

Bemerkung:

Wie im vorletzten Abschnitt des Vorspanns "... vorab und nebenbei" erwähnt, wurden die 6 Bände in Teamarbeit erstellt. Die Konzeption, das Layout und die Auswahl der Photos besorgte Hans Volkert.



WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

VON und MIT

ULRICH SCHUMANN



DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe all der Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind all jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollektive von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

WISSENSCHAFTLICHE
ABHANDLUNGEN

VON

ULRICH SCHUMANN

DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

ERSTER BAND.

Dissertation, TH Karlsruhe, 1973

Habilitationsschrift, TH Karlsruhe, 1978



OBERPFAFFENHOFEN
Institut für Physik der Atmosphäre
März 2005.

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe aller Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamtwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind all jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollektive von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

Inhaltsverzeichnis

- Schumann, U.*, 1973: Ein Verfahren zur direkten numerischen Simulation turbulenter Strömungen in Platten- und Ringspaltkanälen und über seine Anwendung zur Untersuchung von Turbulenzmodellen.
Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs von der Fakultät für Maschinenbau der Universität Karlsruhe (TH) genehmigte Dissertation.
Gesellschaft für Kernforschung mbH (KfK), Bericht Nr. **1854**, 1-260. 1
- Schumann, U.*, 1979: Effektive Berechnung dreidimensionaler Fluid-Struktur-Wechsel-Wirkung beim Kühlmittelverluststörfall eines Druckwasserreaktors (FLUX).
Habilitationsschrift, Universität Karlsruhe (TH), 1978.
Institut für Reaktorentwicklung, Projekt Nukleare Sicherheit,
Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK), Bericht Nr. **2645**, 1-264. 261



Ulrich Schumann

(etwa 1982)

WISSENSCHAFTLICHE
ABHANDLUNGEN

VON

ULRICH SCHUMANN

DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

ZWEITER BAND.

Schwerpunkt „**Strömung in Brennkammern**“
Arbeiten aus den Jahren 1973–1982
am Kernforschungszentrum Karlsruhe



OBERPFAFFENHOFEN
Institut für Physik der Atmosphäre
März 2005.

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe aller Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamtwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind all jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollege von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

Inhaltsverzeichnis

Pee, A., and U. Schumann , 1970: An integrated program library for material property data. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 14 , 99-103.	1
Schumann, U. , 1970: Solution of the Boltzmann neutron transport-equation in plane geometry with anisotropic scattering by the double P _N -method. <i>Atomwirtschaft</i> 5 , 41.	7
Schumann, U. , 1972.: Ein Verfahren zum Transponieren großer, sequentiell gespeicherter Matrizen. <i>Angew. Informatik</i> , 5 , 213-216.	9
Schumann, U. , 1972: MAPLIB - A data bank of FORTRAN functions describing material properties. <i>Software Pract. Exp.</i> 2 , 21-28.	13
Schumann, U. , 1973: Comments on "A fast computer method for matrix transposing" and application to the solution of poisson's equation. <i>IEEE transactions on computers</i> , 542-543.	21
Schumann, U. , 1975: Numerical investigation of the wall pressure fluctuations in channel flows. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 32 , 37-46.	23
Schumann, U. , 1975: Linear stability of finite difference equations for three-dimensional flow problems. <i>J. Comput. Phys.</i> , 18 , 465-470.	33
Schumann, U. , 1975: Subgrid scale model for finite difference simulations of turbulent flows in plane channels and annuli. <i>J. Comput. Phys.</i> , 18 , 376-404.	39
Schumann, U. and J. R. Herring, 1976: Axisymmetric homogeneous turbulence: a comparison of direct spectral simulations with the direct-interaction approximation. <i>J. Fluid Mech.</i> , 76 , 755-782.	69
Schumann, U. and R. A. Sweet, 1976: A direct method for the solution of Poisson's equation with Neumann boundary conditions on a staggered grid of arbitrary size. <i>J. Comput. Phys.</i> , 20 , 171-182.	97
Schumann, U. , 1976: Numerical simulation of the transition from three- to two-dimensional turbulence under a uniform magnetic field. <i>J. Fluid Mech.</i> 74 , 31-58.	109
Schumann, U. , 1977: Realizability of Reynolds-stress turbulence models. <i>Phys. Fluids</i> , 20 , 721-725.	137
Kedziur, F., N. Moussiopoulos, U. Schumann and K. Stölting, 1978: PWR-depressurization and its hydraulic analogy. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 47 , 25-34.	143
Schumann, U. and G. S. Patterson, 1978: Numerical study of pressure and velocity fluctuations in nearly isotropic turbulence. <i>J. Fluid Mech.</i> , 88 , 685-709.	153
Schumann, U. and G. S. Patterson, 1978: Numerical study of the return of axisymmetric turbulence to isotropy. <i>J. Fluid Mech.</i> , 88 , 711-735.	179
Schlechtendahl, E.G., and U. Schumann , 1979: Qualitative and quantitative effects of fluid-structural coupling. <i>Trans. Amer. Nucl. Soc.</i> , 31 , 401-403.	205
Schumann, U. , 1980: Fluid-Struktur-Wechselwirkung des Kernmantels und der Brennstäbe beim Kühlmittelverluststörfall. <i>Atomkernenergie-Kerntechnik</i> , 36 , 305-310.	209
Schumann, U. , 1980: Fast elliptic solvers and three-dimensional fluid-structure interactions in a pressurized water reactor. <i>J. Comput. Phys.</i> , 36 , 93-127.	215
Benner, J. and U. Schumann , 1981: Analytical investigation of a one-dimensional homogenized model for a pressurized water reactor core. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 66 , 413-426.	251

