

3 Lehrstuhl für Flugantriebe Entwicklungsphasen

50 Jahre
1964 – 2014

Technische Universität München

TUM Stammgelände



1964



2014



TUM Campus Garching 1998



3.1 1964 - 1972 – 1982

Gründung, Aufbau und Weiterentwicklung des LFA im TUM-Stammgelände

Hochschullehrer und Leitung des LFA:



Prof. Dr.-Ing. Hans Georg Münzberg Prof. Dr.rer.nat. E. Büchner

Wiss. Mitarbeiter:

Dr.-Ing. W. Dittrich, Dr.-Ing. H. Bruno, Dr.-Ing. H. Rick, Dr.-Ing. D. Rist

Adresse: Barerstrasse, Nähe Stammgelände

Mit der Berufung des o. Professors Dr.-Ing. H. G. Münzberg im Sommersemester 1964 wurden Lehrstuhl und Institut für Flugantriebe an der Fakultät für Maschinenwesen und Elektrotechnik der Technischen Hochschule München gegründet. Die Anfänge des Lehrstuhlaufbaus basierten einerseits auf Erkenntnissen, Erfahrungen und Mitgebrachtem aus dem Lehrstuhl für Luftfahrttriebwerke der TU Berlin, an dem Prof. Münzberg von 1957 bis 1964 als Ordinarius tätig war, andererseits aus der Flugtriebwerksindustrie in Deutschland und Frankreich, in der Prof. Münzberg von den Anfängen seit 1939 als Entwicklungsingenieur bis 1945 bei BMW, anschließend bis 1964 in der Firma SNECMA als Direktor für Forschung und Entwicklung tätig war.

Die Bezeichnung "Flugantriebe" wurde für den Lehrstuhl an der Technischen Hochschule TH in München gewählt, um die neben den Antrieben der Luftfahrttechnik zum Fachgebiet gehörenden außeratmosphärischen Antriebssysteme der Raumfahrttechnik auch im Namen mit zu erfassen.

Dem Wunsch der damals gemeinsamen Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik das gesamte Gebiet der Thermischen Strömungsmaschinen mit Gasturbinen und Dampfturbinen zu übernehmen kam Prof. Münzberg nur teilweise entgegen. Dem neuen Lehrstuhl für Flugantriebe wurden demnach seit 1964 auch die Fachbereiche und Grundlagen der Gasturbinen und Turboverdichter zugeordnet. Damit sollte dem Bestreben der Fakultät folgend der Lehrstuhl für Flugantriebe neben der Luft- und Raumfahrt auch im Allgemeinen Maschinenbau umfangreich integriert sein.



Im Rahmen der Lehrstuhlstruktur entwickelte sich während der Aufbauphasen die Zahl der Mitarbeiter von anfangs 10, später bis zum Jahr 1982 auf über 20, von denen mehr als die Hälfte wissenschaftliche Mitarbeiter waren.

In und mit den technischen Einrichtungen wurden Aufgaben aus den in Lehre und Forschung vertretenen Fachgebieten des Lehrstuhls theoretisch und experimentell bearbeitet. Die experimentellen Arbeiten wurden in verschiedenen Labors und Prüfstandsräumen durchgeführt. Hinzu kamen eine mechanische und messtechnische Werkstatt. Bereits Anfang der 1970er Jahre standen somit für verschiedene Arbeitsgruppen ein Technisches Büro, Werkstätten, ein Rechnerraum, ein Gasturbinenprüfstand, eine Versuchshalle mit Gebläse-Prüfstand und auch ein Lärm-Prüfstand zur Verfügung. Ein Labor für thermogasdynamische Versuche, ein chemisch-thermodynamisches Labor sowie ein Labor für Elektrofluidodynamik waren darüber hinaus vorhanden.



Prof. H.G. Münzberg und Dr. L. Bölkow



Überschall-Verkehrsflugzeug Concorde

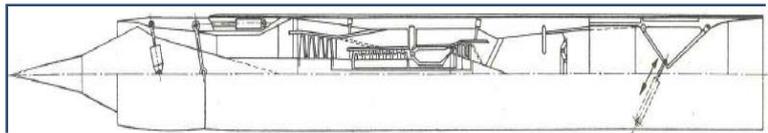
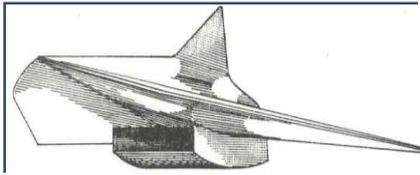
Ein neues, gemeinsames Institut für Luft- und Raumfahrt ILR wurde für die TU München intensiv in Garching, im Norden von München, geplant und sollte bereits 1972 bzw. 1974 bezogen werden. Die Anlagen dieses Instituts mit Lehr- und Forschungsgebäuden umfassten etwa 50 % des Volumens der später Ende der 1990er Jahre auf dem Campus Garching verwirklichten Fakultät für Maschinenwesen. Der Lehrstuhl für Flugantriebe enthielt z. B. einen Triebwerks-Prüfstand bis 100 kN Schub für Turbotriebwerke mit Nachbrenner vom Typ SNECMA-ATAR9 K oder GE-J79. Weiterhin war ein Mach 2 bis 3 Windkanal für Hyperschall-Staustrahltriebwerke mit Überschallverbrennung (Scramjet) mit einer Leistung von 10 MW vorgesehen sowie Werkstätten und Prüfstände für – zusammen mit der SNECMA - die Entwicklung und den Bau kompletter Hubtriebwerke der damals aktuellen Kurz- und Senkrechtstart-Flugzeuge.

Seit der Gründung des Lehrstuhls für Flugantriebe im Jahre 1964 im Rahmen der Studienrichtung Luft- und Raumfahrt war es selbstverständlich, dass nicht nur Studierende dieser Studienrichtung ausgebildet werden sollten, sondern auch solche des reinen Maschinenbaus. Dies betraf für den Lehrstuhl für Flugantriebe vor allem die Maschinenbau-Fächer der Turbomaschinen wie die Gasturbinen und deren Komponenten z. B. die Turboverdichter.

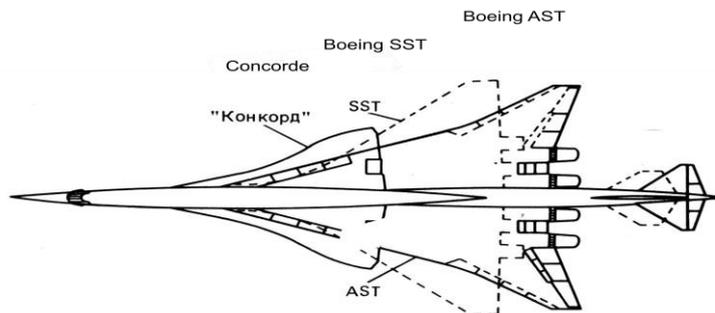
Projekte, Forschung und Kooperationen**1964 – 1972****Prof. Dr. H.G. Münzberg, Prof. Dr. E. Büchner,****Dr. H. Bruno, Dr. W. Dittrich, Dr. H. Rick, Dr. D. Rist, J. Kurzke****Partner: BMW, BWB, DASA, DFG, DLR, Dornier, LH, MTU, UniBW**

