Post-Doktoranden des Kollegs kommt bei diesen Veranstaltungen eine koordinierende Funktion zu.

Mögliche Themenschwerpunkte dieser Seminartage sind:

- Patentworkshop (Stuttgart)
- Überschallmesstechnik (Stuttgart)
- Kompressible Turbulenz (München)
- Mathematische Strömungslehre (Aachen)
- Aerodynamik (Aachen)
- Parallele Programmierung (Stuttgart)
- „Writers Workshop“ (Stuttgart)
(Vermittlung wie man eine gute wissenschaftliche Publikation schreibt. Dieses Wissen erwerben die Kollegiaten mit einem externen Betreuer, der diesen Workshop schon seit einigen Jahren anbietet)
- Schulungen zur Vermittlung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis (Stuttgart)

„Alumnitreffen“

Wegen der sehr guten Zusammenarbeit aller Stipendiaten/innen in der ersten Phase des Graduiertenkollegs ist es geplant in der zweiten Phase des Kollegs die früheren Stipendiaten/innen mit in die laufenden Projekte mit einzubeziehen. Dazu ist geplant, dass einmal im Jahr die früheren Kollegiaten zu einem Kolloquium eingeladen werden, in dem die derzeitigen Stipendiaten/innen über ihre Projekte berichten. Auch die „Alumnis“ können bei diesen Treffen über ihre derzeitigen Arbeiten vortragen. Diese Treffen haben zum Einen den Zweck den Stipendiaten/innen sozusagen aus erster Hand Informationen aus der Industrie weiterzugeben und zum Anderen soll damit ein langfristiges Netzwerk zwischen Universitäten und Industrie etabliert und gefestigt werden.

Web-basierte Kommunikation

Aufgrund der ortsverteilten Struktur der Betreuer werden die geschilderten Kommunikationsstrukturen in Form von Blockveranstaltungen, Seminar- und Klausurtagen etc. um web-basierte Elemente, die von den Kollegiaten zu organisieren sind, ergänzt.

- Informationen aller Teilnehmer über den Projektfortschritt in regelmäßigem Rhythmus und web-basierte Verteilung der Information.
- Web-basierter Austausch von experimentellen und theoretischen Ergebnissen über den vorhandenen Raid-Server in Stuttgart.

4.2. Betreuungskonzept

4.2.1. Ausschreibung und Auswahl der Kollegiaten

Nach einem Jahr in der zweiten Antragsphase des Graduiertenkollegs ist wieder eine Blockausschreibung der Stellen vorgesehen. Diese Ausschreibung erfolgt (wie in der ersten Phase des Kollegs) in den von Absolventen gelesenen Zeitschriften und Zeitungen (VDI, Die Zeit, FAZ). Weiterhin werden Stellen über die Web-Seiten der beteiligten Institute bekannt gegeben und in der internationalen Internet-Jobbörse (z.B. MONSTER.de) ausgeschrieben. Diese Ausschreibungen werden weiterhin wieder ergänzt durch das gezielte Anschreiben vieler internationaler Kollegen/innen, die in diesem Bereich arbeiten. Die Bewerbung wird zentral vom Sprecher organisiert. Die Auswahl erfolgt durch die Betreuer in einem oder mehreren gemeinsamen Auswahlgesprächen.

4.2.2. Betreuung der Kollegiaten/innen

Alle Stipendiaten/innen werden von zwei Wissenschaftlern betreut. Diese Struktur verbreitert die Betreuerbasis und verbessert die Ansprechmöglichkeiten der Stipendiaten. Beide betreuenden Wissenschaftler/innen sind jeweils bei den Einzelprojekten im Anhang A angegeben. Hierbei ist der erstgenannte Name der Hauptbetreuer.

Wie in Kapitel 4.1.2 erläutert, wird zu Beginn der Dissertation in einem ausführlichen Beratungsgespräch zwischen Kollegiat und den Betreuern ein individueller Studienplan festgelegt, der u.a. auch die Voraussetzungen zur Promotion des jeweiligen Fachbereichs berücksichtigt. Aufgrund der Interdisziplinarität des Kollegs und den damit verbundenen unterschiedlichen fachlichen Ausrichtungen der Stipendiaten muss sich dieser nun individuell zu definierende Stundenplan einerseits an der Vorbildung des Stipendiaten orientieren und andererseits an den Zielen und an den anzuwendenden Methoden der Arbeit.