Krieg, R. and <i>U. Schumann</i> , 1981: Zur Kompressibilität und virtuellen Masse bei Blowdown-Beanspruchungen von Reaktordruckbehältereinbauten. <i>Atomkernenergie-Kerntechnik</i> , 39 , 57-63.	265
<i>Schumann, U.</i> , 1981: Virtual density and speed of sound in a fluid-solid mixture with periodic structure. <i>Int. J. Multiphase Flow</i> , 7 , 619-633.	273
<i>Schumann, U.</i> , 1981: Homogenized equations of motion for rod bundles in fluid with periodic structure. <i>Ingenieur-Archiv</i> , 50 , 203-216.	289
Ludwig, A. and <i>U. Schumann</i> , 1982: Fluid-structure analysis for the HDR blowdown and snapback experiments with FLUX. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 70 , 321-333.	303
<i>Schumann, U.</i> , 1982: Impacts and fluid-structure interactions in pressurized water reactor safety analysis. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 69 , 313-326.	317
<i>Schumann, U.</i> and J. Benner, 1982: Direct solution of the discretized Poisson-Neumann problem on a domain composed of rectangles. <i>J. Comput. Phys.</i> , 46 , 1-14.	331
<i>Schumann, U.</i> , 1982: Experimental and computed results for fluid-structure interactions with impacts in the HDR blowdown experiment. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 73 , 303-317.	345



Manfred Reinhardt und Ulrich Schumann

beim Empfang zum Seminar „Luftverkehr und Umwelt“
Hotel Petersberg bei Königswinter
15. 11. 1990

WISSENSCHAFTLICHE
ABHANDLUNGEN

VON

ULRICH SCHUMANN

DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

DRITTER BAND.

Schwerpunkt „**Turbulenz in der Atmosphäre**“
Arbeiten aus den Jahren 1987–1991
am Institut für Physik der Atmosphäre des DLR



OBERPFAFFENHOFEN
Institut für Physik der Atmosphäre
März 2005.

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe aller Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamtwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind all jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollege von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	von Manfred E. Reinhardt	vii
Schumann, U. , 1987: The countergradient heat flux in turbulent stratified flows. <i>Nucl. Engrg. Des.</i> , 100 , 255-262.		1
Gerz, T., U. Schumann , 1987: The pressure-strain correlation of a turbulent homogeneous shear flow under strongly-stable stratification. In: <i>Advances in Turbulence</i> . (Eds. G. Comte.Bellot and J. Mathieu), Springer-Verlag, Berlin, 105-110.		9
Schumann, U., T. Hauf, H. Höller, H. Schmidt and H. Volkert , 1987: A mesoscale model for the simulation of turbulence, clouds and flow over mountains: Formulation and validation examples. <i>Beitr. Phys. Atmosph.</i> , 60 , 413-446.		15
Schumann, U. , 1987: Influence of mesoscale orography on idealized cold fronts. <i>J. Atmos. Sci.</i> , 44 , 3423-3441.		49
Schumann, U. and R. A. Sweet, 1988: Fast Fourier transforms for direct solution of Poisson's equation with staggered boundary conditions. <i>J. Comput. Phys.</i> , 75 , 123-137.		69
Schumann, U. , 1988: Minimum friction velocity and heat transfer in the rough surface layer of a convective boundary layer. <i>Boundary-Layer Meteor.</i> , 44 , 311-326.		85
Gerz, T., U. Schumann and S. E. Elghobashi, 1989: Direct numerical simulation of stratified homogeneous turbulent shear flows. <i>J. Fluid Mech.</i> , 200 , 563-594.		101
Schumann, U. and H. Schmidt, 1989: Heat transfer by thermals in the convective boundary layer. In: <i>Advances in Turbulence</i> , 2 , (Eds. G. Comte.Bellot and J. Mathieu), Springer-Verlag, Berlin, 210-215.		133
Schmidt, H. and U. Schumann , 1989: Coherent structure of the convective boundary layer derived from large-eddy simulations. <i>J. Fluid Mech.</i> , 200 , 511-562.		139
Schumann, U. , 1989: Large-eddy simulation of turbulent diffusion with chemical reactions in the convective boundary layer. <i>Atmosph. Environment</i> , 23 , 1713-1727.		191
Ebert, E. E., U. Schumann and R. B. Stull, 1989: Nonlocal turbulent mixing in the convective boundary layer evaluated from large-eddy simulation. <i>J. Atmos. Sci.</i> , 46 , 2178-2207.		207
Krettenauer, K. and U. Schumann , 1989: Direct numerical simulation of thermal convection over a wavy surface. <i>Meteorol. Atmos. Phys.</i> , 41 , 165-179.		237
Graf, J., D. Paffrath, F.M. Rösler, U. Schumann and W. Seiler, 1990: Experimental and numerical study of the dispersion and transport of automobile exhaust gases from highways. <i>The Science of the Total Environment</i> , 93 , 323-330.		253
Schumann, U. , 1990: Large-eddy simulation of the up-slope boundary layer. <i>Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.</i> , 116 , 637-670.		261
Graf, J. und U. Schumann , 1991: Simulation der konvektiven Grenzschicht im Vergleich mit Flugzeugmessungen beim LOTREX-Experiment. <i>Meteorol. Rdsch.</i> , 43 , 140-148.		295
Schumann, U. and C.-H. Moeng, 1991: Plume budgets in clear and cloudy convective boundary layers. <i>J. Atmos. Sci.</i> , 48 , 1758-1770.		305
Schumann, U. and C.-H. Moeng, 1991: Plume fluxes in clear and cloudy convective boundary layers. <i>J. Atmos. Sci.</i> , 48 , 1746-1757.		319