- Anpassung des Antriebstyps an neue, extreme Flugaufgaben
Antriebssysteme für zivile Überschallflüge, Typ Concorde oder Boeing-SST
- Antriebssystem für Raumtransporter-Hyperschallflugzeuge bis Mach-Zahlen 6 bis 8, nach Raumtransporter Konzepten u.a. von D. Küchemann (1964)
- Staustrahlantriebe für Überschall - und Hyperschallflüge mit Unterschall- und Überschallverbrennung für Ramjet- und Scramjet- Antriebe
Turboraketen-Kombinationstriebwerke
- Kombinationsantriebe wie Turbo-Staustrahl-Kombinationstriebwerke, TL mit Vorkühlung „Air-Turbo Exchanger ATE“, TL mit Vorkühlung und Phasenwechsel des Fluidstromes (Liquid Air Cycle Engine LACE)
TL mit umgekehrten Arbeitsprozess „Inverted Cycle Engine“ ICE
- Rechenverfahren für mehrdimensionale Überschallströmung (Charakteristiken-Verfahren, Vorgänger von CFD-Verfahren, für Mach-2 bis 4-Triebwerkseinläufe)
- Senkrecht- und Kurzstarttechnik V/STOL-Antriebssysteme
u.a. Transsonik-Axialverdichter mit Auslegung, Bau und Test für VTSTOL-Hubtriebwerken (Test beim DLR in Köln-Porz-Wahn)
- Chemische Thermodynamik von Verbrennungsvorgängen für Raketensysteme
- Chemie der Treibstoffe von Flüssigkeits- und Feststoffraketen
- Turbopumpen-Fördersysteme von Hochdruck-Flüssigkeitsraketen
- Nuklearthermische Turbo- und Raketen-Antriebe
- Thermisch-chemische Flugantriebe mit variablen Arbeitsprozessen VCE
von Kernkraft-Gasturbinen mit Helium-Kreislauf für Kraftwerks- und Marinetechnik
- Auslegung von elektrischen Antrieben für Raumfahrtsysteme
- Standard-Fachbuch
„Flugantriebe“ H.G. Münzberg mit H. Rick, E. Büchner, W. Dittrich
- Planungsarbeiten ILR, Neubau in Garching

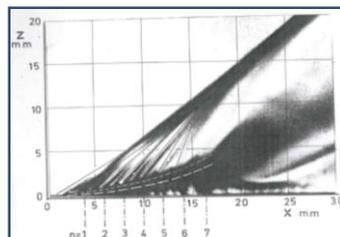
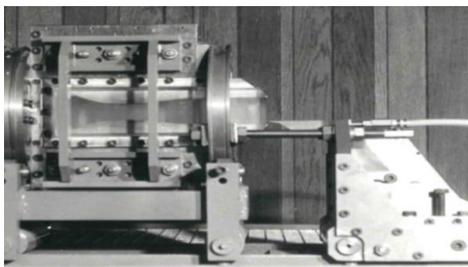




Hyperschall-Flugsysteme mit integriertem Antrieb z.B. Turbo-Ramjet

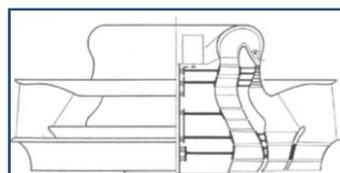
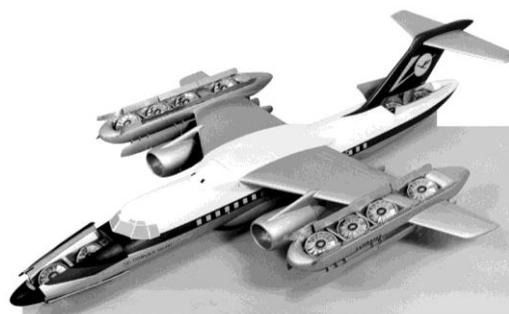


Überschall-Verkehrsflugzeuge wie die Concorde (Mach 2,02) oder Boeing AST bzw.SST (Mach 2,62)



Studien und Experimente zur Überschallverbrennung für Raumtransporterantriebe

Hochdruck-Raketen-Antriebe



Auslegung und Experimente zur Entwicklung neuer Antriebssysteme für Senkrecht und Kurzstart-Flugzeuge V/STOL mit z.B. Lufthansa AG oder Dornier GmbH

Lehrstuhl und Schwerpunkte im TUM-Stammgelände

1972 – 1982

Hochschullehrer und Leitung des LFA:



Prof. Dr.-Ing. H.G. Münzberg

Dr.-techn. W. Dittrich

Dr.-Ing. D. Rist

Prof. Dr. E. Büchner

Dr.-Ing. H. Rick

Einen Überblick zu den angedeuteten Gedankengängen, die für die Lehre und Forschung gleichermaßen Bedeutung haben, geben die Fachbücher „Flugantriebe“ (1972) und „Gasturbinen“ (1977). Die vorstehend angesprochene Spezialisierung ließ eine Aufteilung in Forschungsgruppen sinnvoll erscheinen. Die Schwerpunkte der 4 Forschungsgruppen lagen auf den nachstehend angeführten Gebieten:

> Aerothermodynamik der Flugantriebe und Gasturbinen sowie deren Komponenten

Dr.-Ing. H. Rick

> Technologie der Turboluftstrahlantriebe und Gasturbinen sowie deren Komponenten

Dr.-Ing. D. Rist

> Chemische Thermodynamik der Raketentriebwerke sowie deren Treibmittel- und Sprengstofftechnik,

Prof. Dr. phil. E. Büchner

> Elektrische Flugantriebe sowie Elektrofluidmechanik

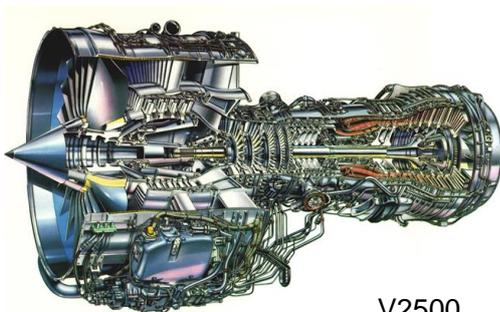
Dr. techn. W. Dittrich

In der Lehre wurden im Bereich der Studienrichtungen des Maschinenbaus die Pflichtvorlesungen „Gasturbinen“ (Münzberg) und „Turboverdichter“ (Münzberg) angeboten sowie für die Studienrichtung Luft- und Raumfahrt die Pflichtvorlesung „Flugantriebe“ (Münzberg) mit atmosphärischen Antrieben, Kombinationsantrieben und Raketenantrieben. Zur Vertiefung sowie für Sondergebiete wurden von verschiedenen Mitarbeitern des Lehrstuhls folgende Wahlvorlesungen gehalten: „Chemische Thermodynamik der Strahlantriebe“ (Büchner), „Elektrische Flugantriebe“ (Dittrich), „Numerische Methoden zur Berechnung des Betriebsverhaltens von Gasturbinen und Luftstrahlantrieben“ (Rick), „Technologie der Fluggasturbine“ (Rist) sowie „Strömungsmaschinen“ (Rick) für das Lehramt an Beruflichen Schulen (LB).

In Verbindung mit diesen Gebieten entstanden im Zeitraum von 1964 bis 1982 über 20 Dissertationen, 4 Habilitationen, 46 Berichte in Fachzeitschriften, 34 Vorträge auf Tagungen und Symposien sowie 35 Institutsberichte darunter die Bücher „Flugantriebe“ (1972, Münzberg, mit Beiträgen von Büchner, Dittrich und Rick) und „Gasturbinen“ (1977, Münzberg/Kurzke).



TU München Stammgelände



V2500



Bypass-Turbofan-Triebwerke



■ Betriebs- und Leistungsverhalten stationär und instationär

■ Modulare numerische Simulation Syntheseprogramme

■ Monitor- und Diagnose-Systeme



Turboshaft-Triebwerk GE T700



Hubschrauber Sondereinsätze

Projekte, Forschung und Kooperationen 1972 – 1982

Aerothermodynamik, Leistungs- und Betriebsverhalten von Gasturbinen und Flugantrieben mit neuer EDV-Rechentechnik

Gruppe Dr. Rick

Gasturbinen - Betriebsverhalten und Optimierung insbesondere von Q/STOL-Flugtriebwerken

Dr. Kurzke

Numerische Berechnung des stationären Leistungs- und Betriebsverhaltens von GT und FA ohne /mit variabler Geometrie sowie mit Optimierungsstrategien (MODSYN, MUSYN)

Dr. Muggli

Hochleistungs-Bypass-3-Wellen-Triebwerk mit Mischung für Unter- und Überschallflug: EDV-Berechnungsverfahren zur numerischen Leistungsbestimmung mit Schub-Kennfeldern.

Mobile Gasturbinen für KFZ, Schiffe, Schwerfahrzeuge und die Energietechnik mit Optimierungsstrategien ohne/mit WT (Kennfelder). Stationäres Betriebsverhalten von gekühlten Hochtemperatur-Gasturbinen mit verschiedenen Kühlverfahren.

