

40 Jahre Radialverdichtorforschung

Sonderheft



Gemeinsame Forschung.
Gemeinsamer Erfolg.



Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V.

Lyoner Straße 18 Telefon: 069 / 66 03 16 81

60528 Frankfurt Telefax: 069 / 66 03 16 73

E-Mail: info@fvv-net.de Website: www.fvv-net.de



Heft R555 – 2011
Frankfurt am Main

Ein Wort vorab

Radialverdichterforschung in der Forschungsvereinigung

Radialverdichterforschung – und das seit mehr als 40 Jahren. Das klingt alles andere als „sexy“ und wird zunächst nur wenige aufhorchen lassen. Um die Bedeutung dieses Themas, aber auch die unabdingbare Notwendigkeit der Gemeinschaftsforschung zu illustrieren, veröffentlichen wir dieses Sonderheft.

Radialverdichter sind für die breite Öffentlichkeit kein Begriff. Sparsame Autos, Kraftstoffe an der Tankstelle, Erdgas in der Hausheizung, Strom zum Kochen, weltweite Warenströme oder Klimawandel und Energieeffizienz schon eher. Der Radialverdichter hat entscheidenden Anteil daran, unseren Mobilitätsbedarf mit sparsamen Motoren zu realisieren. Ohne Radialverdichter kein Turbolader und ohne Turbolader kein sparsames Auto. Aber auch die effizienten Containerschiffe, die rund 95 % des weltweiten Warenverkehrs transportieren, wären ohne Turbolader undenkbar. Ohne Radialverdichter würden keine Kraftstoffe an unsere Tankstellen und kein Erdgas in unsere Häuser kommen. Unser Strom zum Kochen wäre ohne Radialverdichter nicht annähernd so umweltfreundlich, und der Klimawandel würde noch stärker voranschreiten. Radialverdichter sind also ein wichtiger Baustein für den effizienten Umgang mit unserer Ressource Energie. An diesem Punkt setzt auch die Gemeinschaftsforschung in der FVV an, und zwar im Sinne des effizienten Umgangs mit den Ressourcen der Entwickler in Industrie und Wissenschaft.

Als sich vor mehr als 40 Jahren die Industrie entschloss, mit Radialverdichterforschung zu beginnen, wurde sie von der Absicht befeuert, Kräfte zu bündeln und in Deutschland ein Forscher- und Entwicklernetzwerk zwischen Industrie und Wissenschaft zu schaffen. Dieses Netzwerk hat nicht nur 43 Jahre überdauert, sondern ist in dieser Zeit stetig gewachsen. Mehr als 40 Forschungsvorhaben mit einem Volumen von rund 10 Millionen Euro belegen dies eindrucksvoll.

Für die Kontinuität in der Gemeinschaftsforschung gibt es einen guten Grund: Gemeinsam ist es gelungen, die Effizienz von Radialverdichtern stetig zu steigern. Diese Aufgabe wäre für einzelne Unternehmen oder auch einzelne Universitäten nicht zu stemmen gewesen. Kein Wunder also, dass im Jahr 43 nach Beginn der Gemeinschaftsforschung für Radialverdichter die Entscheidung gefallen ist, einen neuen Prüfstand an der RWTH Aachen aufzubauen. Damit ist auch die Zukunft der Radialverdichterforschung gesichert und die Gesellschaft kann im täglichen Leben von neuen Effizienzgewinnen profitieren. Die FVV wird diesen Prozess unterstützen und steht als Bindeglied zwischen Industrie und Wissenschaft für eine zielgerichtete Forschung und einen ressourcenschonenden und effizienten Energieeinsatz.

Dipl.-Ing. Thorsten Herdan
FVV Geschäftsführer

Impressum

Herausgeber:

Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V., Lyoner Straße 18, 60528 Frankfurt

Redaktion, Lektorat, Produktion: Markus Hederer, Mainz

Fachliche Beratung und Textbeiträge: Dipl.-Ing. Gernot Eisenlohr, Wehrheim und Dr.-Ing. Karl-Heinz Rohne, Baden/CH

Fotos: Markus Hederer, Mainz; Gernot Eisenlohr, Wehrheim; DLR, Köln

Illustrationen: Ilse Diehl, Mainz

Layout, Satz und Gestaltung: K.Design Ulrich Klein, Wiesbaden

Druck: DIALOG Internet-, Grafik- & Druckpartner GmbH & Co. KG, Obertshausen

1. Auflage 2011 Frankfurt

© Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V.,
Lyoner Straße 18, 60528 Frankfurt

Die Verwertung der Texte und Bilder, auch auszugsweise, ist ohne die Zustimmung der FVV urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmung und die Verarbeitung mit elektronischen Systemen.

Die Ausgangslage

Am Anfang standen Fragen aus der Praxis: „Wie können Wirkungsgrade von thermischen Verdichtern speziell in Radialverdichterlaufrädern verbessert werden? Was muss an ihrer aktuellen Bauweise verändert werden oder wie müssen sie grundsätzlich konstruiert sein, um beispielsweise in Auto- oder Schiffsturboladern, in Triebwerken, in Gebläsen oder in Kompressoren Luft oder andere Medien optimal zu verdichten?“

Um die notwendigen Antworten zu finden, war Grundlagenforschung notwendig. Nur so konnte es gelingen, die Strömungsvorgänge in einem Verdichter zu verstehen und aus den erzielten Ergebnissen Erkenntnisse für eine verbesserte Bauweise der Laufräder abzuleiten.

Gemeinschaftsforschung als Notwendigkeit

Das war die eine Seite der Medaille. Die andere: Für ein Einzelunternehmen wäre es wirtschaftlich nicht sinnvoll gewesen, diese Art von Forschung alleine zu betreiben. Gemeinschaftliche vorwettbewerbliche Grundlagenforschung lautete also das Gebot der Stunde.



Gründungsmitglieder der vorwettbewerblichen Gemeinschaftsforschung an Radialverdichterlaufrädern

Man schrieb das Jahr 1968, die Initiative war von Daimler Benz (DB), MAN Turbo, der Deutschen Maschinenbau Aktiengesellschaft (Demag), der Gutehoffnungshütte (GHH), der Klöckner-Humboldt-Deutz AG, Werk Oberursel (KHD), Kühnle, Kopp & Kausch (KKK) und anderen ausgegangen. Weitere Partner, auch und vor allem aus kleinen und mittelständischen Unternehmen, gesellten sich dazu. In der FVV wurde der Arbeitskreis Radialverdichtersforschung gegründet. Für die wissenschaftliche Betreuung und die konkrete Umsetzung der Untersuchungen wurden gewonnen das Institut für Luftstrahlantriebe der Deutsche Forschungs-Vereinigung für Luft und Raumfahrt (DFVLR) unter der Leitung von Professor Kühl in Köln und das Institut für Strömungsmaschinen der TU Hannover unter der Leitung von Professor Bammert. Das Institut für

Dipl.-Ing. Gernot Eisenlohr

Oktober 1958–Februar 1964: Studium Maschinenbau an der TH Karlsruhe

Juni 1964–September 1970: Daimler-Benz AG, Stuttgart-Untertürkheim; Auslegung Radialmaschinen, Turbolader

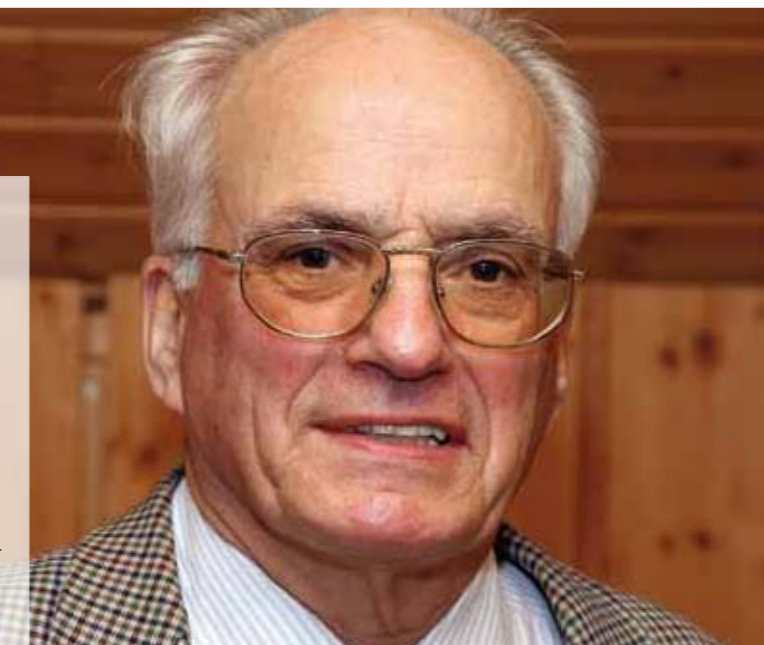
Ab 1969 Mitglied im FVV-Arbeitskreis Radialverdichter

Oktober 1970: Wechsel zu Klöckner-Humboldt-Deutz AG (KHD), Oberursel; Schwerpunkt Aerodynamik, Entwicklung Radialmaschinen