Moeng, C.-H., and U. Schumann , 1991: Composite structure of plumes in stratus-topped boundary layers. <i>J. Atmos. Sci.</i> , 48 , 2280-2291.	331
Schumann, U. , 1991: Subgrid length-scales for large-eddy simulation of stratified turbulence. <i>Theoret. Comput. Fluid Dynamics</i> , 2 , 279-290.	343
Bakan, S., A. Chlond, U. Cubasch, J. Feichter, H. Graf, H. Grassl, K. Hasselmann, I. Kirchner, M. Latif, E. Roeckner, R. Sausen, U. Schlese, D. Schriever, I. Schult, U. Schumann , F. Sielmann and W. Welke, 1991: Climatic response to smoke from the burning oil wells in Kuwait. <i>Nature</i> , 351 , 367-371.	355
Schumann, U. , 1991: Reply to "Comments on 'Large-eddy simulation of the up-slope boundary layer' by I. Vergeiner. <i>Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.</i> , 117 , 1373-1374.	359
Kaltenbach, H.-J. , T. Gerz and U. Schumann , 1991: Transport of passive scalars in neutrally and stably stratified homogeneous turbulent shear flows. In: <i>Advances in Turbulence</i> , 3 , (Eds. A.V. Johansson, P.H. Alfredsson), Springer-Verlag, Berlin, 327-334.	361
Gerz, T. and U. Schumann , 1991: Direct simulation of homogeneous turbulence and gravity waves in sheared and unsheared stratified flows. <i>Turbulent Shear Flows</i> , 7 , Springer-Verlag, Berlin, 27-45.	369
Schumann, U. , 1991: A simple model of the convective boundary layer over wavy terrain with variable heat flux. <i>Beitr. Phys. Atmosph.</i> , 64 , 169-184.	389
Krettenauer, K. and U. Schumann , 1992: Numerical simulation of turbulent convection over wavy terrain. <i>J. Fluid Mech.</i> , 237 , 261-299.	405
Schumann, U. , 1992: Earth observation with satellites. <i>DLR-Nachrichten</i> , 66 , 14-25.	444

Vorwort

Der vorliegende dritte Band der „Wissenschaftliche Abhandlungen von und mit Ulrich Schumann“, enthält die Veröffentlichungen der Jahre 1982 bis 1992. Er markiert zugleich den Beginn eines neuen Lebensabschnitts für Ulrich Schumann, nämlich den beruflichen Wechsel vom Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK) zum Deutschen Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR; damals noch DFVLR) im Jahre 1982. Von Karlsruhe nach München ist es geographisch nur eine kurze Wegstrecke. In beruflicher Hinsicht aber war der Wechsel von der Reaktortechnik in die Atmosphärenphysik ein ziemlich großer Schritt – eine Art Quantensprung in eine größere räumliche Dimension. Dem promovierten und habilitierten Diplomingenieur machte der Wechsel in die ‚große weite Welt‘ der Atmosphäre kaum Schwierigkeiten hinsichtlich einer hochqualifizierten Nutzung der Grundwerkzeuge von Mathematik, Physik und Chemie. Die neuen Anforderungen beim DLR umfassten eine räumlich diffusere Arbeitsumgebung als die klar definierten räumlich abgegrenzten Einrichtungen der KFK. Für das Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) in Oberpfaffenhofen war und ist nun einmal das Labor die freie Atmosphäre selbst. Dort sind die Beobachtungen, Messungen und Analysen durchzuführen im weit gefassten Bogen von den Mikrostrukturen der Atmosphäre mit ihren festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen über die Mesoskala bis zu globalen Makrostrukturen auf und über unserer Erde bis in den Weltraum hinein.

Ausgewiesen durch beste schulische, akademische und berufliche Zeugnisse einschließlich der *Venia Legendi* für das Fach „Fluid- und Strukturdynamik in der Reaktortechnik“ und mit zahlreichen Veröffentlichungen im Gepäck kam Ulrich Schumann in eine ihm sicher zunächst fremde Umgebung von Flugzeugen, Radar- und Lidargeräten, aber auch Großrechnern. Mit letzteren konnte er gut umgehen, denn in Karlsruhe hatte er sie mit Erfolg für Forschungsaufgaben im Übergangsbereich von Theorie und Anwendung eingesetzt. Einige seiner theoretischen Arbeiten hatten ihn auch in die Nähe meteorologischer Fragestellungen geführt, zu Fragestellungen der Strömungsdynamik, von Grenzschichten und Turbulenz ganz allgemein.

Vielleicht hat ihn diese generelle Thematik und seine eigene wissenschaftliche Neugier veranlasst, in der Mitte der 1970er Jahre für ein Jahr ein „post-doctoral Stipendium“ am National Center for Atmospheric Research (NCAR) in Boulder, Colorado, USA, anzunehmen und damit auch einen Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology zu verbinden. Die ähnlichen Forschungsziele bei NCAR und DLR-IPA mögen ihn bewogen haben, sich dort um die zweite Direktorenstelle zu bewerben, als diese ausgeschrieben war.

Im Bereich der Theoretischen Meteorologie zeichnete sich in der Mitte der 1970er Jahre eine klare Tendenz ab zu mathematisch-meteorologischen Simulationsmodellen in den verschiedenen Skalenbereiche. Diese ging einher mit der ständigen Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Rechenanlagen. Bereits 1973 begannen bei IPA Arbeiten zur numerischen Beschreibung von mikroskaligen Auswirkungen anthropogener Quellen. Unter der Leitung von Prof. Dr. Heinz Fortak, der von 1973 bis 1976 als Direktor dem Institut angehörte, wurden sie verstärkt und versuchsweise für die Planung von Messkampagnen verwendet. Der Aufbau einer eigenen Abteilung für theoretische Meteorologie war damit als zwingende interne Voraussetzung für die auch von außen geforderte notwendige Kopplung zwischen theoretischer und experimenteller Forschung bei IPA eingeleitet.