Digitale numerische Simulation des stationären und instationären Betriebsverhaltens von GT und FA mit Optimierung, Monitoring und Diagnose.

Dr. habil. Rick

Dr. Hörl , Dr. Menrath

Numerische Auslegung, Kennfeldberechnung und Optimierung von mehrstufigen GT/FA-Komponenten.

Dr. Biagosch

Technologie der Turboluftstrahlantriebe und Gasturbinen sowie deren Komponenten

Gruppe Dr. Rist

Erster Aufbau des Kleingasturbinen-Prüfstandes (Budworth-Gasturbine mit Axial-Verdichter-Bremse, KHD-Gasturbine mit Wirbelstrombremse)

Einführung des Praktikums „Thermische Strömungsmaschinen und Flugantriebe“

Hochleistungs-Bypass-3-Wellen-Triebwerk mit Mischung für Unter- und Überschallflug: Entwicklung von Verfahren zur Schubbestimmung im Stand und Unterschall- und Überschallflug

Auslegung, Entwicklung und Betrieb von lärmarmen Hochleistungsgebläsen und Turboverdichtern. Auslegungsdiagramme von Turbinen und Verdichtern.

Thermisch-mechanische Strukturbeanspruchungen von Triebwerksrotoren.

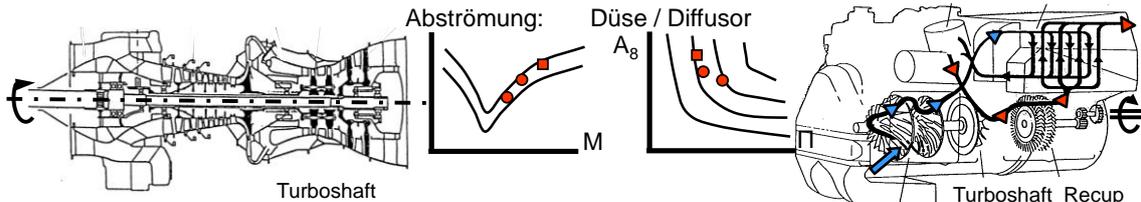
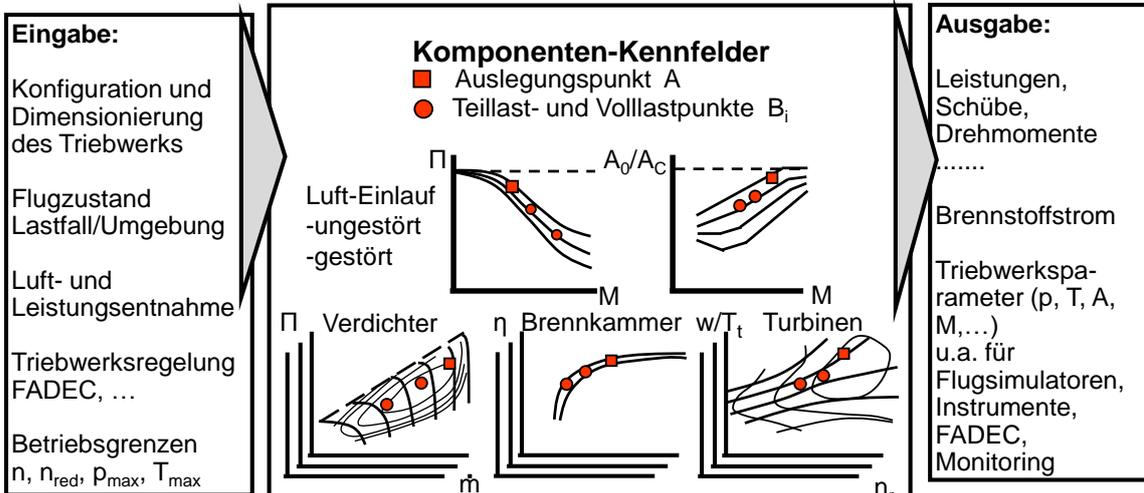
Dr. Keppeler Dr. Erhard

Beiträge zur thermogasdynamischen und technologischen Auslegungsphilosophie komplexer Turbostrahltriebwerke

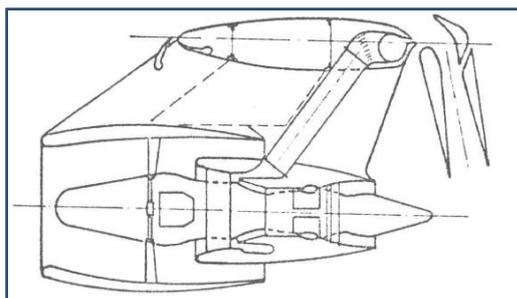
Dr. habil. Rist



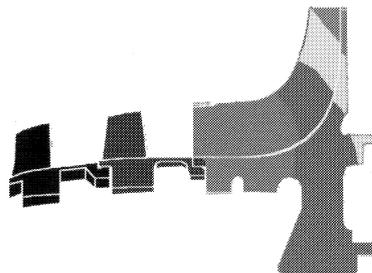
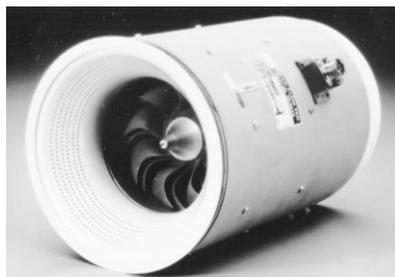
Syntheserechnung iterativ GTSYN
 Zusammenspiel aller Komponenten
 Stationäres / instationäres Verhalten



Stationäres und instationäres Betriebsverhalten



Betriebsverhalten, Lebensdauer und Optimierung



Chemische Thermodynamik der Raketenantriebe sowie Treibmittel- und Sprengstofftechnik

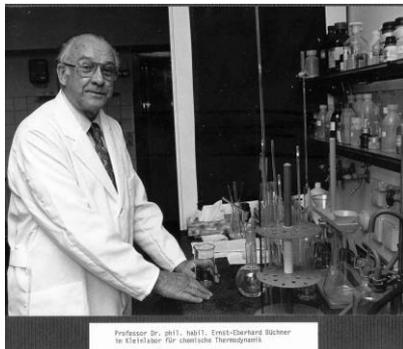
Gruppe Prof. Büchner

Verfahren zur Berechnung der Mischungs- und Verbrennungsbildung in
Raketentriebwerken

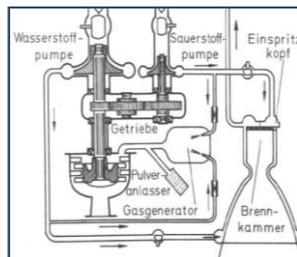
Dr. Voß Dr. Schadow

Berechnungen zum Verbrennungsablauf in mit Methan betriebenen Ottomotoren.

Innenballistische Vorgänge in geschlossenen Systemen unter der Berücksichtigung von
Druckabhängigkeiten der thermodynamischen Daten der Treibmittel. Dr. Kellner



Professor Dr. phil. habil. Ernst-Eberhard Büchner
in Kleinkabin für chemische Thermodynamik



Elektrische Flugantriebe und Generatoren sowie Elektrofluidmechanik und Umwelttechnik

Gruppe Dr. Dittrich

Flammenbeeinflussung durch hochgespannte elektrische Felder sowie Beeinflussung
des Wärmeübergangs durch elektrische Luftbeschleunigung

Atmosphärische elektrische Antriebe und Elektrofluiddynamik .



Ing. grad. Dieter Dorr
bei der Vorbereitung eines Versuchs zur "Elektrofluidmechanik"

Umwelttechnik in der Verkehrstechnik insbesondere
im Hinblick auf Lärmemissionen.