1975–2000: Leitung des FVV-Arbeitskreises Radialverdichter

Ab Januar 1977 Gruppenleiter Strömungsmechanik mit Schwerpunkt Aerodynamik Radialmaschinen bei KHD, später BMW, dann Rolls-Royce Deutschland

Seit Juli 2001 im (Un-)Ruhestand und auf dieser Grundlage im FVV-Arbeitskreis Radialverdichter engagiert



„Gernot Eisenlohr hat mit außergewöhnlichem Fachwissen und unermüdlichem Einsatz den Arbeitskreis Radialverdichter über Jahrzehnte vorangebracht und geprägt. Dabei scheute er mit seiner akribischen und kritischen Art keine fachliche Auseinandersetzung und hat auf diese Weise maßgeblich zum Erfolg der Projekte beigetragen. Sein Engagement ließ auch nach der Pensionierung nicht nach, er gab weiter wertvolle Impulse. Durch seine offene Art reichte er seine Erfahrung weiter und war so auch stets ein Vorbild für die Jungingenieure.“

Dr.-Ing. Ioan Ispas

Was Weggefährten über ihn sagen:

„Es war in erster Linie Gernot Eisenlohr, der von 1975 bis 2000 die Arbeitskreise, die sich speziell mit der Laufradentwicklung befassten, zusammengehalten und mit viel Einsatz vorangetrieben hat. Wir alle haben von seinem speziellen Wissen über die aero-thermodynamische Auslegung der Laufräder für hohe Druckverhältnisse profitiert. Wenn es um die geometrische Abmessung der Räder ging, war auf sein Urteil immer Verlass.“

Dipl.-Ing. Franz-Arno Richter

„Durch und durch Ingenieur und ein alter Fuchs auf dem Gebiet der Radialverdichterauslegung, der einem Design sofort ansieht, ob es funktionieren wird oder nicht – das ist Gernot Eisenlohr. Zudem ein erfahrener Kämpfer, der im Arbeitskreis seine Meinung immer wieder vehement vertreten hat, sich aber auch durch bessere Argumente überzeugen ließ, wenngleich mit dem Zusatz: „Die Messung wird's dann zeigen!““

Dr.-Ing. Karl-Heinz Rohne

thermische Turbomaschinen der ETH Zürich übernahm unter der Leitung von Professor Traupel die Aufgabe, die zuvor in einem Buch Traupels veröffentlichte „Theorie der Strömung durch Radialmaschinen“ zu überarbeiten. Sie sollte um die dritte Dimension erweitert und mit den zu erzielenden Ergebnissen abgeglichen werden. Elektronische Rechenmaschinen waren seinerzeit zwar noch sehr voluminös, aber doch schon so weit entwickelt, dass der Arbeitskreis die Absicht verfolgte, ein Programmsystem zu erstellen, um wesentliche Verfeinerungen in den bis zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Berechnungsmethoden zu erzielen.

Kontinuität auf wissenschaftlicher Ebene

Die Erben der „Professoren der ersten Stunde“ gewährleisteten im Laufe der Jahre Kontinuität auf wissenschaftlicher Ebene. Die folgende Aufstellung nennt alle Institute und Personen, die den FVV-Arbeitskreis federführend unterstützten:

- DLR (früher DFVLR), Köln: Professor Kühl, Dr. Winterfeld, Professor Weyer, Professor Mönig, Professor Neise
- TU/Universität Hannover, IFS: Auf Professor Bammert folgten die Professoren Rieß und Rautenberg, die sich den Lehrstuhl teilten. Professor Seume übernahm das in der Zwischenzeit neu benannte Institut für Turbomaschinen und Fluidodynamik im Jahre 2000.
- TU/Universität Hannover, Institut für Mechanik (IFM): Professor Teipel
- Von Karman Institute for Fluid Dynamics (Belgien): Professor Braembussche
- TU Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr, Fachgebiet Verbrennungskraftmaschinen (VKM): Professor Pucher

Startschuss für das erste Forschungsprojekt

In einer Sitzung des Arbeitskreises Radialverdichterforschung am 29. November 1968 in Mannheim beschloss man das erste Projekt: Untersucht werden sollten bei der DFVLR in Köln und an der TU Hannover auf je einem Prüfstand zwei Räder gleicher Bauform. Zwei Prüfstände gab es auch, um die vielfältigen Aufgaben aufzuteilen. Die Prüfstandkonstruktion sowie die Auslegung des Laufrades übernahm Daimler Benz.

Am 1.1.1969 fiel der offizielle Startschuss für das erste Projekt. Die Aufgabenstellung lautete: „Das Forschungsvorhaben Radialverdichter hat zum Ziel, einen besseren Einblick in die Strömungsverhältnisse in einem Radialverdichter zu gewinnen und damit die Auslegungs- und Berechnungsunterlagen zu vervollständigen. Als Untersuchungsobjekt wurde vom Arbeitskreis die nachstehende Bauform festgelegt: Radialrad mit möglichst großem Schluckvermögen und radial endigenden Schaufeln ($\beta_2 = 90^\circ$), die bis in den axialen Einlauf vorzuziehen sind. Das Laufrad soll mithilfe bestehender Unterlagen möglichst optimal ausgelegt werden.“

Eine Rückwärtskrümmung der Schaufeln wie bei Radialpumpen (hydraulischen Maschinen) war zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Man wollte zwar hohe Umfangsgeschwindigkeiten realisieren, hatte aber noch keine genaue Berechnungsmöglichkeit für die Biegemomente in Schaufeln und Scheibe. Zudem standen keine für ein solches Laufrad geeigneten Materialien zur Verfügung.



„Rad 0“, das erste in FVV-Projekten eingesetzte Verdichterlaufrad

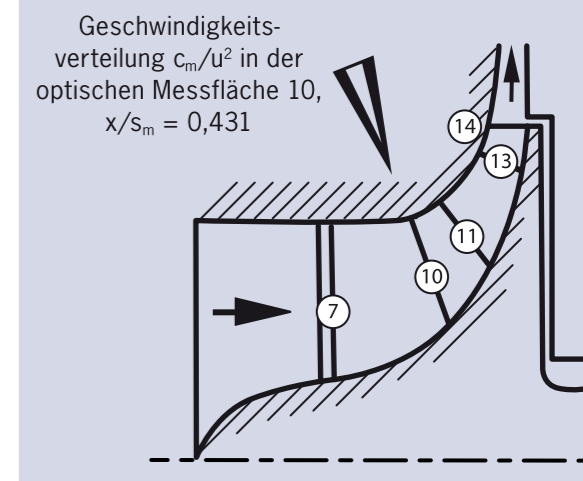
Das Rad 0

Für jeden der beiden Prüfstände stellte man also ein Rad her mit rein radialen Schaufeln, zunächst mit 20, später auch eines mit 14 Voll- und 14 Teilschaufeln. Pneumatische Messeinrichtungen (Sonden) dienten dazu, die Strömung zu analysieren. Die Messungen erwiesen sich als sehr schwierig, denn die Messvorrichtungen (Verschiebesonden) waren problematisch in der Handhabung; außerdem beeinflussten sie die Strömung.

Das erste in FVV-Projekten verwendete Verdichterlaufrad bekam im Laufe der weiteren Forschungsvorhaben zur Differenzierung die Bezeichnung „Rad 0“.

Es dauerte bis zum Jahr 1973, ehe die Strömungsuntersuchungen am Rad 0 auch mit dem inzwischen bei der DFVLR entwickelten L2F-Gerät (Laser-2-Fokus-Verfahren) erfolgreich stattfinden konnten. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden nun mithilfe der Zeit ermittelt, die kleinste zugeführte Partikel (Aerosol seeding) zwischen zwei sehr nahe beieinanderliegenden Laserlinsen benötigten. Die zugehörigen Winkel im Meridianschnitt wurden über Gauss'sche Verteilungen in den Messergebnissen bestimmt. Damit war der Strömungsvektor bekannt. Wie geplant fanden die erzielten Messergebnisse in der Theorieentwicklung von Professor Traupel ihren Niederschlag und wurden in die Berechnungsmethode eingearbeitet.

Die Grafik aus dem Forschungsbericht Radialverdichter II (1976) zeigt die Lage der Messebenen.



Fundament Wissenschaft



Professor Dr.-Ing.
Heinrich Weyer

Nach seinem Studium an der RWTH Aachen trat Heinrich Weyer Mitte 1965 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Luftstrahltriebwerke der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) ein. 1969 übernahm er im Institut die Leitung der Abteilung Verdichter. 1973 promovierte er zum Thema „Messung nicht stationärer Drücke in fluktuierenden Strömungen“ und übernahm zudem 1979 bis 1983 die kommissarische Leitung des Forschungsbereiches Strömungsmechanik der DFVLR; bis Ende 1987 war er Direktor des Deutsch-Niederländischen Windkanals.

Ohne das Zutun leistungsfähiger Forschungsstellen wären die Erfolge der Radialverdichterforschung in den vergangenen über 40 Jahren nicht möglich gewesen. Hannover, Köln und Zürich bildeten im Geburtsjahr 1968 die Wissenschaftsachse der Radialverdichterforschung unter dem Dach der FVV.