Hier ist die besondere Mithilfe eines vom DLR-Vorstand 1977 eingesetzten externen „ad-hoc-Beratungsausschusses“ zu erwähnen, der dem Wunsch des Institutes selbst nach einem externen Fachbeirat entsprach. In einer Sitzung im Januar 1978 gab der Ausschuss dann diese Empfehlung:

„Zu der guten experimentellen Ausrichtung des Institutes soll ein übergeordnetes Gesamtkonzept zugunsten der Entwicklung von numerischen Simulationsmodellen der Atmosphäre für den mesoskaligen Bereich (z.B. Alpenvorraum) und deren Verifikation geschaffen werden. Die hierzu bereits vorgesehene theoretische Abteilung soll möglichst rasch ausgebaut werden. Die Beratung des Institutes durch Prof. Dr. Joseph Egger beim Aufbau dieser Abteilung ist in Zusammenarbeit mit seinem Institut für Theoretische Meteorologie der Universität München dringend erforderlich. Dabei soll der vom Institut gewünschte externe Fachbeirat nicht nur als Gutachter, sondern auch als Berater des Institutes verstanden werden.“

Ein wesentliches Ergebnis der Empfehlungen war danach der Vorschlag des DFVLR-Vorstands zur Berufung eines zweiten Direktors an das Institut für Physik der Atmosphäre und die Genehmigung durch den Senat. Die Hauptaufgabe sollte zunächst der Ausbau der theoretischen Arbeitsrichtung darstellen.

Nun möchte ich die Weiterentwicklung kurz schildern und bestätigen, dass der auch von den Mitarbeitern als richtig erkannte und gegenüber dem Vorstand stark vertretene Vorschlag einer kollegialen Leitung mit gut definierten Teilaufgaben und Verantwortungsbereichen sehr geholfen hat, die gewünschte allgemeine Stärkung von IPA innerhalb der DFVLR zu erreichen. Die Entscheidung des DFVLR-Vorstandes sowie des Senats wurde so zum eigentlichen Schlüssel der positiven Entwicklung, die IPA bis zum heutigen Tag genommen hat.

Doch noch stand der wesentliche Schritt aus, nämlich die Gewinnung einer geeigneten Persönlichkeit für die neu ausgeschriebene Stelle. Professor Hugo Jordan, damals DFVLR-Vorstandsvorsitzender, war verantwortlich für die Verhandlungen mit den Bewerbern für die fachliche Besetzung der Institute. Er nahm mich eines Tages beiseite und informierte mich nur kurz mit den Worten: „In Bonn habe ich einem jungen Wissenschaftler aus Karlsruhe zugehört, der über turbulente Strömungen vorgetragen hat; den müssen wir uns einmal ansehen!“ Das tat er auch und so kam Ulrich Schumann auf die Liste der engeren Bewerber. Die Nachricht, dass er schließlich auf den ersten Platz vorgerückt war, erreichte mich Anfang März 1982 in Genf während der ersten Intensivmessphase des Alpenen Experiments (ALPEX). Sie war mit der Bestätigung verbunden, dass Ulrich Schumann zugesagt wird. Diese Entscheidung wurde im Institut mit Erleichterung aufgenommen, da nun der weitere Ausbau der Theorie zügig erfolgen konnte und die Organisationsstruktur durch die Bildung der Theorieabteilung klar definiert war. Natürlich sollten auch von der theoretischen Seite neue Impulse und Anregungen für die Verbesserung und Ergänzung der experimentellen Arbeit gegeben werden.

Damit begann für mich eine über 10 Jahre dauernde gemeinsame Tätigkeit mit Ulrich Schumann in der Leitung von IPA, die von gegenseitigem Vertrauen und persönlichem wie fachlichem Respekt geprägt war. Dieses Verhältnis ist auch heute – nach meinem Ausscheiden wegen Erreichung der Altersgrenze im Jahr 1992 – noch unverändert.

Der vorliegende Band der ausgewählten Abhandlungen von und mit Ulrich Schumann aus der Periode 1982 bis 1992 zeigt zum einen klar seine Handschrift als „Theoretiker“, etwa bei der Behandlung von turbulenten Strömungen an Grenzflächen. Daneben tritt das konsequente Eingehen auf meteorologische Fragestellungen, vor allem in der atmosphärischen Mesoskala, etwa mit der atmosphärischen Grenzschicht unter Einschluss der thermischen Konvektion in allen Formen, wie Fronten, Niederschlag, Vereisung. Die dabei durchzuführenden Forschungsvorhaben wurden nach den nationalen Erfordernissen in Abstimmung mit anderen Organisationen und Einrichtungen jährlich neu definiert, im Forschungsplan der DFVLR zusammengefasst und im Programmbudget fixiert.

Die Weiterentwicklung der Arbeiten des Institutes unter der alleinigen Leitung von Ulrich Schumann von 1992 bis heute ist in den folgenden Bänden der „Abhandlungen“ dokumentiert. Aus der Sicht des ehemaligen Kollegen stellt dies eine Erfolgsgeschichte dar, wie sie nicht oft geschrieben wird. Ausgehend vom Beginn des Berufslebens von Ulrich Schumann im Bereich der Kerntechnik, belegen die sechs Bände vor allem die packende Entwicklung im Fortschritt der meteorologischen Forschung in Deutschland. In wenigen Jahrzehnten wurde der Bogen von der Mikroskala bis zur globalen Skala gespannt. Er reicht inzwischen auch in den erdnahen Weltraum, wo Satelliten mit hochwertigen Instrumenten als Beobachtungs- und Messgeräte positioniert sind. Diese erfassen nicht nur alle wesentlichen physikalischen Parameter von der Erdoberfläche bis an die Obergrenze der Atmosphäre, sondern mittlerweile auch luftchemische Parameter. Sie sind damit heute unverzichtbare Wächter über das Wohl unseres Planeten Erde.

Ulrich Schumann hat beim Errichten dieses Bogens mit dem Institut für Physik der Atmosphäre im DLR viele wesentliche Bausteine geliefert. Dabei ist er nicht nur Theoretiker geblieben, sondern mit den Jahren zu einem universellen Praktiker der Atmosphärenphysik geworden.