Die Betreuung der Kollegiaten erfolgt in Form einer Matrixstruktur in zwei Ebenen. Ein Aspekt ist die überwiegend methodenorientierte Arbeitsweise im Hinblick auf die Auslegung eines Scramjet-Antriebsystems im Kolleg. Der zweite Aspekt ist die Integration in eine Arbeitsgruppe der Betreuer. Damit wird sichergestellt, dass die Kollegiaten sowohl einen intensiven Kontakt mit den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Arbeitsgruppen als auch mit den anderen Kollegiaten bekommen. Eine Einbindung in Arbeitsgruppen hat erfahrungsgemäß den Vorteil, dass die Doktoranden zur Selbständigkeit wie auch zur Arbeit in einer Gruppe erzogen werden. Die gegenseitige Anregung und Kritik wirkt sich auf das spätere selbständige Arbeiten besonders positiv aus.

Als weiteres Element des Betreuungskonzeptes ist ein Konferenzbesuch pro Jahr geplant, der vom zweiten Jahr an, auch mit einem eigenen Vortrag verbunden sein soll. Die Möglichkeit, während dem Studium auch ein Auslandssemester zu absolvieren, wurde schon unter 4.1.2 beschrieben.

Die Post-Doktorandenstellen werden so besetzt, dass zum einen eine bestmögliche fachliche Betreuung der Kollegiaten zum anderen aber auch damit die Kontinuität des Kollegs gesichert wird. Wichtig ist deshalb, dass diese Stellen, insbesondere während der Übergangszeit zur zweiten Doktorandengeneration in der zweiten Phase des Kollegs, besetzt bleiben, um diese Phase über die Postdocs zu stabilisieren. Allerdings wird der Übergang zwischen den Doktorandengenerationen gleitend erfolgen, da nicht alle Doktoranden zum gleichen Zeitpunkt in das Kolleg eintreten und die tatsächliche Promotionsdauer nur im Durchschnitt ca. 3 Jahre beträgt, mit Schwankungsbreiten von 3 – 6 Monaten, so dass sich eine Übergangsperiode von rund 6 Monaten ergibt, die für den Transfer des Wissens genutzt werden kann. Dies konnte bereits in der ersten Phase des Kollegs gut durchgeführt werden.

4.2.3. Erfolgskontrolle

Die Kontrolle der Arbeit der Doktoranden/innen erfolgt auf mehreren Stufen:

- Regelmäßig stattfindende Seminarvorträge im Rahmen des Doktorandenkolloquiums, in denen jede/r Doktorand/in einmal pro Semester über seinen/ihren Arbeitsfortschritt berichtet,
- Diskussions- und Präsentationsfähigkeit bei der jährlich stattfindenden Klausurtagung,
- regelmäßige Fachgespräche mit den Betreuern seines/ihres Projektes,
- Nachweise absolvierter Vorlesungen,
- Abschluss der Arbeit nach der Promotionsordnung.

Die Fachgespräche setzen sich aus zwei Elementen zusammen. Regelmäßige Besprechungen über Planung und Fortschreibung der Arbeit in ca. zweiwöchentlichem Rhythmus bilden das eine Element. Das zweite Element ist ein umfangreiches Beratungsgespräch in ca. ½-jährigem Rhythmus, in dem individuelle Ziele in Hinblick auf

- Arbeitsfortschritt der wissenschaftlichen Arbeit,
- Erarbeiten von wissenschaftlichen Methoden,
- Weiterentwicklung von *Softskills* (Präsentationsfähigkeit, Projektmanagement, Kommunikationsfähigkeit, etc)

zwischen Betreuern und Stipendiaten/innen vereinbart werden. Diese Ziele werden dann, als wesentliches Element der Erfolgskontrolle, überprüft, Abweichungen analysiert und Maßnahmen für die zukünftige Vorgehensweise abgeleitet. Diese Struktur orientiert sich an sog. Mitarbeitergesprächen im industriellen Umfeld und stellt insofern auch eine Vorbereitung auf die berufliche Tätigkeit der Doktoranden nach der Promotion dar.

5. Programm mit Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern

Das Gastwissenschaftler(innen)programm stellt ein zentrales Element zur Erreichung der Ausbildungs- und Forschungsziele des Kollegs dar. Die Gastwissenschaftler/innen werden in mehreren Ebenen in das Kolleg eingebunden.