Köln, das bedeutete seinerzeit das Institut für Luftstrahltriebwerke der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) unter der Leitung von Professor Kühl. 1989 wurde die DFVLR in Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), 1997 in Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) umbenannt.

Professor Heinrich Weyer übernahm das Institut für Antriebstechnik – wie es heute heißt – 1988 von seinem Vorgänger Professor Winterfeld und leitete es bis zur Stabübergabe an Professor Mönig im Jahre 2003. Mitte 1965 schon war Weyer als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Luftstrahltriebwerke der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) eingetreten, während Dr. Hartmut Krain 1976 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Radialverdichterforschung zum Institut für Luftstrahltriebwerke stieß.

Wesentliche Beiträge

Die Professoren Kühl, Winterfeld und Weyer als Leiter des Instituts für Antriebstechnik sowie Dr.-Ing. Eckardt und Dr.-Ing. Krain als Projektleiter steuerten im Laufe der Jahre wesentliche Arbeiten des DLR in Köln zur Radialverdichterforschung unter dem Dach der FVV bei.

„Die ersten dokumentierten Untersuchungen an Radialverdichtern reichen in die Jahre 1900–1910 zurück“, berichtet Dr. Krain aus der Geschichte der Radialverdichterforschung. „Sie wurden im Rahmen der Einführung von Gasturbinen durchgeführt, in denen damals Radialverdichter zur Luftverdichtung zum Einsatz kamen. In der Industrie gab es in unterschiedlichen technischen Bereichen steigenden Bedarf an hoch verdichteter Luft, beispielsweise zur Bergwerksbelüftung, zur pneumatischen Förderung von Korn, Malz und Baumwolle. Später sind Radialverdichter in Turboladern, in der Metallurgie, der chemischen und petrochemischen Entwicklung, in der Gas- und Pipeline-Industrie sowie für militärische Anwendungen und zur Kühlung eingesetzt worden.“

Professor Weyer erinnert sich an die Anfänge der Gemeinschaftsforschung Ende der 60er-Jahre: „Der damalige Entwicklungsleiter Luftfahrtantriebe bei Daimler Benz, Dr. Bruno Eckert, war mit Professor Kühl befreundet, der unser Institut für Luftstrahltriebwerke leitete. Gespräche der beiden brachten die gemeinsame Radialverdichterforschung voran. Es entstand der FVV-Arbeitskreis mit rund 20 Industriemitgliedern und drei Forschungsstellen. In den Anfängen waren die Leiter der beteiligten Forschungsstellen aus Hannover, Köln und Zürich, die Professoren Bammert, Kühl und Traupel, stets persönlich zugegen – und sie stritten fachlich bisweilen, was das Zeug hielt!“

Gegenseitiger Nutzen

Professor Weyer und Dr. Krain beleuchten den Nutzen, den das DFVLR/DLR aus der gemeinsamen Radialverdichterforschung zog: „Wir waren der Luft- und Raumfahrt verpflichtet und steckten damit in einem relativ engen Korsett. Was wir erarbeiteten, wäre auch von großem Interesse für die Turbomaschinenbranche gewesen, aber wir hatten wenige Kontakte zur einschlägigen Industrie. Das änderte sich grundlegend mit dem Eintritt in die FVV-Radialverdichterforschung.“

Wissenschaftlicher Fortschritt

„Diese Radialverdichterforschung im Rahmen FVV war maßgebend für die Entwicklung fortschrittlicher Messtechniken zur Analyse der nichtstationären Strömungen in Radialverdichtern und in Turbomaschinen allgemein“, berichten Weyer und Krain. „Einen entscheidenden Durchbruch zur Messung der Strömung in Radialmaschinen lieferte schließlich die Entwicklung der Lasermesstechnik. Die ‚Laser-2-Fokus-Messtechnik‘ kam für Verdichter-Messungen zum Einsatz; sie war dafür konzipiert worden und der schon existierenden Doppler-Technik überlegen. Beide Systeme messen die Geschwindigkeit kleiner, reflektierender Partikel, die der Strömung beigefügt werden.“ Professor Weyer ergänzt: „Diese Entwicklungen des DFVLR, vorangetrieben von Dr. Schodl und Dr. Eckardt, haben weltweit Furore gemacht. Der Umstand, dass man in die Strömungen sozusagen hineinschauen konnte, gab der Turbomaschinenforschung neue Impulse.“

Das berühmte Rote Buch

Der Arbeitskreis Radialverdichterforschung hat mit dem daraus erwachsenden Kontakt zwischen FVV und DLR dazu geführt, dass Anfang der 80er-Jahre der Orientierungsrahmen Turbomaschinenforschung entstand – bekannt als das „Rote Buch“ und u. a. ins Japanische übersetzt. Herausgegeben vom damaligen Vorsitzenden der FVV, Dr. Dinger, dem Vorstandsvorsitzenden der DFVLR, Professor Jordan, und Professor Dibelius als Vertreter der Hochschulen, bildete dieser Orientierungsrahmen die Plattform für die Gründung der AG Turbo im Jahr 1986, was zusätzliche öffentliche Förderung der Turbomaschinenforschung durch das damalige Bundesministerium für Forschung und Technik (BMFT) erschließen half.

Zwei bedeutende Akzente

„Aus Sicht der Wissenschaft allgemein und des DLR im Besonderen hat die Radialverdichterforschung unter dem Dach der FVV zwei wichtige Akzente gesetzt“, zieht Professor Weyer ein Fazit. „Einerseits hat sie die Entwicklung neuer instationärer, zum Teil optischer Mess- und Rechenmethoden befördert und andererseits den Weg zur Entstehung des Orientierungsrahmens Turbomaschinenforschung unter Mitwirkung aller wesentlichen Kräfte dieses Landes eröffnet. Die Radialverdichterforschung war also für uns von substantieller Bedeutung, denn sie hat die Beziehungen des DLR zur Nicht-Luftfahrt-Industrie und die Zusammenarbeit mit ihr stark geprägt.“



Dr.-Ing.
Hartmut Krain

1966–1971 studierte Hartmut Krain Maschinenbau an der RWTH Aachen und promovierte 1975 am dortigen Institut für Strahltriebwerke und Turbomaschinen. 1976 trat er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Radialverdichterforschung am Institut für Luftstrahltriebwerke, dem heutigen Institut für Antriebstechnik, der DFVLR ein.



Dipl.-Ing. Franz-Arno Richter

(MAN Diesel & Turbo, Oberhausen)

Studium Maschinenbau, Flugzeugbau,
Raumfahrt RWTH Aachen
Seit Mai 1971 GHH Sterkrade, Oberhausen
(später MAN-GHH, MAN Turbo, jetzt
MAN Diesel & Turbo SE), zunächst als
Berechnungsingenieur
Ab 1978 Leiter der Radialverdichterent-
wicklung bis 2007, seither beratend tätig
Seit 1972 in FVV-Arbeitskreisen dabei

„... es erweitert den eigenen Horizont ...“

„In der Öffentlichkeit wird gerne über den Einsatz von Steuergeldern diskutiert. Zur Unterstützung der Industriellen Gemeinschaftsforschung, wie sie von der FVV organisiert wird, ist, wie ich finde, jeder Euro sinnvoll angelegt. Sie stärkt den Wirtschaftsstandort Deutschland, und alle Teilnehmer profitieren außerordentlich davon, egal ob große oder kleine und mittelständische Unternehmen.“

Für mich persönlich sind im Arbeitskreis Radialverdichterforschung die Kontakte und der Austausch mit den Kollegen aus anderen Firmen und der Wissenschaft von besonderer Bedeutung.

Es gibt wohl keine bessere Fortbildung als mit Gleichgesinnten ein technisches Problem zu besprechen und sich auf diese Weise einer Lösung zu nähern.

Der Arbeitskreis trifft sich von Zeit zu Zeit in einem der Unternehmen, dann ist ein Rundgang obligatorisch. Es erweitert den eigenen Horizont, wenn man sieht, wie und woran bei den anderen gearbeitet wird, welche Verfahren zur Anwendung kommen.

Die Gemeinschaftsforschung bringt einen persönlich weiter und damit auch die Firma, für die man arbeitet – wenn man offen ist für neue Lösungen. Unsere Diskussionen im Arbeitskreis führen zu frischen Gedanken und Erwägungen. Wir befruchten uns sozusagen gegenseitig. Das bringt Erfolge in Forschung und Entwicklung allgemein und konkret in den Unternehmen neue, bessere und erfolgreichere Produkte.

Eine weitere bemerkenswerte Gemeinschaftsleistung unseres Arbeitskreises, auf die ich durchaus stolz bin, sind die ASME-Papers, die wir zusammen verfasst haben und mit denen wir die interessierte Fachwelt an unseren Ergebnissen teilhaben ließen. Diese technischen Publikationen steigerten wiederum den Bekanntheitsgrad der FVV.“

Viele Fragen, wenige Antworten und eine Geistergeschichte

Für die Radialverdichterforschungen waren die Projekte Radialverdichter I und II bis Mitte der 70er-Jahre Pionierleistungen. Es traten aber mehr Fragen auf als Antworten gefunden wurden. Mit den erzielten Ergebnissen gelang es noch nicht, signifikante Verbesserungen für die Berechnung und die Konstruktion von Laufrädern auf den Weg zu bringen.