Ulrich Schumann

(am 16. März 1995)

WISSENSCHAFTLICHE
ABHANDLUNGEN

VON

ULRICH SCHUMANN

DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

VIERTER BAND.

Schwerpunkt „**Auswirkungen des Flugverkehrs**“
Arbeiten aus den Jahren 1992–1996
am Institut für Physik der Atmosphäre des DLR



OBERPFAFFENHOFEN
Institut für Physik der Atmosphäre
März 2005.

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe all der Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamtwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind all jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollege von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	von Thomas Gerz und Hans Volkert	vii
Shaw, R. H., and U. Schumann , 1992: Large-eddy simulation of turbulent flow above and within a forest. <i>Boundary-Layer Meteorol.</i> , 61 , 47-64.		1
Schumann, U. , 1993: Transport asymmetry in skewed convective circulations. <i>J. Atmos. Sci.</i> , 50 , 116-119.		19
Meischner, P.F., M. Hagen, T. Hauf, D. Heimann, H. Höller, U. Schumann, W. Jaeschke, W. Mauser, H. R. Pruppacher, 1993: The field project CLEOPATRA, May-July 1992 in Southern Germany. <i>Bull. Amer. Meteor. Soc.</i> , 74 , 401-412.		23
Nieuwstadt, F. T. M., P. J. Mason, C. H. Moeng and U. Schumann , 1993: Large-eddy simulation of the convective boundary layer: A comparison of four computer codes. <i>Turbulent Shear Flows</i> , 8 , (Eds.: F. Durst, R. Friedrich, B.E. Launder, F.W. Schmidt, U. Schumann and J.H. Whitelaw), Springer, Berlin, 343-367.		35
Dörnbrack, A., and U. Schumann , 1993: Numerical simulation of turbulent convective flow over wavy terrain. <i>Boundary-Layer Meteorol.</i> , 65 , 323-355.		61
Schumann, U. , H.B. Weyer, und D. Wurzel, 1994: Schadstoffe in der Luftfahrt, <i>DLR-Nachrichten</i> , 74 , 12-19.		95
Andrén, A., A. R. Brown, P. J. Mason, J. Graf, U. Schumann , C.-H. Moeng, F.T.M. Nieuwstadt, 1994: A neutrally stratified boundary-layer: A comparison of four large-eddy simulation computer codes. In: <i>Direct and Large-Eddy Simulation</i> (Eds. P. R. Voke, L. Kleiser and J.-P. Chollet), Kluwer, 167-177.		103
Maass, C., and U. Schumann , 1994: Numerical simulation of turbulent flow over a wavy boundary. In: <i>Direct and Large-Eddy Simulation</i> (Eds. P. R. Voke, L. Kleiser and J.-P. Chollet), Kluwer, Dordrecht, 287-297.		115
Dörnbrack, A., and U. Schumann , 1994: Numerical simulation of breaking gravity waves below a critical level. In: <i>Direct and Large-Eddy Simulation</i> . (Eds. P. R. Voke, L. Kleiser and J.-P. Chollet), Kluwer, Dordrecht, 189-199.		127
Schumann, U. , 1994: Correlations in homogeneous stratified shear turbulence. <i>Acta Mechanica</i> , 4 , 105-111.		139
Schumann, U. , 1994: On the effect of emissions from aircraft engines on the state of the atmosphere. <i>Ann. Geophys.</i> , 12 , 365-384.		147
Schumann, U. , 1994: On relations between constants in homogeneous turbulence models and Heisenberg's spectral model. <i>Beitr. Phys. Atmosph.</i> , 67 , 141-147.		167
Andrén, A., A.R. Brown, J. Graf , P.J. Mason, C.-H. Moeng, F.T.M.Nieuwstadt and U. Schumann , 1994: Large-eddy simulation of a neutrally stratified boundary layer: A comparison of four computer codes. <i>Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.</i> , 120 , 1457-1484.		175
Kaltenbach, H.-J., T. Gerz and U. Schumann , 1994: Large-eddy simulation of homogeneous turbulence and diffusion in stably stratified shear flow. <i>J. Fluid Mech.</i> , 280 , 1-40.		203
Georgii, H. W., P. Meischner and U. Schumann , 1994: Two years past the field phase of CLEOPATRA (Editorial). <i>Beitr. Phys. Atmosph.</i> , 67 , 259-261.		243
Wahner, A., M. A. Geller (lead authors), F. Arnold, W. H. Brune, D. A. Cariolle, A. R. Douglass, C. Johnson, J. A. Pyle, R. Ramarason, D. Rind, F. Rohrer, U. Schumann , A. M. Thomson (co-authors), 1994: Subsonic and supersonic aircraft emissions. Chapter 11 in <i>Scientific Assessment of Ozone Depletion: World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 37</i> , Geneva, 11.1-11.32.		247

Schumann, U. and T. Gerz , 1995: Turbulent mixing in stably stratified shear flows. <i>J. Appl. Met.</i> , 34 , 33-48.	281
Dörnbrack, A. , T. Gerz , and U. Schumann , 1995: Turbulent breaking of overturning gravity waves below a critical level. <i>Appl. Sci. Res.</i> , 54 , 163-176.	297
Busen, R. and U. Schumann , 1995: Visible contrail formation from fuels with different sulfur contents. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 22 , 1357-1360.	311
Schumann, U. , P. Konopka , R. Baumann , R. Busen , T. Gerz , H. Schlager , P. Schulte and H. Volkert , 1995: Estimate of diffusion parameters of aircraft exhaust plumes near the tropopause from nitric oxide and turbulence measurements. <i>J. Geophys. Res.</i> , 100 , 14,147-14,162.	315
Schumann, U. , 1995: Stochastic backscatter of turbulence energy and scalar variance by random subgrid-scale fluxes. <i>Proc. Roy. Soc. Lond., A</i> 451 , 293-318 and 811.	331
Schumann, U. and M. Strietzel , 1995: Parallel solution of tridiagonal systems for the Poisson equation. <i>J. Sci. Comput.</i> , 10 , 181-190.	357
Schumann, U. , 1995: STRATO 2C - A new stratospheric research aircraft under development. <i>Phys. Chem. Earth</i> , 20 , 103-107.	367
Schumann, U. , 1995: Comment on "Determination of the surface sensible heat flux from aircraft measurements". <i>Beitr. Phys. Atmosph.</i> , 68 , 395-396.	373
Schumann, U. , 1996: Direct and large eddy simulations of stratified homogeneous shear flows. <i>Dyn. Atmos. Oceans</i> , 23 , 81-98.	377
Schumann, U. , 1996 : On conditions for contrail formation from aircraft exhausts. <i>Meteorol. Z.</i> , 5 , 4-23.	395