3.2 1982 – 1990 – 1998 Erweiterung des Lehrstuhls LFA im Stammgelände und Umzug nach Garching



TUM Stammgelände, Arcisstraße

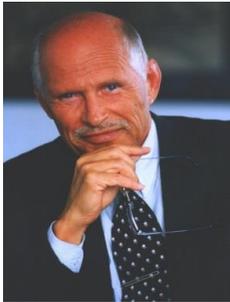


TUM Campus Garching
Institut für Luft- und Raumfahrt L&R, Gebäude 6 der Fakultät für Maschinenwesen

1982 – 1990

Erweiterung des Lehrstuhls im Stammgelände besonders mit Prüfständen und Verbrennungstechnik

Hochschullehrer, Leitung und Gruppen am LFA:



Prof. Kappler,



Prof. Rick,



Prof. Rist,



Dr. Erhard



Prof. Lichtfuß
Prof. Schmidt
Lehrbeauftragte

- ❑ **Leistungs- und Betriebsverhalten, Regelung, Monitoring und Versuch**
Prof. Dr.-Ing. H. Rick, Dr.-Ing. W. Erhard
- ❑ **Triebwerkstechnologie und Thermogasdynamik**
Prof. Dr.-Ing. D. Rist
- ❑ **Brennkammer und Verbrennungstechnik**
Prof. Dr.-Ing. G. Kappler

Im Jahre 1982 wurde Dr.-Ing. Günter Kappler M.Sc. als Nachfolger von Prof. Dr.-Ing. H. G. Münzberg zum Ordinarius an der TUM ernannt und auf den Lehrstuhl für Flugantriebe berufen. Gleichzeitig wurde er zum Direktor und Mitglied der kollegialen Leitung des Instituts für Luft- und Raumfahrt bestellt.

Professor Kappler war nach dem Maschinenbaustudium in Darmstadt und Pittsburgh, USA, bis 1971 am Thermodynamischen Institut der Universität Karlsruhe tätig. Er promovierte 1970 mit einer Arbeit über Wasserstoffeinspritzung bei heißen Überschall-Luftstrahlen. Ab 1971 arbeitete Professor Kappler bei der Motoren- und Turbinen-Union (MTU) München als Entwicklungs- und Versuchsingenieur, wo er ab 1977 als Hauptabteilungsleiter für den Komponentenversuch verantwortlich war. Anschließend wurde er bis zu seinem Wechsel an die TU München Geschäftsführer der AVL-Graz.

In der Lehre im Rahmen des Maschinenbau-Studiums wurde die Tradition des Lehrstuhls in der Fakultät für Maschinenwesen fortgesetzt. Professor Kappler und die leitenden Mitarbeiter des Lehrstuhls Prof. Rick und Prof. Rist sowie die Lehrbeauftragten Prof. Lichtfuß und Prof. Schmidt aus der Industrie boten Pflicht- und Wahlvorlesungen zu „Flugantrieben“, „Gasturbinen“, „Turboverdichter“ sowie „Raketen- und Raumfahrtantriebe“ an. Weiterhin wurden Vorlesungen zu Betriebs- und Regelverhalten, Verbrennung, Technologie, Konstruktion und Prüfstandstechnik gelesen. Die Forschungsaktivitäten des Lehrstuhls umfassten Antriebssysteme mit



TU München Stammgelände



Fakultät für Maschinenwesen MW mit Luft- und Raumfahrt L&R im Campus Garching



Eröffnung der neuen Fakultät für Maschinenwesen im Campus Garching

Luftstrahl- und Raketenantrieben für Unterschallflugzeuge bis hin zu Hyperschall-Raumtransporter-Flugzeugen sowie Gasturbinen für Hubschrauber, Fahrzeuge und stationäre Kraftanlagen.

In dieser neustrukturierten Entwicklungsphase des LFA ab 1982/83 wurden auch die bisherigen Forschungsgruppen neu definiert, wobei Prof. Kappler den Schwerpunkt Verbrennungstechnik einführte und Dr. Erhard die Mess- und Prüfstandstechnik übernahm.

In Verbindung mit DFG-Forschungsprogrammen, insbesondere im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs „Transatmosphärische Flugsysteme (SFB 255)“ sowie in Kooperation mit Industriefirmen standen folgende Schwerpunkte im Mittelpunkt:

Für die anschließend genannten Forschungsaufgaben standen dem Lehrstuhl besondere Labor- und Prüfstandseinrichtungen zur Verfügung. Diese waren insbesondere:

- ❑ EDV-Verbundsystem mit mehreren CAE-Arbeitsplätzen sowie Kopplung mit rechnergesteuerten Prüfständen (Prozesssteuerung, Messwerterfassung und -verarbeitung im Online-Betrieb) insbesondere für dynamische Vorgänge.
- ❑ Gasturbinen-Prüfstand mit elektrischer Bremse, Steuer-, Regel-, Mess- und Auswertungstechnik.
- ❑ Komponentenprüfstände für Gebläse, Verdichter und Turbolader mit Lärm-Messtechnik.
- ❑ Komponentenprüfstände mit Luftlieferanlage und elektrischer Vorheizung für Brennkammern, Düsen, Rohrstrecken u.a. mit laserspektroskopischer Messtechnik und spezieller Schadstoffemissions-Messtechnik.

Die Zahl der Mitarbeiter im Jahre 1994, dem 30. Jahr nach Gründung des Lehrstuhls für Flugantriebe an der Technischen Universität München, betrug etwa 28, wobei in Lehre und Forschung über 20 wissenschaftliche Mitarbeiter tätig waren.



Projekte, Forschung und Kooperationen**1982 – 1990****Gruppe****Brennkammer und Verbrennungstechnik**

Prof. Dr. G. Kappler, R.Fink (Diss.), R.Lachner (Diss.), Dr. N. Vortmeyer (Diss.),
Dr. J. Burbank (Diss.), Dr. R. Hönig (Diss.), Dr. M. Valk(Diss.), B.Steidle (Diss.),

Partner: BMW, DB, DASA, DFG, SFB255, DLR, Dornier, Eurocopter, LH,
MTU, UniBW

- Verfahren zur Minderung der Schadstoffentstehung in Hochleistungs-Brennkammern sowie Methoden zur Brennstoffeinspritzung und katalytischen Verbrennung.
- Organisation der Verbrennung in Gasturbinen- und Flugtriebwerks-Brennkammern. Schwerpunkte: Brennstoffaufbereitung, Temperatur-Homogenisierung, Schadstoffentstehung
- Katalytischer Vorbrenner für Überschall-Brennkammer, Komponente des Überschall-Brennkammer-Prüfstands
- Abgasanalysen am Gasturbinenprüfstand und an den Verbrennungsprüfständen, mit Lasermesstechnik
- Umweltfreundliche stationäre Gasturbine mit Wassereinspritzung
- Umweltfreundliche Fahrzeug-Gasturbine. Gesamtkonzept, Betriebsverhalten, Schadstoffemissionen

Triebwerkstechnologie und Thermogasdynamik**Gruppe**

Prof. D. Rist, Dr. R. Hefele (Diss.), Dr. Berchtold (Diss.), Dr. R. Frank (Diss.) , Dr. W. Scheuerpflug (Diss.), M. Spiegel (Diss.), K. Lee (Diss.), D. Theisen (Diss.), Dr. R. Schwarz (Diss.), Dr. Y. Xie (Diss.)

Partner: AOA, BEB, BMWRR,BMFT, DASA, DFG, Airbus, MBB,
MTU, Siemens,

- Strukturoptimierung von Faserverbund-Turbomaschinenschaufeln
- Numerische Optimierungsverfahren zur aerothermodynamischen Auslegung von Radialverdichterstufen, mehrstufigen Axialverdichtern
- Deterministische Optimierungsverfahren zur aerothermodynamischen Auslegung von transsonischen Tandemgittern und gekühlten mehrstufigen Turbinen
- Turboverdichter und Hochleistungsgebläse: Auslegung, Entwicklung, Betrieb
- Umweltfreundliche Fahrzeug-Gasturbine mit Keramik-Komponenten und Wärmetauscher neuer Technologie
- Mechanische und thermische Strukturbelastung von Bauteilen mit FEM-Verfahren. Verbesserung der Verfahren zur Bestimmung der Lebensdauer von Gasturbinen
- Realgasdynamik: Theorie, Labor- und Feldversuche, Berechnungs-verfahren und Programme. Auslegung, Betrieb und Sicherheit von Erdgasanlagen.
- Stationäre und instationäre Dynamik realer Gase in Rohrleitungen und Düsen.