Wesentliche Verfeinerungen ließen also noch auf sich warten, dafür aber leistete das Forschungsprojekt einen Beitrag zum Anekdotischen. Und das kam so: Am Ende eines Projekts müssen die Ergebnisse in der Literatur bekannt gegeben werden. Dies geschah aus dem Radialverdichterarbeitskreis heraus oft im englischen Sprachraum, und zwar bei der ASME, der American Society of Mechanical Engineers, allerdings ohne die geometrischen Daten der Beschaukelung preiszugeben. Alle stürzten sich auf die Messergebnisse und verlangten obendrein nach den Geometriedaten – ohne Erfolg.

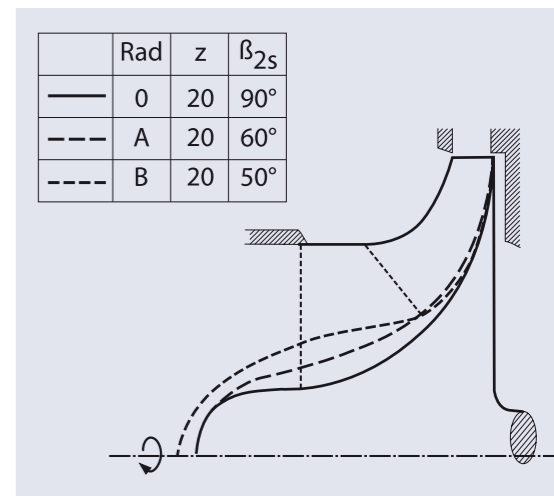
Der Wunsch nach mehr Information war verständlich, denn nie zuvor waren so umfangreiche Daten über die Strömung innerhalb eines Laufrades veröffentlicht worden. Die Publikationen waren so neu, interessant und fundiert, dass sie auch von anderen Forschungsstellen zur Eichung der in Entwicklung befindlichen Rechenprogramme verwendet wurden.

Kein Wunder also, dass das geheimnisvolle „Laufrad 0“, dessen wahre Abmessungen niemand außerhalb des FVV-Arbeitskreises kannte, über längere Zeit nur unter dem Namen „Eckardt's Ghost Impeller“ (Eckardts Geisterrad) in der Literatur bekannt war – oder anders gesagt „durch die Literatur geisterte“. Die Namensgebung übrigens beruhte auf dem Umstand, dass Dipl.-Ing. D. Eckardt als Autor und Vortragender auftrat. Er führte bei der DFVLR die Radialverdichteruntersuchungen durch und promovierte später hierüber.

Mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln zu den Rädern A und B

In den Diskussionen der am Projekt Beteiligten über die bisherigen Ergebnisse gab es Einigkeit, dass man nur durch Parameteränderungen in der Geometrie weitere Fortschritte erzielen könne. Inzwischen waren nämlich neuere Materialien mit höheren Festigkeitseigenschaften bekannt geworden, die es ermöglichen würden, auch bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten rückwärts gekrümmte Schaufeln einzusetzen – wie sie bei Radialpumpen und Radialgebläsen bereits gang und gäbe waren.

Für das Forschungsvorhaben Radialverdichter III (1975–1978) wurde deshalb bei KHD das „Rad A“ entwickelt, das im Eintrittsbereich (axialer Teil) identisch mit dem Rad 0 sein sollte, also mit radialen Schaufeln. Erst ab einem bestimmten Radius, der von Professor Traupel vorgegeben worden war, sollte die Rückwärtskrümmung der Schaufeln beginnen.



**Forschungsbericht Radialverdichter III (1977):
Meridianschnitte der drei untersuchten Radial-
verdichterlaufräder**

Nahezu parallel dazu wurde bei der Schweizer Sulzer AG das „Laufrad B“ ausgelegt, mit rückwärts gekrümmten Schaufeln, aber ohne axialen Teil. Die Untersuchungen daran wurden in das Forschungsprogramm integriert, um auch die Strömung in sogenannten Industrieverdichterlaufrädern untersuchen zu können.

Breitere Kennfelder – ein entscheidender Fortschritt

Der Einsatz rückwärts gekrümmter Schaufeln in Radialverdichtern brachte einen entscheidenden Fortschritt: Er führte, wie erwartet, dazu, dass breitere Kennfelder realisiert werden konnten.

Mithilfe der Ergebnisse der Strömungsuntersuchungen mit dem L2F-Gerät (Laser-2-Fokus-Verfahren) konnten die Forscher sehen, wo sie in Zukunft in der Form der Beschaukelungen oder Konturen Änderungen vornehmen mussten, um bessere Strömungsverläufe zu bekommen. Bei Professor Traupel wurde etwa Ende 1978 das Programm STROEM fertiggestellt. Mit ihm sollte es möglich sein, die Strömung durch das Laufrad genauer als bisher berechnen zu können. Durch die aufwendige Geometrieaufbereitung und die empirischen Verlustkorrelationen war es jedoch sehr kompliziert. Dies ist wahrscheinlich der Grund dafür, dass es in der Industrie wenig Anwendung fand.

Fokus auf das Leitrad

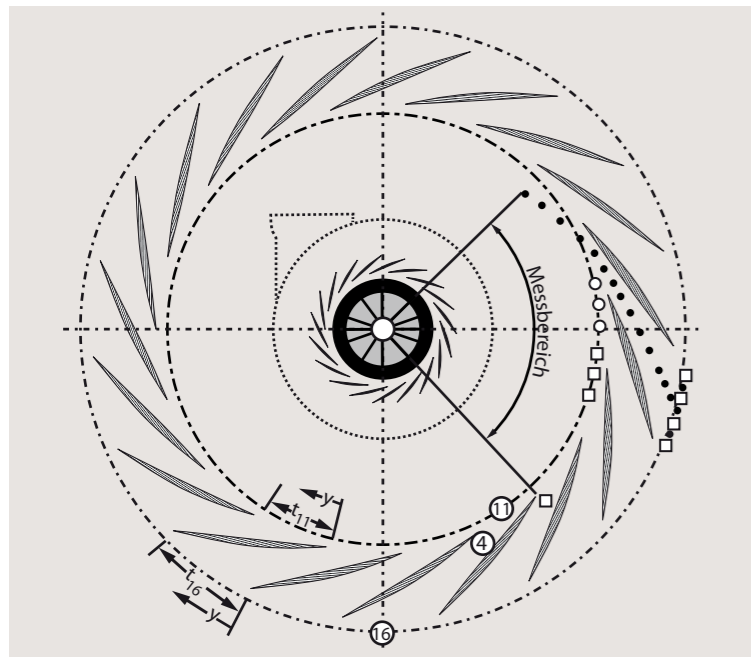
Forschungsbericht Nachleitschaufel- regelung II (1992): Anordnung der Druck und Temper- aturmessstellen im Diffusor

Nach Versuchen zur Ermittlung von Kriterien für das Auftreten von Schaufelschwingungen und später zur Festlegung von Dimensionierungskriterien bei Festigkeitsauslegung zur Vermeidung von Schwingungserregungen verlagerte sich in den 1980er-Jahren das Augenmerk der Radialverdichtenforschung vom Laufrad über den schaufelfreien Raum zum Leitrad. Im Arbeitskreis war man der Meinung, dass erst diese Vorgänge verstanden werden müssten, bevor weitere

Verbesserungsmöglichkeiten ausfindig gemacht werden könnten. Untersucht wurde in einem ersten Schritt die Wechselwirkung zwischen Lauf- und Leitrad, zunächst noch mit Rad 0.

In zwei Folgeprojekten untersuchte man 1987–1991 mit zwei Rädern (Rad 1 und Rad 2) von Atlas Copco, wie die Strömungsverhältnisse sich ändern zwischen Laufradaustritt und Leitradeneintritt, sowohl bei unterschiedlichen Leitradanstellwinkeln als auch unterschiedlichen Leitradformen.

- ① Messebene Leitradantrieb $D/D_2 = 1,10$
- ④ Messebene engster Diffusorquerschnitt
- ⑬ Messebene Leitradaustritt $D/D_2 = 1,55$
- Totaldruck in Diffusorkanalmitte
- statischer Druck Verdichtervorderwand
- Totaltemperatur in Diffusorkanalmitte



Dr.-Ing. Ioan Ispas
(Atlas Copco Energas, Köln)

1966–1971: Studium Maschinenbau RWTH Aachen

1972–1974: Promotion an der RWTH Aachen

1975–1978: Forschungsingenieur an der RWTH in einem FVV-Projekt

1978–1981: Berechnungen Axialverdichter bei Sulzer AG, Winterthur/Schweiz

1981–1984: Leiter Aerodynamik bei Creusot Loire (Frankreich)

Seit 1985 Leiter Entwicklung und Berechnung Aerodynamik bei Atlas Copco Energas, Köln

Seit 1985 im Arbeitskreis Radialverdichter

apparate zu entwickeln. Solche Forschung hätte sich meine Firma alleine überhaupt nicht leisten können.