Vorwort

Nach dem ehemaligen IPA-Direktor Manfred Reinhardt im dritten Band meldet sich hier ein kleiner Teil der akademischen Jugend der 1980er Jahre zu Wort, die von Ulrich Schumann eine Menge lernen konnte, zum Beispiel wie man den persönlichen Stand des Wissens erweitert, um schließlich den aktuellen *state of the art* ausreichend gut überschauen zu können.

Thomas Gerz simuliert den lockeren Zungenschlag eines gerade diplomierten Meteorologiestudenten mit Hang zu theoretisch orientierten, aber bitte trockenen Problemstellungen:

„Ein frühes Leitthema der Arbeiten von Ulrich Schumann ist die ‚Turbulenz‘ – sozusagen seine wissenschaftliche Quellregion. Aus ihr entstammt er, aus ihr heraus hat auch seine Tätigkeit als Lehrer und Mentor erste Früchte getragen. War das Thema ‚Turbulenz‘ in Karlsruhe noch kerntechnisch angereichert (z.B. in *Fluid-structure interactions in pressurized water reactor safety analysis*, 1982), so hat es sich in Oberpfaffenhofen ziemlich abrupt in die planetarische Grenzschicht ergossen (z.B. in *Heat transfer in the rough surface layer of a convective boundary layer*, 1988). Anfänglich sehr theoretisch, und zwar mit den Techniken der direkten und der *large-eddy* Simulation (*Direct solution of Poisson's equation*, 1988) und der Entwicklung eines mesoskaligen Vielzweckmodells namens MESOSCOP (*A mesoscale model for the simulation of turbulence, clouds, and flow over mountains*, 1987), wagte sich Schumann im Verbund mit jungen Mitarbeitern auf das Parkett der Meteorologie.

Als Ko-Direktor von IPA und zugleich Leiter der Abteilung „Meteorologische Modelle“ hat er mich 1984 als seinen ersten Doktoranden eingestellt. Dabei vergaß er nicht, mir Grünschnabel einen alten Hasen zur Seite zu setzen: Professor Said Elghobashi, der aus Irvine in Kalifornien kommend, 1985 Gastwissenschaftler am IPA war. Eine derart luxuriöse Betreuung durch gleich zwei Professoren ist wohl nie mehr einem Doktoranden am IPA widerfahren. Ein Aufsatz im *Journal of Fluid Mechanics* war schier unvermeidlich (*Direct numerical simulation of stratified homogeneous turbulent shear flows*, 1989).

Die Vorhaben in der Grenzschichtmeteorologie wurden mit weiteren Doktoranden und Mitarbeitern wie Helmut Schmidt (*Coherent structure of the convective boundary layer*, 1989), Jörg Finger, Kilian Krettenauer (*Thermal convection over a wavy surface*, 1989), Hans-Jakob Kaltenbach (*Large-eddy simulation of ...stably stratified shear flow*, 1994), Carsten Maaß (*...turbulent flow over a wavy boundary*, 1994) immer mutiger. Zusammen mit Jutta Graf unternahm Ulrich Schumann dann Schritte in Richtung Flugzeugmessungen (*Die konvektive Grenzschicht im Vergleich zu Flugzeugmessungen*, 1991) und mit Andreas Dörnbrack in die unbegrenzte freie Atmosphäre (*Numerical simulation of breaking gravity waves below a critical layer*, 1994).

In der zweiten Hälfte der 1990er Jahre verlor Schumanns Wirken mit dem großen Verbundprogramm sowohl des Forschungsministeriums (BMFT) als auch der Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Titel „Schadstoffe in der Luftfahrt“ die allzu einschränkende Bodenhaftung. Sichtbar schwefliges (*Visible contrail formation from fuels with different sulfur contents*, 1995) trat neben Turbulenz in Tropopausennähe (*...diffusion parameters of aircraft exhaust plumes near the tropopause ...*, 1995).“

Hans Volkert versucht einige einschlägige Puzzlestücke aus dem Hintergrundspeicher seines Gedächtnisses zu holen, der nicht immer so zügig zu bedienen ist wie die Speicherverwaltung in MESOSCOP mit den Adressroutinen à la Schumann:

„Sommer 1982 im Besprechungszimmer des Verwaltungsgebäudes: Am Rande einer ersten Besichtigung seiner kommenden Wirkungsstätte begrüßt Ulrich Schumann die schnell zusammengerufenen Mitarbeiter aus Abteilung 1 von IPA. Der damalige Doktorand erinnert sich deutlich an einen offenen Blick durch dünne goldene Brillenrahmen und einen festen Händedruck. Er registriert einen angedeuteten Diener sowie die Wiederholung und die augenscheinliche Speicherung seines Namens.