Leistungs- und Betriebsverhalten, Regelung, Monitoring und Prüfstandstechnik

Gruppe

Prof. Dr. H. Rick, Dr. W. Erhard, Dr. W. Muggli, Dr. F. Hörl (Diss.), Dr. M. Menrath (Diss.), Dr. K. Scheuerer (Diss.), Dr. E. Auer, (Diss.), Dr. H. Schmittermair (Diss.), Dr. H. Braun (Diss.), Dr. S. Bogner (Diss.)

Partner: BMW, BWB, DASA, DFG, DLR, Dornier, Eurocopter, LH, MTU, UniBW

- Simulation instationärer, dynamischer Vorgänge des Betriebsverhaltens von Gasturbinen und Luftstrahltriebwerken sowie Methoden zur Triebwerksüberwachung (Monitoring) besonders bei inneren und äußeren Störungen
- Grundlagenuntersuchungen zu digitalen Regelungs- und Simulationskonzepten von Fluggasturbinen, z.B. Parameteridentifikation mit Online-Verfahren, digitale adaptive Regelung sowie Echtzeit-Rechenmodelle von Flugantrieben für Flugzeug-Simulatoren.
- Verfahren zur Optimierung der aerothermodynamischen Auslegung mehrstufiger Axialverdichter
- Modellierung von Hubschraubergasturbinen, Systemtheorie, Zustandsraummodelle, Experimentelle Kennwertermittlung am GT-Prüfstand, dynamische Zustandsüberwachung, Zustandsraummodelle zur Störungsdiagnose, experimentelle Validierung am GT-Prüfstand
- Digitale Triebwerksregelung, Entwicklung und Erprobung am GT-Prüfstand, Vermeidung instabiler Zustände (Verdichterpumpen), objektorientierte Programmierung
- Digitale Simulation des stationären und dynamischen Betriebsverhaltens von Fahrzeug-Gasturbinen neuer Technologie und verschiedener Wärmetauscher-technik
- Antriebssystem mit neuer Technologie für Hubschrauber- und Rotorflugzeuge
- Digitale und experimentelle Simulation des stationären und dynamischen Betriebsverhaltens von Solarkraftanlagen mit Gasturbinen
- Auslegung und Entwurfsstudien von Kombinationsantrieben für Hyperschall-Raumtransporter-Flugzeuge sowie Grundlagenversuche zur Überschallverbrennung der Hyperschallflug-Antriebe (DFG-SFB255).
- Messwerterfassung und -übertragung in Turbomaschinen und an rechnergesteuerten Gasturbinen- und Turbomaschinenprüfständen.



1990 – 1998**Neustrukturierung des Lehrstuhls für Flugantriebe
und Umzug zum TUM-Campus in Garching
mit umfangreicher Erweiterung der Prüfstandsanlagen**

Leitung LFA: Prof. Kappler (beurlaubt), Prof. Rick, Prof. Rist, Dr. Erhard
Lehrbeauftragte: Prof. Lichtfuß (MTU), Prof. Schmidt (DASA)

Gruppen am LFA

- ❑ **Leistungs- und Betriebsverhalten, Regelung, Monitoring und Versuch**
Prof. Dr.-Ing. H. Rick, Dr.-Ing. W. Erhard
- ❑ **Triebwerkstechnologie und Thermogasdynamik**
Prof. Dr.-Ing. D. Rist
- ❑ **Brennkammer und Verbrennungstechnik**
Prof. Dr.-Ing. G. Kappler, Prof. D. Rist



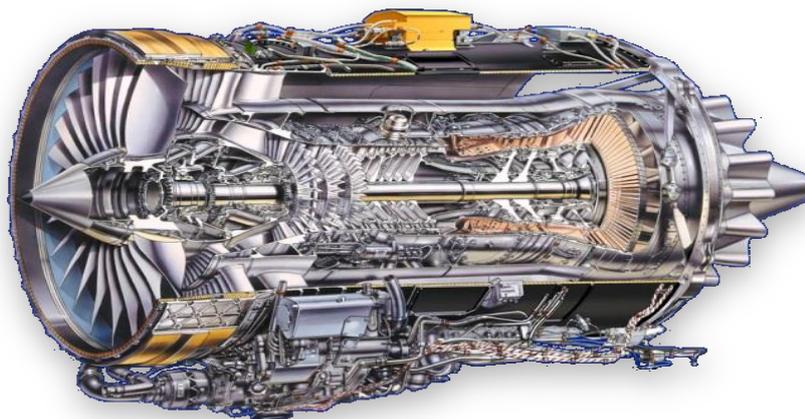
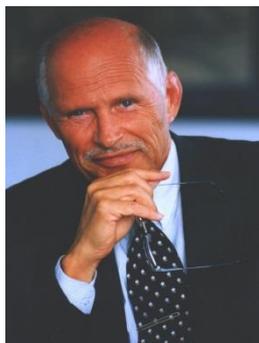
Fakultät Maschinenwesen MW im TUM Campus Garching



Prüfstandsgebäude des Lehrstuhls mit Gasturbinen- und Komponenten-Prüfständen

In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre entstand über eine gemeinsame europäische Studie zum Einsatz von schadstoffarmen Gasturbinen in der Fahrzeugtechnik eine mehrjährige Kooperation mit der Partnerfirma BMW AG München und dem Lehrstuhl für Flugantriebe (Kappler, Rick, Rist, Erhard und Mitarbeiter). Diese Kontakte waren die Ausgangsbasis für ein intensives Engagement Prof. Kapplers im Jahre 1989 zur Vorbereitung eines Joint-Venture-Projekts der BMW AG, nämlich Gründung einer Industriefirma in der Regie der BMW AG zur Entwicklung und Produktion von Fluggasturbinen mittlerer Schubklasse.

Im Juli 1990 wurde dann die BMW Rolls-Royce Aeroengines GmbH gegründet, deren Sitz zunächst in München-Lohhof, später in Berlin-Dahlewitz sowie in Oberursel bei Frankfurt war, wo die Firma KHD Luftfahrttechnik in die neue Firma eingegliedert wurde. Prof. Kappler wurde an der TU München auf eigenen Wunsch von seinen Pflichten beurlaubt und zum Geschäftsführer für den Bereich Forschung und Entwicklung der BMW Rolls Royce GmbH bestellt. Der Lehrstuhl für Flugantriebe wurde ab dem gleichen Termin von einer zentralen Führung, den Professoren Rick und Rist sowie dem Dr. Erhard, geleitet.



BMW RR BR 700- Triebwerksfamilie

Ende Juni 1995 schied Prof. Kappler als aktives Mitglied der Fakultät für Maschinenwesen gänzlich aus der T.U. München aus. Die Fakultät beschloss, den Lehrstuhl im vollen Umfange zu erhalten. Im Rahmen eines Verfahrens zur Wiederbesetzung der Position des Ordinarius wurde im Wintersemester 1996/97 das Berufungsverfahren fortgesetzt.

In den Jahren 1997 und 1998 wurde der Umzug des Lehrstuhls für Flugantriebe vom Stammgelände in der Innenstadt Münchens nach Garching vollzogen, dem neuen Standort der Fakultät für Maschinenwesen im Norden von München.

1998 erfolgte die Berufung von Prof. Dr.-Ing. H.-P. Kau, einem leitenden Mitarbeiter von Prof. Kappler bei BMW Rolls Royce.