Die konkreten Versuche, die wir mit Unterstützung der FVV durchführen, bringen uns am meisten. Sie finden auf einem außerordentlich hohen Niveau statt, mit ausgewählter Versuchstechnik auf dem neuesten Stand. Es gibt wohl kaum eine andere Institution im deutschsprachigen Raum, die das so für Radialverdichter möglich macht. Kein Wunder also, dass die mit FVV-Projekten gewonnenen Erkenntnisse in der wissenschaftlichen und technischen Community weltweit höchstes Ansehen genießen.

Die Diskussionen im Arbeitskreis verdienen das Prädikat „besonders wertvoll“. Der „Streit“ der Experten um die Interpretationen der Ergebnisse und in welche Richtung die Forschung in Zukunft vorangetrieben werden soll treibt uns alle zu Höchstleistungen. “

„... weltweit höchstes Ansehen genießen.“

“ Der Wert des FVV-Arbeitskreises Radialverdichter liegt für mich in erster Linie in der Möglichkeit zur Grundlagenforschung und der Teilhabe an deren Ergebnissen. Sie hilft uns, Strömungsphänomene zu verstehen und aus diesem Verständnis heraus immer bessere aerodynamische Komponenten von Laufrädern, aber auch Diffusoren und Vorleit-

Erst mit der Entwicklung und Weiterentwicklung der Finite-Elemente-Methode (FEM) in den 80er-Jahren – einem modernen Berechnungsverfahren, das als Werkzeug zur Festkörpersimulation verwendet wird – gelang es, die Beanspruchung des Materials im Falle rückwärts gekrümmter Schaufeln genauer abzuschätzen.

Inzwischen hatte man aber die FEM nicht nur für die Hardware, also für Laufrad und Leitrad, sondern zunächst getrennt auch für die Laufrad- und Leitradströmung anwendbar gemacht. Es wurden mehrere Codes angeboten – zu Beginn noch mit Verlustansätzen, dann mit ersten Turbulenzkriterien.

Man konnte die Laufradströmung nachrechnen, musste aber mit intensiven Messungen die Rechnungen überprüfen. Es war also nötig, verschiedene andere Laufräder nach unterschiedlichen Auslegungskriterien mit räumlich gekrümmten Schaufeln auszulegen, nachzurechnen, wie die Strömung im Rad sein würde, sie zu vermessen und sie zusätzlich intensiv an den kritischen Stellen mit der Rechnung zu vergleichen. Die Lauf(rad)schaufeln waren in der Skelettfläche durch Regelgeraden zwischen Naben- und Gehäusekontur definiert.

Zurück zu den Laufrädern



Das Radialverdichterlaufrad SRV2

Mit Beginn der 90er-Jahre kehrte deshalb ein Forschungsschwerpunkt zu den Laufrädern zurück: 1991–1995 fand die Untersuchung „Radialverdichter hoher Schluckfähigkeit“ statt. Im Zuge dieser Arbeiten entstanden zunächst die Räder SRV1 bis SRV3. Es sollte untersucht werden, ob es günstiger ist bei hochtranssonischen Geschwindigkeiten (im Relativsystem) am Laufradeintritt mehr in der Beschauflung umzulenken bei mäßiger Verzögerung in der Meridiangeschwindigkeit oder ob eine geringere Umlenkung bei mehr Verzögerung in der Meridiangeschwindigkeit bessere Ergebnisse bringt; dies natürlich bei gleichem Massenstrom und gleichem Gesamtdruckverhältnis.

Das erste Laufrad (SRV1) hatte leider etwas ungünstige Kennlinieneigenschaften, weshalb eine Neuauslegung mit dessen Randbedingung notwendig wurde.

Die Laufräder SRV2 und SRV3 unterlagen zudem von der Festigkeit her der Forderung, die Beschauflung mit rein radialen Schaufelelementen zu beginnen, was sich am Ende ebenfalls etwas nachteilig bemerkbar machte. Mit den ab etwa 1996 erhältlichen Strömungslösern mit ersten Turbulenzkriterien war man in der Lage, die bei den Messungen festgestellten ungünstigen Strömungsbedingungen zu erkennen.

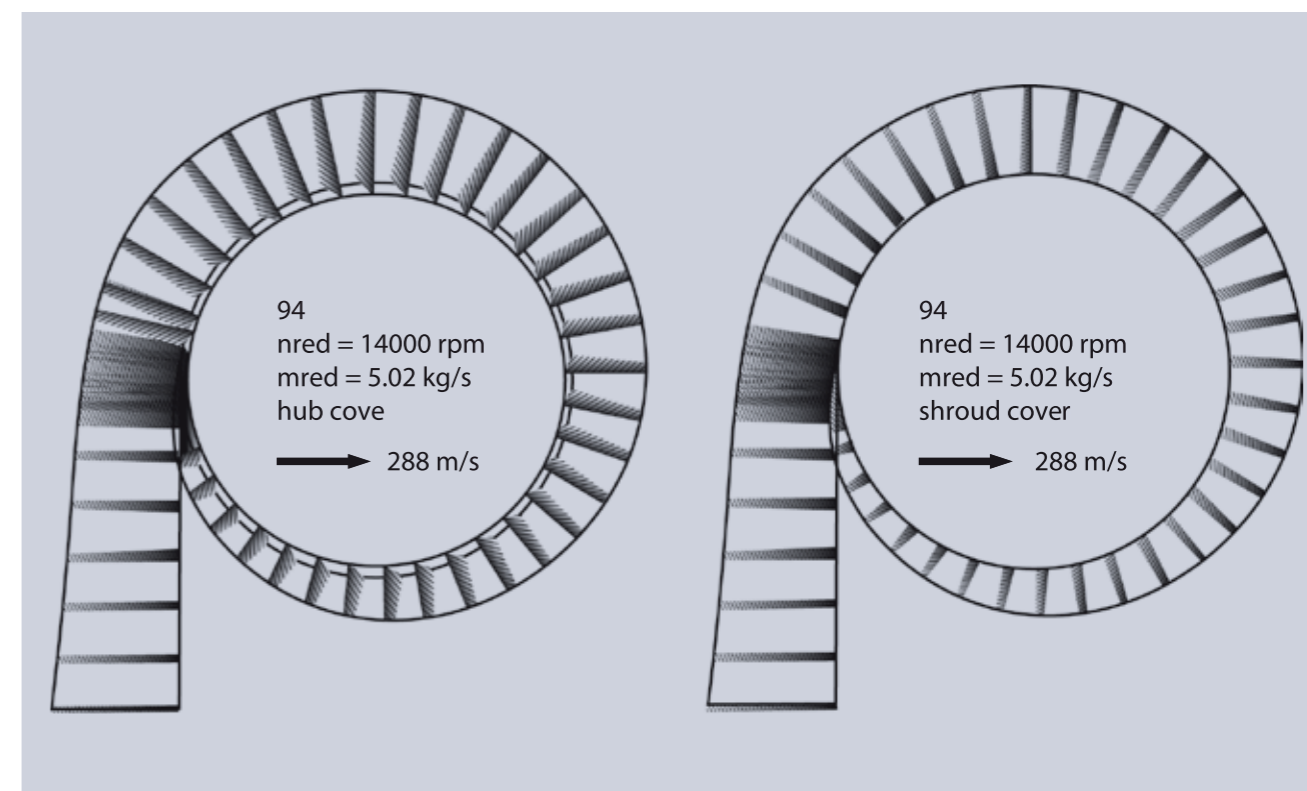
Strömungen in der Spirale und Optimieren des Vorleitrades

Zeitweise parallel zu „Radialverdichter hoher Schluckfähigkeit“ setzte man am Institut für Strömungsmaschinen der Universität Hannover die Forschungsvorhaben „Spiralenströmungen I“ (1994–1997) und Spiralenströmungen II (2000–2003) in die Tat um. Das Von-Karman-Institut in Brüssel war hierbei für die theoretischen Berechnungen zuständig. Im Projekt sollte untersucht werden, wie man eine Spirale bestmöglich entwickelt – a) aufgesetzt, b) auf gleichem Radius oder c) nach unten. Die drei Varianten bedeuten:

- Die Spirale wird von einem gewissen Radius aus mit dem Flächenschwerpunkt nach außen hin entwickelt.
- Für die Entwicklung der Spirale wird der Flächenschwerpunkt konstant gehalten und seitlich entwickelt.
- Die Spirale wird möglichst bei konstantem Außenradius, also abnehmendem Flächenschwerpunktsradius seitlich entwickelt.

Die Auslegung wurde mit einem 1D-Berechnungsverfahren durchgeführt, dem sich eine Nachrechnung mit einem 3D-Modell anschloss. Danach folgten der Bau, die Untersuchung und die Nachrechnung mit dem dann entwickelten 3D-Verfahren.

Die Grafik aus dem Forschungsbericht Spiralenströmung (1998) zeigt die Geschwindigkeitsverteilung an der Naben- und Gehäusewand der externen Spirale





Dr.-Ing. Karl-Heinz Rohne
(ABB Turbo Systems AG, Baden/Schweiz)

Studium Maschinenbau in Stuttgart
Assistenz und Promotion am Institut für thermische Strömungsmaschinen bei Professor Wachter in Stuttgart
Seit 1985 bei BBC, später ABB
1988–2006: Leiter R&D Turbolader
Seit 2006 Leiter Technologie, Lagerung und Rotordynamik
Seit 1986 in FVV-Arbeitskreisen tätig
Seit 2001 Leiter des FVV-Arbeitskreises Radialverdichter

fahrt DLR in Köln an den Rädern SRV2 und SRV3 ergaben wertvolle Hinweise für die bestmögliche Auslegung hochschluckfähiger Verdichter.