Januar 1984 auf einer Zugfahrt von Kiel bis Pasing: Bis Hamburg besprach Ulrich Schumann mit seinen kürzlich installierten Post-Doc die für die MESOSCOP-Entwicklung relevanten Lehren aus dem gemeinsam besuchten *workshop* für numerische Mathematik. Auch der Besuch bei Lutz Hasse, der damals die Meteorologie am interdisziplinären Institut für Meereskunde vertrat, wurde nachbereitet. Bei Erreichen der deutschen Mittelgebirge war dann das Konzept einer umfassenden technischen Dokumentation für Lösungsalgorithmen elliptischer Gleichungen für die Druckberechnung in nicht-hydrostatischen Simulationsmodellen festgeschrieben. Was weiter? Ein angewandtes Strategietraining folgte mittels einer improvisierten Schachpartie mit Bleistift und Radiergummi auf kariertem Notizblock – Schumanns Erfahrung hatte sich im fränkischen Jura schließlich durchgesetzt.

Im Laufe des Jahres 1986 in einem IPA-Arbeitszimmer bei Sitzungen am Computer-Terminal zwischen Wetterkartenregalen: Die Übersichtsarbeit zu MESOSCOP (*Schumann et al., 1987*) erforderte weitere Testrechnungen, die kleine Programm-Modifikationen an zahlreichen Stellen nötig machten. Meist griff letztlich der Abteilungsleiter persönlich in die Tasten, um einen angemessenen *speed-up* im Arbeitsfortschritt zu erzielen. Gelegentliche Hinweise auf anscheinend noch vergessene Kleinigkeiten erfuhren eine knappe gedankliche Prüfung und, wenn angezeigt, auch Berücksichtigung.

Am 16. März 1995 in der Oberpfaffenhofener DLR-Kantine: Eine umfangreiche Gratulantschar war Schumanns Einladung in diesen nahe liegenden Raum gefolgt. Am Ende der zahlreichen Darbietungen drückte ein Lobhuder mit Laptop Ulrich Schumann eine jahrhundertalte Bodendruckkarte in die Hand. Er akzeptierte sie mit lächelnder Nachsicht, noch nicht ahnend, dass der Bundesverkehrsminister ihn mehrfach in den wissenschaftlichen Beirat des Deutschen Wetterdienstes schicken würde und dieser ihn dann in das oberste Steuergremium der THORPEX-Initiative.

Im Frühjahr 1998 vor dem alten Seminarraum im ersten Stock des noch nicht renovierten IPA-Gebäudes: ‚Ach wissen Sie, Herr Volkert, 20-30 Flugstunden der *Falcon* bei MAP sollten wir uns im nächsten Jahr schon noch leisten können. Das neue Lasergerät WIND muss zum Einsatz kommen ... und sehen Sie zu, dass die Amerikaner auch etwas bezahlen‘. Dieser knappen Wegweisung beugte sich schließlich auch die *National Science Foundation* 1999, und später weitere Male, weil es so erfolgreich begonnen hatte.

Im Sommer 2003 während mittäglicher Redaktionssitzungen im großen Seminarraum: In kurzer Zeit war der umfassende Bericht für die Institutsüberprüfung im Herbst aus einer Vielzahl heterogener Einzelbeiträge zusammenzustellen und zu homogenisieren. Die gerade aktuelle, vom Direktor selbst zusammenkopierte Fassung wurde an die Wand projiziert und diskutiert. Hier sehe er noch nicht richtig klar, dort sei zu kürzen, hier fehlen noch aussagekräftige Bilder; rasch waren die neuen Hausaufgaben verteilt, anderntags traf man sich wieder und zum allgemeinen Erstaunen stand der umfangreiche Bericht nach einer guten Woche so stabil, dass nur noch wenig redigierender Feinschliff für die endgültige Fassung nötig war.

Was zeigen diese Erinnerungssplitter? Nach meinem Empfinden eine Menge von Eigenschaften, durch deren Kombination sich Ulrich Schumann besonders auszeichnet. Klare Zielvorstellungen; der Wille sich selbst entscheidend einzubringen; die Bereitschaft durch eigenen Arbeitseinsatz ein Beispiel zu setzen; auch kurze Zeitspannen effektiv zu nutzen; wenn nötig schnell zu entscheiden; Mitarbeitern Freiräume zu gewähren; eine Fülle von Erkenntnissen umfassend zu Papier zu bringen. Die vorliegenden Bände enthalten letztlich (nur) die Endergebnisse von hochkomplexen Interaktionsprozessen, für deren Steuerung Ulrich Schumann ganz eigene Mechanismen besitzt und über die Jahre weiterentwickelt hat.“

Beide Schreiber dieser Zeilen empfinden sich als eine randomisierte Stichprobe aus der größeren Menge derer, die mit Ulrich Schumanns Unterstützung am IPA den hochrangigen Satzungsauftrag des DLR e.V. (§1 ‚Zweck des Vereins‘, Satz 2, Buchstabe d) erfüllen halfen, nämlich die *Förderung der Weiterbildung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte*. Sie empfinden sich aus heutiger Sicht dadurch herausgehoben, dass aus der klar befristeten Weiterbildung ein möglicherweise arbeitslebenslanges Lernen am IPA wurde. Sie sind sicher, dass sie auch in den kommenden Jahren von Ulrich Schumann einiges werden lernen können.



Ulrich Schumann

beim IPA Umzugsfest, 17. 6. 1999

WISSENSCHAFTLICHE
ABHANDLUNGEN

VON

ULRICH SCHUMANN

DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

FÜNFTER BAND.

Schwerpunkt „**Von der Physik zur Chemie der Atmosphäre**“
Arbeiten aus den Jahren 1996–2000
am Institut für Physik der Atmosphäre des DLR



OBERPFAFFENHOFEN
Institut für Physik der Atmosphäre
März 2005.