Fakultät für Maschinenwesen der TU München im Forschungsgelände Garching



Institut für Luft- und Raumfahrt ILR in der Fakultät für Maschinenwesen

LFA-Prüfstände im Stammgelände**1990 – 1998**

Für die laufenden, anschließend genannten und die zukünftigen Forschungsaufgaben wurden für den Lehrstuhl mit dem Umzug der Fakultät MW in den Forschungs-Campus Garching folgende besondere moderne Labor- und Prüfstandseinrichtungen erstellt:

- ❑ 2 Prüfstände für Hubschrauber-Wellenleistungs-Gasturbinen, Bremsleistungen 300 kW bzw. 1000 kW, 6000 1/min, digitale Steuer-, Regel-, Mess- und Auswertungstechnik, volle digitale Triebwerksregelung (FADEC)
- ❑ Verdichterprüfstand für Radial- bzw. Axialverdichter, Antriebsleistung 800 kW, 30000 1/min, offener oder geschlossener Arbeitsprozess, volle digitale Steuerung
- ❑ Brennkammer-Prüfstand für Unterschall-Verbrennung, kontinuierlicher Betrieb mit Luftdurchsatz 3 kg/s, bis 10 bar, Vorheizung bis 650 K
- ❑ Brennkammer-Prüfstand für Überschallverbrennung (Scramjet) , kontinuierlicher Betrieb mit Luftdurchsatz 500 g/s, 10 bar, Vorheizung bis 1200 K, Eintritts-Mach-Zahl bis $M=2,5$
- ❑ EDV-Verbundsystem mit zahlreichen CAE-Arbeitsplätzen sowie Kopplung mit rechnergesteuerten Prüfständen (Prozesssteuerung, Messwerterfassung und -verarbeitung im Online-Betrieb) insbesondere für dynamische Vorgänge.
- ❑ Komponentenprüfstände für Gebläse, Verdichter und Turbolader mit Lärm-Messtechnik
- ❑ Laser-spektroskopische Messtechnik und spezieller Schadstoffemissions-Messtechnik für die .Komponentenprüfstände mit Luftlieferanlage und elektrischer Vorheizung für Brennkammern, Düsen, Rohrstrecken u.a.

Die Zahl der Mitarbeiter im Jahre 1998, über 30 Jahre nach Gründung des Lehrstuhls für Flugantriebe an der Technischen Universität München, betrug etwa 20, wobei in Lehre und Forschung über 15 wissenschaftliche Mitarbeiter tätig waren.



Gasturbinen-Prüfstände mit 500 kw und etwa 1000 kW

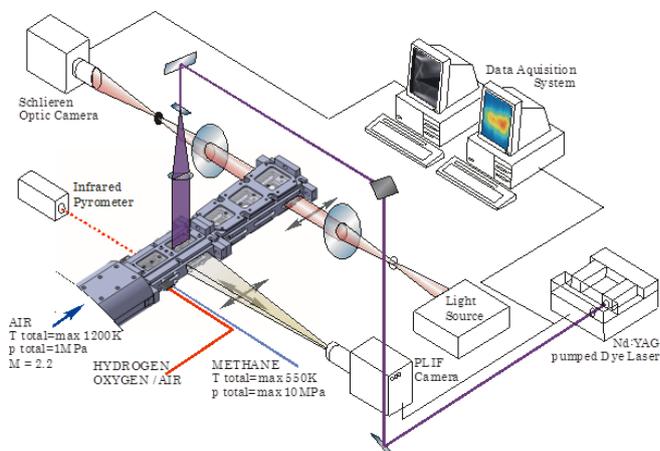


Hubschrauber-Triebwerk Allison 250 C2



Hubschrauber-Triebwerk MTR 390

Brennkammerprüfstände



Messtechnik mit z.B. Schlierenoptik und PLIF

Projekte, Forschung und Kooperationen**1990 – 1998****Leistungs- und Betriebsverhalten, Regelung, Monitoring, Prüfstandstechnik****Gruppe****Prof. Dr.-Ing. H. Rick, Dr.-Ing. W. Erhard**

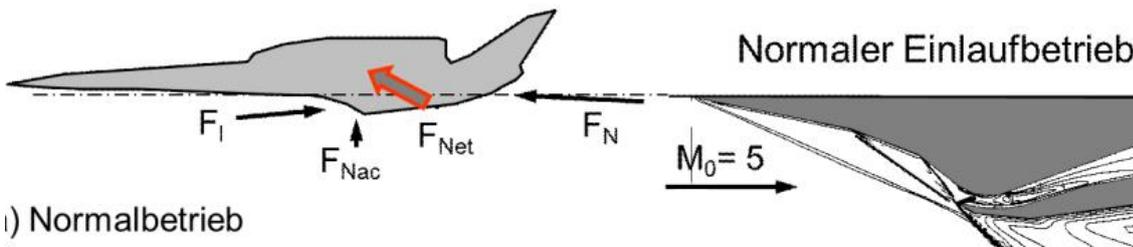
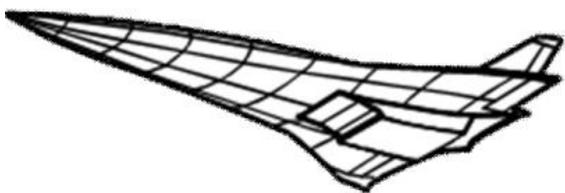
Dr. S. Graswald, Dr. H. Braun, Dr. S. Bogner, Dr. H. Schmuttermair, Dr.-A. Bauer, Dr. R. Fiola, Dr. E. Auer, Dr. R. Gabler, Dr. T. Esch, Dr. S. Hollmeier, Dr. S. Kopp, Dr. O. Rupp, Dr. A. Preiss, Dr. A. Kreiner

- Erweiterte digitale Berechnungsverfahren zum stationären und instationären Betriebsverhalten von Gasturbinen und Turboluftstrahltriebwerken (MUSYN 90) (Kooperation u.a. mit der SNECMA).
- Leistungsberechnung und Betriebsverhaltensanalyse luftatmender Antriebssysteme für Raumtransporter-Hyperschall-Flugzeuge (SFB 255 „Transatmosphärische Flugsysteme“, Teilprojekt B1)
- Simulation und Analyse des stationären und dynamischen Betriebsverhaltens luftatmender Antriebssysteme von Hyperschallflugzeugen im Normalbetrieb und bei Störungen u.a. auf der Basis verschiedener CFD-Technik
- Theoretische und experimentelle Systemanalyse zur stationären und dynamischen Zustandsüberwachung und Regelung besonders von Hubschrauber-Gasturbinen ohne und mit ausgewählten Störungen
- Berechnung der Schadstoffemissionen ziviler Flugtriebwerke
- Solarkraftanlage mit Gasturbine

Triebwerkstechnologie und Thermogasdynamik, Brennkammer- und Verbrennungstechnik bei Gasturbinen und Flugantrieben**Gruppe**

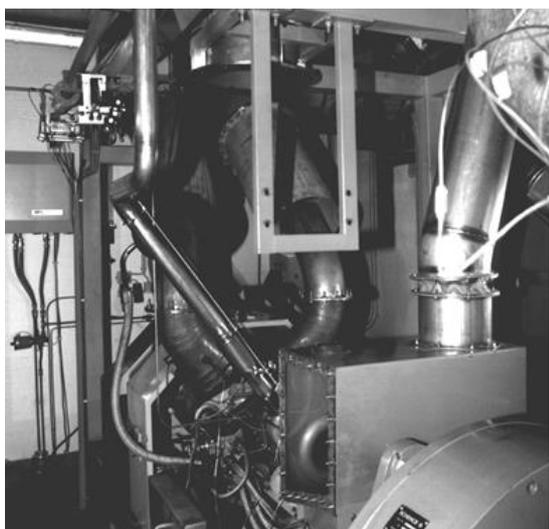
Prof. Dr.-Ing. G. Kappler, Prof. Dr.-Ing. D. Rist, Dr. R. Schwarz, Dr. R. Frank , Dr. W. Scheuerpflug, Dr. M. Spiegel, Dr. K. Lee, Dr. D. Theisen, Dr. R. Fink, Dr. R. Lachner, Dr. N. Vortmeyer, Dr. J. Burbank, Dr. R. Hönig, Dr. M. Valk, Dr. Y. Xie, B. Steidle,