- Das Projekt Vorleitregelung, das an der TU Hannover durchgeführt wurde, hat wesentlich dazu beigetragen, dass man aufgeladene Gasmotoren mithilfe des Vorleitrades des Turboladers regeln kann und nicht mehr mit der Drosselklappe Energie vernichten muss.

- Unsere gemeinsame, vorwettbewerbliche Grundlagenforschung stärkt die Industrie im deutschsprachigen Raum und damit den Standort Europa.

- Gibt es eine effektivere Nachwuchsschmiede als FVV Projekte? Zugegeben: Eine rhetorische Frage. Denn durch sie können wir ganz gezielt unseren Ingenieurnachwuchs so ausbilden, wie er von den Firmen tatsächlich gebraucht wird.

- Kleine und mittelständische Unternehmen profitieren nicht nur durch die Teilnahme an Forschung, die für sie alleine unerschwinglich wäre, sondern wir binden KMUs auch auf direkte Art und Weise ein: Sie können so gezielt passende Produkte entwickeln, die von der Großindustrie gebraucht, gekauft und rasch eingesetzt werden.

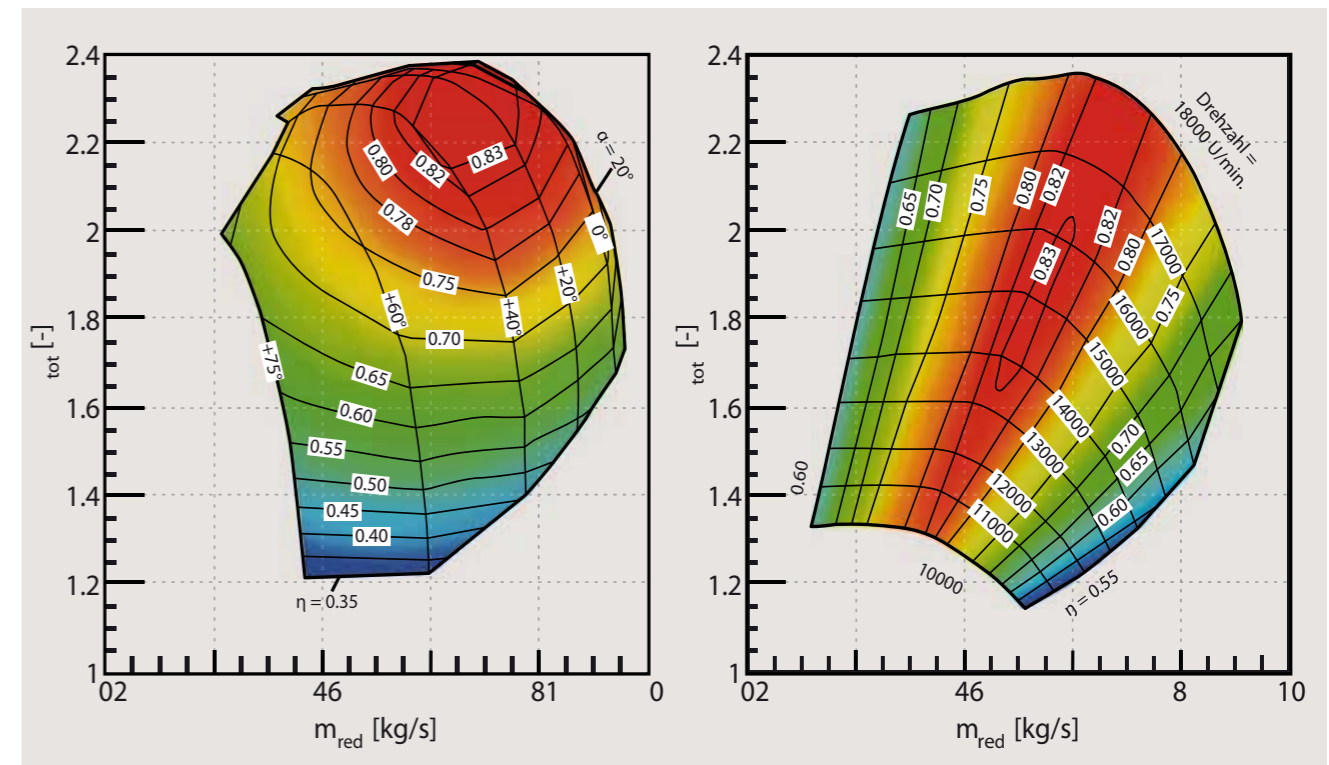
- Hinter uns liegen viele spannende Jahre. Noch immer gibt es viel zu tun und auch in der Radialverdichterforschung in der FVV sind noch lange nicht alle Schätze gehoben.

„Forschung braucht Kontinuität.“

„Über 40 Jahre Radialverdichterforschung im deutschen Sprachraum sind eine beeindruckende Zeitspanne, und man kann mit Fug und Recht behaupten, dass die Ergebnisse für die teilnehmenden Firmen von großem Nutzen waren und sind.“

Forschung braucht Kontinuität. Es ist der FVV zu verdanken, dass der Faden seit 1968 nie gerissen ist und wir ein Projekt an das andere reihen konnten. Die immer wieder neuen Erkenntnisse flossen mitunter direkt in die Entwicklung neuer Produkte der deutschen und europäischen Wirtschaft ein. Um nur zwei Beispiele zu nennen:

- Die Untersuchungen auf dem Radialverdichterprüfstand des Deutschen Instituts für Luft- und Raum-



Für viele Anwendungen waren die erzielbaren Kennfeldbreiten nicht ausreichend; dann wurde dem Laufrad ein regelbares Leitgitter vorangestellt. Bei der Lösung dieses Problems halfen die Projekte Vorleitradoptimierung I und II. Ihre Ergebnisse haben wesentlich dazu beigetragen, dass man Turbolader mithilfe des Vorleitrades regeln kann und nicht mit der Drosselklappe regeln muss. So wird Brennstoff effektiver genutzt.

Die von den Forschungsergebnissen profitierenden Hersteller waren nun in der Lage, Abgasturbolader mit deutlich größeren Einsatzmöglichkeiten zu bauen, bei erheblicher Verbesserung des Zusammenwirkens von Motor und Turbolader. Zudem war es leichter, mit kleineren Motoren eine größere Leistung zu erzielen. Etwas blumiger ausgedrückt: Breitere Kennfelder sorgten und sorgen dafür, dass sich beispielsweise ein Schiffsmotor beim Gas geben nicht mehr verschluckt und keine schwarze Rußwolke mehr über den Schornsteinen steht.

Drallkennfeld (links) und Drehzahlkennfeld aus dem Forschungsbericht Vorleitradoptimierung II (2007)

Transsonischer Radialverdichter und homogene Lauf- und Leitradströmung

Weitere Untersuchungen an den Laufrädern SRV2 und SRV3 führten im Zuge der Projekte Transsonischer Radialverdichter I & II durch das Reduzieren der Laufradverzögerung zu verbesserten Kennfeldern. Die Ergebnisse mit dem Zusatz AB in den Projekten ab 1.1.1997 zeigen dies deutlich. In dieser Serie fanden auch Versuche der Laufräder mit Nachleitrad statt, um die Interaktion der hochfrequenten, transsonischen Abströmung aus dem Laufrad mit dem Leitrad zu untersuchen und auf diese Weise möglichst günstigere Formen für die Leitradgestaltung zu erkennen.

Mit dem Ziel, die Sekundärströmungsverluste in der Radialverdichterstufe zu minimieren und eine homogenere Abströmung am Schaufelaustritt zu erreichen, wurde bei Sulzer-Innotec eine Parameterstudie mit umfangreichen Geometrievariationen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Studie entstand das spätere Laufrad SRV4. Die beim DLR angewandten Lasermessungen mit particle image velocimetry im Laufradkanal und am Austritt des Rades bestätigten, dass die getroffenen Maßnahmen zu einer deutlich gleichmäßigeren Radströmung führten.

Mit dem anschließenden Projekt Kompaktdiffusor verfolgte man die Absicht, die gleichmäßige Strömung des neuen Laufrades SRV4 im Diffusor optimal umzusetzen. Gleichzeitig sollte bei einer deutlichen Reduktion des Bauraumes das Wirkungsgradniveau und die Kennfeldbreite verbessert oder zumindest gehalten werden. Beide Ziele erreichten die Forscher und Ingenieure in vollem Umfang.