Im Einzelnen:

- Seminarvorträge
Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern wird die zentrale Rolle bei der Ausgestaltung des Vortragsprogramms zukommen.
- Blockveranstaltungen und Summer Schools
Diese Veranstaltungsreihen, die der fachlichen Qualifikation der Doktoranden dienen, werden im Wesentlichen durch Gastwissenschaftler/innen getragen, die zu speziellen wissenschaftlichen Fragestellungen Veranstaltungen anbieten.
- Doktorandenkolloquium
Auch bei diesen Veranstaltungen werden Gastwissenschaftler eingebunden, die im Regelfall Übersichtsvorträge zu Themenbereichen halten.
- Langfristige Aufenthalte
Für einige ausgewählte Forschungsprojekte ist eine enge Zusammenarbeit mit ausgewählten Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern wünschenswert. Es wird beabsichtigt, dass diese Gastwissenschaftler beim Abschluss der jeweiligen Dissertationen auch das Korreferat übernehmen. Daher sind für eine begrenzte Anzahl von Gästen wiederkehrende Kurzaufenthalte von ein bis zwei Wochen vorgesehen.

Das Gastwissenschaftler(innen)programm steht in engem Zusammenhang mit den Auslandsaufenthalten der Stipendiaten. Geplant ist, dass der Kontakt zwischen den ausländischen Gastgebern, den Stipendiaten und dem Graduiertenkolleg über dieses Programm hinaus langfristig erhalten bleibt, wenn man ausländische Gastgeber der Stipendiaten wiederkehrend einlädt.

Darüber hinaus sind auch längere Aufenthalte von Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern vorgesehen, die von anderen Förderstellen unterstützt werden, z.B. Alexander-von-Humboldt Stiftung, DAAD, DFG Gastprofessur. Diese Stipendiaten können dann noch enger in das Forschungs- und Studienprogramm eingebunden werden.

Eine Auswahl von Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern, mit denen etablierte Kontakte bestehen und die zentrale wissenschaftlich Fragestellungen des Kollegs bearbeiten, ist im Folgenden aufgelistet:

Name	Herkunft	Arbeitsgebiet
Prof. Löhner, R.	Institute for Computational Science and Informatics, Virginia, USA	CFD Methoden
Prof. Steinhoff, J.	University of Tennessee, Tullahoma, USA	Unkonventionelle Turbulenzmodelle
Prof. Merkle, Ch.	Purdue University, West Lafayette, USA	CFD Methoden, Numerische Verbrennung
Prof. Shipliyuk, A.	ITAM, Novosibirsk, Russland	Überschallmesstechnik
Prof. Crawford, M.	University of Austin, Texas, USA	Grenzschichtverfahren, Wärmeübertragung
Prof. Comte, P.	Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques, Université de Poitiers, Frankreich	Turbulenztheorie
Prof. d'Ambrosio, D.	Di Ingegneria Aeronautica e Spziale, Torino, Italien	CFD Methoden
Prof. Younis	University of California, Davis, USA	CFD Methoden
Prof. Carrera, E.	Politecnico di Torino, Italien	Mehrschichtlaminatformulierungen
Prof. Kun, F.	University of Debrecen, Ungarn	Numerische Schädigungsmechanik
Prof. Delery, J.	ONERA, Meudon, Frankreich	Hyperschallexperimente
Prof. Ben Dor, G.	Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel	Stoss-Interaktion
Prof. Paull, A.	University of Queensland, Australien	SCRAMJET, Überschallverbrennung
Prof. Hornung, H.	CalTech, Pasadena, USA	Stossrohrexperimente
Prof. Sarkar, S.	University of California, San Diego, USA	Kompressible Turbulenz Turbulente Verbrennung
Prof. Menon, S.	Georgia Institute of Technology, USA	Turbulente Verbrennung
Prof. Maslov, A.A.	ITAM, Novosibirsk, Russland	Transition, Hypersonische Strömungen, Hyperschalleinläufe
Prof. Lebiga, V.	ITAM, Novosibirsk, Russland	Anemometrie
Prof. Kosinov, A.	ITAM, Novosibirsk, Russland	Transition, Stabilitätsuntersuchungen, Kurzzeitmesstechnik Über- u. Hyperschall
Prof. Zapryagaev	ITAM, Novosibirsk, Russland	Überschallmesstechnik, Windkanaltechnik
Prof. Fedorova, N.N..	ITAM, Novosibirsk, Russland	Numerische Methoden, CFD
Prof. Hou, L.	Tsinghua University, China	Numerische Methoden, CFD, Überschallverbrennung