- Verbrennungsprüfstände mit Laser-Messtechnik
- Erweiterung der katalytisch unterstützten Verbrennung
- Strukturbelastung und Lebensdauer von Gasturbinen, Flugantrieben und deren Hochleistungsgebläse und Turboverdichter: Auslegung, Entwicklung, Betrieb
- Realgasdynamik: Auslegung, Betrieb und Sicherheit von Erdgasanlagen.
- Verbrennungstechnologie und Brennkammer-Strukturbelastungen. Gestufte Brennkammern von Flugtriebwerken. Brennstoffaufbereitung und Flammrohrgestaltung. Sauerstoffgasfackeln
- Auswirkungen des Betriebs von Gasturbinen und Flugantrieben auf die Umwelt sowie Beiträge zum Umweltschutz (Umwelt '90)
- Numerische Optimierung von Verdichter-Gittern und von mehrstufigen, gekühlten Axialturbinen
- Lebensdauer von Gasturbinenkomponenten, Lebensdauerabschätzung hochbelasteter Turbinenscheiben, Lebensdauerüberwachung hochbelasteter Verdichterroten

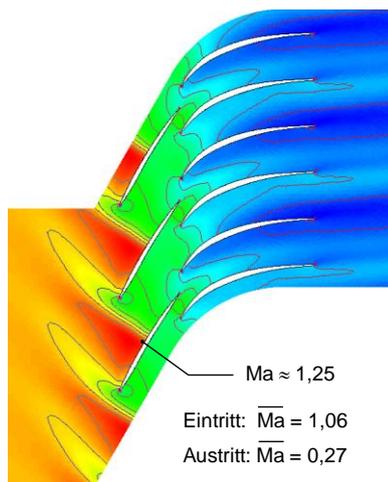


i) Normalbetrieb

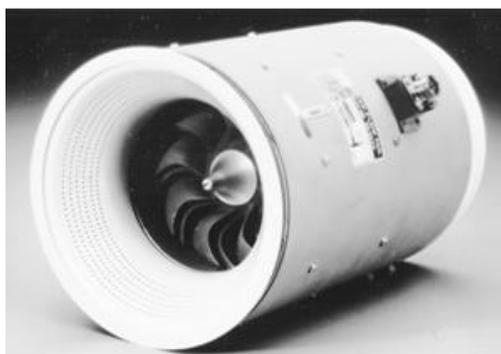
Betriebsverhalten der Antriebe von transatmosphärischen Flugsystemen (SFB255)



Turboshaft Triebwerksprüfstand 500 kW



CFD-Verfahren zur Strömungssimulation



Hochleistungsgebläse für Luftfahrt-Klimasysteme

3.3 1998 – 2014 Campus Garching Neuorientierung des Lehrstuhls mit Prüfständen, CFD- und Verbrennungstechnik



Fakultät für Maschinen mit Zentralgebäude



Atrium-Foyer des Instituts für Luft- und Raumfahrt im Gebäude 6 der Fakultät

1998 – 2014**Erweiterung des Lehrstuhls im Campus Garching mit Turbomaschinen- und Brennkammer-Prüfständen**

Leitung LFA: Prof. H.-P.Kau († 2013), Prof. H. Rick (bis 2002);
Dr. W. Erhard, Dr. A. Hupfer

Kommissarische Leitung (ab 2013): Prof. O. Haidn

Lehrbeauftragte: Prof. Lichtfuß (MTU), Dr. Henne (MTU)



Prof. Kau



Prof. Haidn



Prof. Rick



Dr. Erhard



Dr. Hupfer

Gruppen am LFA

- Strömungssimulation in Turbomaschinen**
Prof. Dr. H.-P. Kau, Dr. A. Hupfer
- Bauweisen und Design von Flugtriebwerken**
Dr. A. Hupfer
- Betriebsverhalten, Gasturbinen- und Komponententests**
Prof. Dr. H. Rick (bis 2002), Dr. W. Erhard (ab 2010)

Mittelpunkt der Lehr- und Forschungsaktivitäten des Lehrstuhls sind Themen rund um Turbomaschinen, Gasturbinen und Flugantriebe sowie Raketentriebwerke im Fachgebiet Raumfahrtantriebe (Prof. Dr. O. Haidn) aber auch thermische und hydraulische Turbomaschinen für stationäre Anwendungen z.B. für die Energieversorgung stehen im Fokus aktueller Untersuchungen. Der Lehrstuhl LFA profitiert hierbei von einer umfangreichen experimentellen und EDV-Infrastruktur seit 1998 im neuen Prüfstandsgebäude des LFA in Garching. Ein fester Bestandteil vieler Forschungsaktivitäten ist auch die enge Zusammenarbeit mit anderen Hochschulen, Forschungsinstituten und der Industrie wie MTU Aero Engines, Rolls-Royce u. a.

Für die laufenden, anschließend angeführten und die zukünftigen Forschungsaufgaben wurden für den Lehrstuhl nach dem Umzug der Fakultät MW in den TUM-Campus-Garching um das Jahr 1998 zusätzlich zu den damaligen Prüfständen weitere Labor- und Prüfstandseinrichtungen erstellt. Hervorzuheben ist hier ein Verdichterprüfstand für Radialverdichter mit der Antriebsleistung 800 kW, 30 000 1/min, für offene oder geschlossene Arbeitsprozesse mit voller digitaler Steuerung.



Fakultät für Maschinenwesen im TUM Campus Garching, Haupteingang



Magistrale der Fakultät für Maschinenwesen im Campus Garching



Tag der Fakultät für Maschinenwesen mit Verabschiedung der Absolventen

Projekte, Forschung und Kooperationen Lehrstuhl für Flugantriebe in Garching 1998 – 2014

In Lehre und Forschung am Lehrstuhl für Flugantriebe LFA und im Fachgebiet für Raumfahrtantriebe FRA lassen sich in folgende Themengebiete die Hauptschwerpunkte zusammenfassen:

❑ **Strömungssimulation in Turbomaschinen**

Dr. A. Hupfer (Leitung), Dr. F. Danner, C. Guinet, A. Loos, T. Mayenberger, Dr. A. Streit

Für die weitere Erhöhung der Effizienz und Stabilität von Turbomaschinen sind weitreichende Kenntnisse der stationären und instationären Strömungsvorgänge notwendig. Untersucht und optimiert werden mit modernen Berechnungsverfahren u.a. Randkavitäten von Verdichtern und Turbinen, moderne, ummantelte Heckrotoren von Hubschraubern und Open-Rotor-Konfigurationen.

❑ **Bauweisen und Design von Flugtriebwerken**

Dr. A. Hupfer (Leitung), S. Eisenmann, D. Hirndorf, M. Nauber, D. Rockel, J. Seppälä, M.Sc., S. Weihard

Aktuelle Forschungsinhalte im Schwerpunkt Bauweisen und Design von Flugtriebwerken sind:

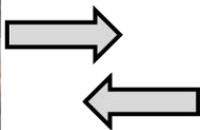
- ❑ Bauweisen, Konstruktion und Festigkeit von Flugtriebwerken
- ❑ Optimierung von kleinen Schubtriebwerken (Very Small Jet Engines)
- ❑ Einsatzpotenziale additiver Fertigungsverfahren in Gasturbinen
- ❑ Probabilistische Ansätze in der Spaltauslegung und FEM-basierte Vorhersage des Spaltverhaltens

❑ **Betriebsverhalten, Gasturbinen- und Komponententests**

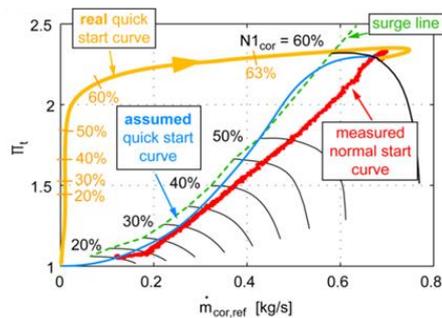
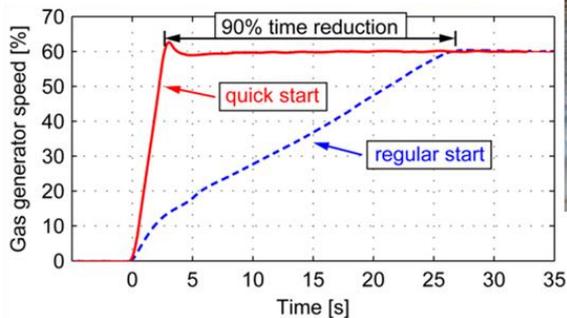
Dr. W. Erhard (Leitung), S. Lang M.Sc. N. Chen M.Sc., M. Kerler ,

Der LFA entwickelt in langer Tradition thermodynamische Rechenmodelle für unterschiedlichste Konfigurationen von Flugantrieben. Mit Hilfe von Kennfeldern der einzelnen Antriebskomponenten können damit das stationäre und transiente Betriebsverhalten simuliert und auf einem lehrstuhleigenen Gasturbinenprüfstand experimentell überprüft werden. Die Leistungssyntheserechnung bildet die Grundlage zur Auslegung und Optimierung solcher Flugtriebssysteme. Diese Methoden können darüber hinaus auch auf stationäre Gasturbinen angewendet werden. Für Untersuchungen zum Komponentenverhalten stehen leistungsstarke Komponentenprüfstände, z.B. für Verdichteruntersuchungen zur Verfügung.