Das Radialverdichterlaufrad SRV4



Dr.-Ing. Ingolf Lehmann
(KBB Kompressorenbau Bannewitz GmbH)

1990–1995: Studium Maschinenbau an der TU Dresden

1995–2002: Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promotion am Institut für Strömungsmechanik der TU Dresden

Seit 2003 KBB Kompressorenbau Bannewitz GmbH

2003–2006: Entwicklungsingenieur für Radialverdichter-Aerodynamik

Seit 2007 Leiter Entwicklung

Mitarbeit im FVV-Arbeitskreis Radialverdichter seit 2003

Die vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung der FVV trägt einen Großteil der Grundlagenforschung in unserem mittelständischen Unternehmen. Speziell die detaillierten thermodynamischen Versuche und die umfangreichen instationären CFD-Rechnungen kann KBB aus Zeit- und Kostengründen oftmals selbst nicht durchführen.

Wir wünschen uns weiterhin viele erfolgreiche Jahre der Radialverdichtorforschung unter dem Dach der FVV. Diese Art von Forschung in Verbindung von Industrieunternehmen unterschiedlicher Marktbereiche und von wissenschaftlichen Instituten kann im deutschsprachigen Raum als beispielhaft angesehen werden.“

„... als beispielhaft angesehen werden.“

„Für mich sind die Treffen des Arbeitskreises aufgrund der wissenschaftlichen Diskussionen und der persönlichen Kontakte eine Bereicherung meines Ingenieurberufs. Manchmal sind es nur kleine Denkanstöße aus Gesprächen mit Kollegen anderer Unternehmen, die einem im Ingenieur-Alltag bei der Bewältigung von technischen Problemstellungen weiterhelfen.“



Dr.-Ing. Alexander Rippl
(MAN Diesel & Turbo, Augsburg)

Studium Maschinenbau an FH Coburg und Ruhr-Universität Bochum

Promotion in Bochum auf dem Gebiet „Axialverdichter Stabilitätsgrenze“

Seit Januar 1995 bei MAN im Bereich Turbolader, zunächst als Projektingenieur in der Auslegung, später Leiter Turbolader Versuch und seit 2000 Leiter R&D und Engineering
Seit 1996 in verschiedenen FVV-Arbeitskreisen tätig, in dieser Zeit auch als Obmann des Arbeitskreises „Radialverdichter Lärm“

„... entsteht eine wirkungsvolle Synergie ...“

„Mit ihrer Förderung hat die FVV den wissenschaftlichen Stellenwert der Radialverdichtorforschung in der Bundesrepublik wesentlich beeinflusst. Die industrielle Gemeinschaftsforschung zeichnet sich durch ein Alleinstellungsmerkmal in der deutschen und meines Erachtens auch in der europäischen Forschungslandschaft aus. Durch die öffentliche Förderung passend zu den vorwettbewerblichen Interessen der Industrie wird genau die Lücke geschlossen, die zwischen

Grundlagenforschung und anwendungsbezogener industrieller „Auftragsforschung“ herrscht.

Der Durchbruch der Abgasturboaufladung beim Großmotor vor mehr als 60 Jahren und im Automobil in den letzten 20 Jahren wäre ohne Radialverdichter nicht vorstellbar. Aufladedrücke von über 5 bar in einer kompakten Bauform und bei hohen Wirkungsgraden sind nur durch Radialverdichter möglich. Daher hat die Forschung auf diesem Gebiet einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Leistungsdichte (downsizing) und Reduzierung der Emissionen geleistet. MAN begleitet die Radialverdichtorforschung seit den Anfängen vor 40 Jahren.

Für mich persönlich sind die lebhaften Diskussionen in den Arbeitskreisen besonders wertvoll. Hier entsteht eine wirkungsvolle Synergie zwischen der langjährigen, zum Teil empirischen Erfahrung der Industriepartner und der wissenschaftlichen Kompetenz der Hochschulen und Forschungsinstitute. Mein Eindruck ist, dass auch der wissenschaftliche Nachwuchs durch den Austausch mit den erfahrenen „alten Hasen“ einen Vorsprung gegenüber der rein universitären Forschung gewinnt.“

Megatrend Umweltschutz

Reduktion von eingesetztem Material und Lärminderung sind wichtige Beiträge zum Umweltschutz. Und Umweltverträglichkeit wird für technische Produkte jeder Art immer wichtiger. Dies erkannte auch der Arbeitskreis Radialverdichtorforschung der FVV. Zusätzlich zum Projekt zur Reduktion des Bauraumes initiierte er deshalb eine Reihe von Forschungsvorhaben zur Untersuchung von Radialverdichterlärm. In einer ersten Versuchsserie im Jahr 2001 standen in verschiedenen Konfigurationen mit den SRV-Rädern im Ansaug- und Ausblaskanal Schallmessungen auf dem Programm.

Die aufwendigen Analysen sowie das Erstellen einer Datenbank, mit deren Hilfe ein empirisches Modell für die Schallleistung entstand, fanden in Folgeprojekten statt. Eine erste Abschätzung zur Vorhersage des Schalldruckpegels mit dem bei der DLR mitentwickelten Trace-Programm wurde eingearbeitet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren wertvolle Hinweise zur Gestaltung von lärmoptimierten Radialverdichterstufen.

Wie es weitergeht

Die Erkenntnisse aus den Akustikprojekten sollen in Form eines lärm- und leistungsoptimierten Verdichters umgesetzt werden. Das Ingenieurbüro NUMECA, ein kleineres mittelständisches Unternehmen, das seit einigen Jahren zum Arbeitskreis dazugestoßen ist und mit seinen Tools bereits wertvolle Analysen beitragen konnte, erklärte sich bereit, mit dem Optimierungsprogramm FINE™/Design 3D eine erste Optimierung des Laufrades durchzuführen. Dabei steht nicht nur die Verifikation der akustischen Erkenntnisse im Zentrum der Untersuchungen, sondern auch der Nachweis, dass mit einem geeigneten Optimierer schnell und zielsicher erfolgreiche Lösungen gefunden werden können. Ergebnis der Vorarbeiten ist dieses Mal ein Voll-3D-Laufrad.

Momentan befindet sich die Radialverdichtorforschung der FVV in einer Phase des Umbruchs. Die zukünftigen Untersuchungen an Radialverdichtern sollen schwerpunktmäßig am Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen der RWTH Aachen stattfinden. Der vollständig neue Prüfstand wird zurzeit konzipiert und anschließend aufgebaut. Die Versuche werden voraussichtlich Ende 2012 wieder aufgenommen. Mit dem vergrößerten, geometrisch skalierten Verdichterrad SRV4 plant man, im Rahmen der Inbetriebnahme eine neue Ausgangsbasis zu schaffen.

In der Zwischenzeit gilt es, akustische Grundlagenuntersuchungen durchzuführen, die zurzeit in Vorbereitung sind. Die Untersuchungen an der von Numeca voroptimierten neuen Verdichterstufe wird dann eines der ersten vielversprechenden Projekte auf dem neuen Prüfstand in Aachen sein.

In den nächsten Jahren stehen Untersuchungen an Radialverdichtern für mittlere Druckverhältnisse im Vordergrund, um hier noch bestehende Wissenslücken zu schließen. Breite Verdichterkennfelder mit und ohne Casing Treatment, optimale Energieumsetzung bei möglichst geringem Bauraum und reduzierter Lärmabstrahlung und Schwingungsmessungen zum vertieften Verständnis der Fluid-Struktur-Interaktion werden uns noch etliche Jahre beschäftigen.

Radialverdichterforschung in der FVV – alle Projekte, alle Daten

Vorhaben- Nummer	Zuschuss- geber	Kennwort	Thema		Forschungsstelle	Obmann	Laufzeit		Heft-Nummer
							Start	Ende	
83, 115	FVV-EM	Radialverdichter	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen (Teil 1): Versuchaufbau, Messtechnik, Strömungsanalyse		Institut für Luftstrahl- antriebe (IfL), Deutsche Forschungs- und Versuchs- anstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Dr. Ehrhardt (bis 1971)/ Schnell	01.01.1969	31.12.1972	83(1)
83, 115	FVV-EM	Radialverdichter	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen (Teil 2)		IfL, DFVLR, Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Dr. Ehrhardt (bis 1971)/ Schnell	01.01.1969	31.12.1972	83(2)
83, 115	FVV-EM	Radialverdichter	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen		Institut für Strömungs- maschinen (IfS): Technische Universität Hannover: Prof. Bammert	Dr. Ehrhardt (bis 1971)/ Schnell	01.01.1969	31.12.1972	155
83, 115	FVV-EM	Radialverdichter	Grundzüge einer Theorie des radialen Verdichterrades		Institut für thermische Turbomaschinen (ItT), ETH Zürich: Prof. Traupel	Dr. Ehrhardt (bis 1971)/ Schnell	01.01.1969	31.12.1972	83(1)ZW
148	FVV-EM	Radial- verdichter I	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen		IfL, DFVLR, Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Schnell	01.01.1973	31.12.1974	183
149	FVV-EM	Radial- verdichter I	Untersuchung der instationären Strömungsmechanismen in einem Radialverdichter hoher Stufenbelastung; Messungen an beschauelten Diffusoren		IfS, TU Hannover: Prof. Bammert/ Prof. Rautenberg	Schnell	01.01.1973	31.12.1974	184
148, 149	FVV-EM	Radial- verdichter I	Theorie der Strömung in Radial- verdichtern		ItT, ETH Zürich: Prof. Traupel	Schnell	01.01.1969	31.12.1974	190
148	FVV-EM	Radial- verdichter II	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen		IfL, DFVLR, Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Schnell	01.01.1973	31.12.1974	207

Vorhaben- Nummer	Zuschuss- geber	Kennwort	Thema		Forschungsstelle	Obmann	Laufzeit		Heft-Nummer
							Start	Ende	
148, 149	FVV-EM	Radialverdichter	Theorie der Strömung in Radialverdichtern		ItT, ETH Zürich: Prof. Traupel	Schnell	01.01.1969	30.11.1976	224
182	FVV-EM	Radial- verdichter III	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen; Rad A, $\beta_{sz} = 60$ Grad		IfL, DFVLR, Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Schnell/ Eisenlohr	01.01.1975	31.12.1976	227
182	FVV-EM	Radial- verdichter III	Vergleichende Untersuchungen an drei Radialverdichterlaufrädern mit konventionellen Messverfahren		IfL, DFVLR, Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Schnell/ Eisenlohr	01.01.1975	31.06.1977	237
182	FVV-EM	Radial- verdichter III	Untersuchung der Laufradströmung in hochbelasteten Radialverdichterstufen; Rad B, $\beta_{sz} = 50$ Grad		Institut für Antriebstechnik (IfA), DFVLR, Köln: Dr.-Ing. Winterfeld	Schnell/ Eisenlohr	01.01.1977	31.06.1977	243
182	FVV-EM	Radial- verdichter III	Programmbeschreibung für das Programm STROEM		ItT, ETH Zürich: Prof. Traupel	Schnell/ Eisenlohr	01.01.1975	31.12.1977	244A
182	FVV-EM	Radial- verdichter III	Programmbeschreibung GEOMET = Inputprogramm für STROEM		ItT, ETH Zürich: Prof. Traupel	Schnell/ Eisenlohr	01.01.1975	31.12.1977	244B
182	FVV-EM	Radial- verdichter III	Auswertung der Versuchsergebnisse zur Festlegung der empirischen Eingaben in das Programm STROEM zur Berechnung von RV-Laufradströmungen		ItT, ETH Zürich: Prof. Traupel	Schnell/ Eisenlohr		01.12.1978	255
233	FVV-EM	Radialverdichter- Schaufel- schwingungen	Untersuchung von Schaufelschwingungen an hochbelasteten Radialverdichterlaufrädern fortschrittlicher Technologie		IfS, Universität Hannover: Prof. Rieß	Dr. Jäger	01.01.1979	31.12.1981	315

Vorhaben- Nummer	Zuschuss- geber	Kennwort	Thema		Forschungsstelle	Obmann	Laufzeit		Heft-Nummer
							Start	Ende	
269	FVV-EM	Radialverdichter- Wechselwirkung I	Untersuchung über die Wechselwirkung zwischen Laufrad und Diffusor in Radialverdichtern		IfS, Uni Hannover: Prof. Rautenberg; Institut für Mechanik (IfM): Prof. Teipel	Eisenlohr	01.01.1981	30.06.1983	337
306	FVV-EM	Radialverdichter- Wechselwirkung II	Untersuchung über die Wechselwirkung zwischen Laufrad und Diffusor in Radialverdichtern		IfS, Uni Hannover: Prof. Rautenberg; IfM, Uni Hannover: Prof. Teipel	Eisenlohr	01.07.1983	31.12.1984	358
396	BMW/AIF	Radialverdichter- Schwingfestigkeit	Schwingungserregung bei Radialverdichterrädern – Dimensionierungskriterien bei der Festigkeitsauslegung		IfS, Uni Hannover: Prof. Rautenberg	Dr. Jäger	01.01.1987	31.12.1989	456
397	BMW/AIF	Nachleitschaufel- regelung I	Strömungsvorgänge in nachleitschaufelgeregelten Radialverdichterstufen; Rad 2 von Atlas Copco		IfS, Uni Hannover: Prof. Rautenberg	Dr. Keiper	01.01.1987	30.06.1989	459
397, 469	BMW/AIF	Nachleitschaufel- regelung II	Strömungsvorgänge in nachleitschaufelgeregelten Radialverdichterstufen; Rad 1 und Rad 2 von Atlas Copco		IfS, Uni Hannover: Prof. Rautenberg	Dr. Keiper	01.01.1990	31.12.1991	601
493	BMW/AIF	Radialverdichter hoher Schluck- fähigkeit I	Radialverdichter hoher Schluckfähigkeit		IfA, Deutsche Forschungs- anstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln: Prof. Weyer	Eisenlohr	01.01.1991	31.12.1993	569
604	BMW/AIF	Radialverdichter hoher Schluck- fähigkeit II	Radialverdichter hoher Schluckfähigkeit		IfA, DLR, Köln: Prof. Weyer	Eisenlohr	01.01.1994	31.12.1995	634
606	FVV-EM	Spiralen- strömungen	Strömungsvorgänge in spiralförmigen Sammelräumen für Radialverdichterstufen		Von Karman Institute for Fluid Dynamics (VKI), Rhode-St-Genèse/Belgien: Prof. van den Braem- bussche; IfS, Uni Hannover: Prof. Rautenberg	Dr. Keiper	01.06.1994	31.05.1997	659

Vorhaben- Nummer	Zuschuss- geber	Kennwort	Thema		Forschungsstelle	Obmann	Laufzeit		Heft-Nummer
							Start	Ende	
670, 729	BMW/AIF	Transsonischer Radialverdichter I & II	Transsonische Lauf-Leitrad-Interaktion bei Radialverdichtern		IFA, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln: Prof. Weyer	Eisenlohr	01.01.1997; 01.04.1999	31.12.1998; 30.04.2000	710
705	FVV-EM	Vorleitrad-optimierung	Vorleitrad-Laufrad-Strömungsoptimierung und -Interaktion		VKI, Rhode-St-Genèse/Belgien: Prof. van den Braembussche; IfS Uni Hannover: Prof. Rautenberg	Röppischer	01.04.1998	31.10.2000	726
763	BMW/AIF	Spiralenströmungen II	Strömungsvorgänge in spiralförmigen Sammelräumen für Radialverdichterstufen		Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD), Uni Hannover: Prof. Seume; VKI, Rhode-St-Genèse/Belgien: Prof. van den Braembussche	Dr. Keiper	01.06.2000	30.04.2003	773
781	BMW/AIF	Radialverdichtelärm	Schallentstehung bei Radialverdichtern		IfA, DLR, EN-AT, Köln: Prof. Mönig/Prof. Neise	Dr. Rippl	01.09.2001	29.02.2004	787
798	BMW/AIF	Homogene Lauf-/Leitradströmung	Homogene Lauf-/Leitradströmung im Radialverdichter		IfA, DLR, EN-AT, Köln: Prof. Mönig	Dr. Rohne	01.08.2002	30.04.2005	810
823	FVV-EM	Radialverdichterkennfeld	Erstellung einer Kennfeldberechnungsmethode zur Inter- und Extrapolation des gemessenen Radialverdichterkennfeldes anhand vorhandener FVV-Ergebnisse		TFD, Uni Hannover: Prof. Seume	Dr. Keiper	01.04.2004	31.01.2005	813
845	BMW/AIF	Dynamische Pumpgrenze	Dynamisches Verhalten von Turboladern nahe der Pumpgrenze		TFD, Uni Hannover: Prof. Seume; Institut für Land- und Seeverkehr, Fachgebiet Verbrennungskraftmaschinen (VKM), Berlin: Prof. Pucher	Dr. Wolkers- torfer	01.07.2004	30.06.2006	833
846	BMW/AIF	Vorleitrad-optimierung II	Strömungsvorgänge zwischen Vorleitapparat und Laufrad eines Radialverdichters und deren gegenseitige Beeinflussung		TFD, Uni Hannover: Prof. Seume; VKI, Rhode-St-Genèse/Belgien: Prof. van den Braembussche	Dr. Keiper	01.07.2004	30.06.2006	838

Vorhaben- Nummer	Zuschuss- geber	Kennwort	Thema		Forschungsstelle	Obmann	Laufzeit		Heft-Nummer
							Start	Ende	
861	FVV-EM	Radialverdichter- lärm II (A)	Schallreduzierung bei Radialverdichtern		IfA, DLR, EN-AT, Köln: Prof. Mönig/Prof. Neise	Dr. Rippl	01.02.2005	31.01.2006	818
894	FVV-EM	Kompaktdiffusor	Homogene Lauf-/Leitradströmung im Radialverdichter		IfA, DLR, EN-AT, Köln: Prof. Mönig	Dr. Rohne	01.09.2006	28.02.2009	882
901	BMW/AIF	Radialverdichter- lärm II (B)	Schallreduzierung bei Radialverdichtern		IfA, DLR, EN-AT, Köln: Prof. Mönig/Prof. Neise	Dr. Rippl	01.03.2006	28.02.2007	844
949	FVV-EM	Radialverdichter- lärm III	Schallemission von Radialverdichtern mit Kompaktdiffusor		IfA, DLR, EN-AT, Köln: Prof. Mönig/Prof. Neise	Dr. Rippl	01.01.2008	31.03.2009	884