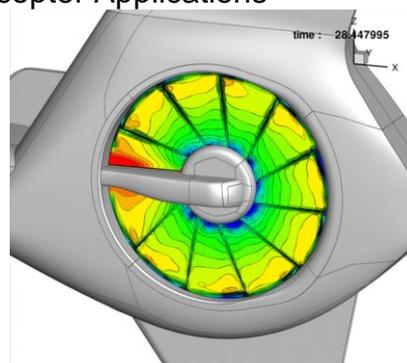
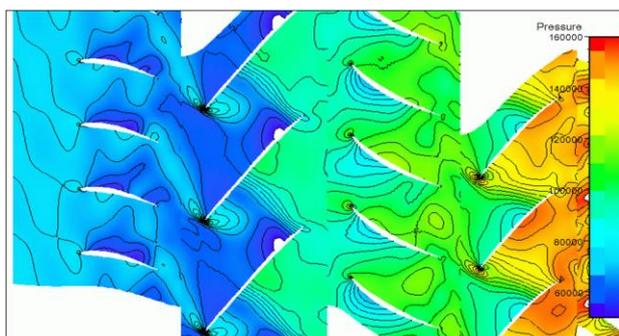
Gasturbine Allison C250



Hubschrauber-Simulator



Compact Engine Quick Start System for Helicopter Applications



Mehrstufiger Axialverdichter
Nonlinear-Harmonic-Simulation

Instationäre Fenestron-Strömung
Hubschrauber-Heckrotor



Verdichterprüfstand für Radial- bzw. Axialverdichter, Antriebsleistung 800 kW, 30 000 1/min, offener oder geschlossener Arbeitsprozess, Forschungsk Kooperation mit GE Global Research

Projekte, Forschung und Kooperationen Fachgebietes Raumfahrtantriebe FRA 2011 – 2014

Fachgebiet Raumfahrtantriebe FRA (ab 2011): **Prof. Dr. O. Haidn**

Lehrbeauftragte: Dr. Hagemann (Astrium), Dr. Knab (Astrium)



Schwerpunkt Hochgeschwindigkeitsantriebe:

Prof. Dr. O. J. Haidn (Leitung)

M. Gurtner, Y. Metsker, D. Paukner, N.N.

- Ramjet- und Flugkörperantriebe
- SCRAMJET – Antriebe
- Systemanalyse

Schwerpunkt Trägerantriebe

Prof. Dr. O. J. Haidn (Leitung)

M. Celano, Dr. S.-Y. Oh, C. Roth, S. Silvestri, N.N., N.N.

- Wärmeübergang in Raketenbrennkammern
- Injektor/Injektor- und Injektor/Wandinteraktion
- Verbrennungsmodellierung
- Umweltverträgliche Treibstoffe
- Lebensdauermodellierung
- Turbopumpentechnologien

Schwerpunkt Satellitantriebe

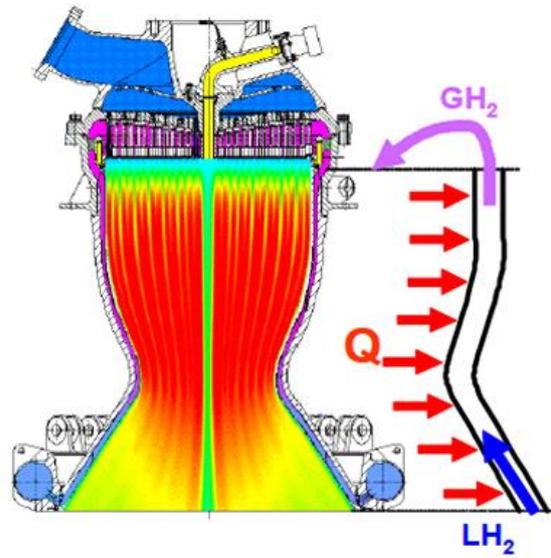
Prof. Dr. O. J. Haidn (Leitung),

C. Bauer, C. Boffa, M. Luo, Dr. C. Wehmann, B. Vasques, N.N.

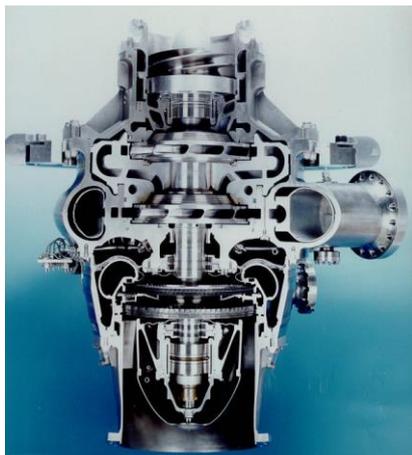
- Gasdynamische Zündung
- Katalytische Verbrennung
- Treibstoffaufbereitung unter Vakuumbedingungen
- Einspritzsysteme für variablen Schub
- Thrusterdesign und -optimierung
- Flammenankerung- und stabilisierung



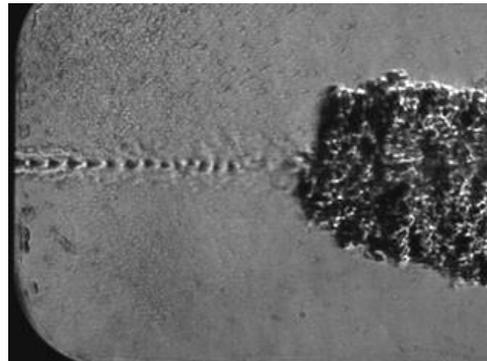
Ariane 5 Start



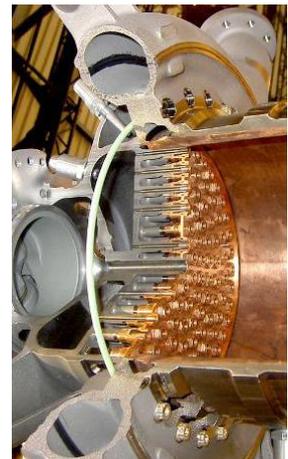
Vulcain 2 Brennkammer CFD



LH₂ -Turbopumpe (ESA)



Laser-induzierte Zündung (H₂/O₂)



Einspritzkopf VINCI



Scramjet mit Strut Injector



Modelltriebwerk 50 N

3.4 Verwaltung, Technik und Werkstätten 1964 – 2014

1964 – 1982
1982 – 1998

TUM-Stammgelände München



Hedy Lechner
Verwaltung



Christa Mitzinnek
Verwaltung



Koschmieder
Verwaltung



Dipl.Ing. Udo Busse
Lab. Meßtechnik und Elektronik



Dipl.Ing. Dieter Dürr
Lab. Elektrofluidmechanik



Günter Herbst
Techniker



Karl Akontz
Techniker



Josef Schwaiger
Werkstatt-Meister



Robert Grubert
Feinmechaniker



1998 – 2014 TUM-Campus Garching



Koschmieder
Verwaltung



Regine Brammer
Verwaltung



Angelika Heining
Verwaltung



Dipl.Ing. Udo Busse
Labor Meßtechnik und Elektronik



Günter Herbst
Techniker



Ritter
Werkstatt-Meister



Ralf Priller
Werkstatt-Meister



Zoe Gerstung
Werkstatt



Roland Grubert
Feinmechaniker