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe aller Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamtwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind all jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollege von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	von Hans Schlager	ix
<i>Schumann, U., J. Ström, R. Busen, R. Baumann, K. Gierens, M. Krautstrunk, F. P. Schröder, and J. Stingl, 1996: In situ observations of particles in jet aircraft exhausts and contrails for different sulfur-containing fuels. <i>J. Geophys. Res.</i>, 101, 6,853-6,869.</i>		
	1	1
<i>Gerz, T. and U. Schumann, 1996: A possible explanation of countergradient fluxes in homogeneous turbulence. <i>Theoret. Comput. Fluid Dynamics</i>, 8, 169-181.</i>		
	19	19
<i>Maß, C. and U. Schumann, 1996: Direct numerical simulation of separated turbulent flow over a wavy boundary. In: Flow simulation with high-performance computers II (edited by E. H. Hirschel), <i>Notes in Numerical Fluid Mechanics</i>, 52, 227-241.</i>		
	33	33
<i>Gierens, K. and U. Schumann, 1996: Colors of contrails from fuels with different sulfur contents. <i>J. Geophys. Res.</i>, 101, 16,731-16,736.</i>		
	49	49
<i>Ponater, M., S. Brinkop, R. Sausen, and U. Schumann, 1996: Simulating the global atmospheric response to aircraft water vapour emissions and contrails: A first approach using a GCM. <i>Ann. Geophys.</i>, 14, 941-960.</i>		
	55	55
<i>Schumann, U., 1996: Comment on "A re-examination of the formation of exhaust condensation trails by jet aircraft" by H.H. Hanson and D.M. Hanson. <i>J. Appl. Meteorol.</i>, 35, 2283-2284.</i>		
	75	75
<i>Kärcher, B., Th. Peter, U. M. Biermann, and U. Schumann, 1996: The initial composition of jet condensation trails. <i>J. Atmos. Sci.</i>, 53, 3066-3083.</i>		
	77	77
<i>Schumann, U., 1997: The impact of nitrogen oxides emissions from aircraft upon the atmosphere at flight altitudes - Results from the AERONOX project. <i>Atmospheric Environment</i>, 31, 1723-1733.</i>		
	95	95
<i>Schumann, U., A. Dörnbrack, T. Dürbeck, and T. Gerz, 1997: Large-eddy simulation of turbulence in the free atmosphere and behind aircraft. <i>Fluid Dyn. Res.</i> 20, 1-10.</i>		
	107	107
<i>Schlager, H., P. Konopka, P. Schulte, U. Schumann, H. Ziereis, F. Arnold, M. Klemm, D., E. Hagen, P. D. Whitefield, J. Ovarlez, 1997: In situ observations of air-traffic emission signatures in the North Atlantic flight corridor. <i>J. Geophys. Res.</i>, 102, 10,739-10,750.</i>		
	117	117
<i>Schulte, P., H. Schlager, H. Ziereis, U. Schumann, S. L. Baughcum, and F. Deidewig, 1997: NO_x emission indices of subsonic long-range jet aircraft at cruise altitude: In situ measurements and predictions. <i>J. Geophys. Res.</i>, 102, 21,431-21,442.</i>		
	129	129
<i>Gierens, K. M., U. Schumann, H. H. J. Smit, M. Helten, and G. Zängl, 1997: Determination of humidity and temperature fluctuations based on MOZAIC data and parametrisation of persistent contrail coverage in general circulation models. <i>Ann. Geophys.</i>, 15, 1057-1066.</i>		
	141	141
<i>Petzold, A., R. Busen, F.P. Schröder, R. Baumann, M. Kuhn, J. Ström, D.E. Hagen, P.D. Whitefield, A. Baumgardner, F. Arnold, S. Borrmann and U. Schumann, 1997: Near-field measurements on contrail properties from fuels with different sulphur content. <i>J. Geophys. Res.</i>, 102, 29,867-29,880.</i>		
	151	151
<i>Schumann, U., 1997: Contrails – a prototype of cirrus cloud studies since 80 years. <i>Meteorol. Zeitschrift, N.F.</i> 6, 304-305.</i>		
	165	165
<i>Curtius, J., B. Sierau, F. Arnold, R. Baumann, R. Busen, P. Schulte and U. Schumann, 1998: First direct sulfuric acid detection in the exhaust plume of a jet aircraft in flight. <i>Geophys. Res. Lett.</i>, 25, 923-926.</i>		
	167	167

Brasseur, G. P., R. A. Cox, D. Hauglustaine, I. Isaksen, J. Lelieveld, D. H. Lister, R. Sausen, U. Schumann , A. Wahner, and P. Wiesen, 1998: European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. <i>Atmospheric Environment</i> , 32 , 2329-2418.	171
Arnold, F., K.-H. Wohlfrom, M. W. Klemm, J. Schneider, K. Gollinger, U. Schumann , and R. Busen, 1998: First gaseous ion composition measurements in the exhaust plume of a jet aircraft in flight: Implications for gaseous sulphuric acid, aerosols, and chemiions. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 25 , 2137-2140.	261
Schröder, F. P., B. Kärcher, A. Petzold, R. Baumann, R. Busen, C. Hoell, U. Schumann , 1998: Ultrafine aerosol particles in aircraft plumes: In situ observations. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 25 , 2789-2792.	265
Arnold, F., Th. Stilp, R. Busen, and U. Schumann , 1998: Jet engine exhaust chemiion measurements: Implications for gaseous SO ₃ and H ₂ SO ₄ . <i>Atmospheric Environment</i> , 32 , 3073-3077.	269
Schumann U. , H. Schlager, F. Arnold, R. Baumann, P. Haschberger and O. Klemm, 1998: Dilution of aircraft exhaust plumes at cruise altitudes. <i>Atmospheric Environment</i> , 32 , 3097-3103.	275
Schumann, U. , 1998: Research on the effects of aircraft and spacecraft upon the atmosphere (Editorial). <i>Atmospheric Environment</i> , 32 , 3065-3066.	283
Kärcher, B., R. Busen, A. Petzold, F.P. Schöder, U. Schumann , and E.J. Jensen, 1998: Physicochemistry of aircraft-generated liquid aerosols, soot, and ice particles. 2. Comparison with observations and sensitivity studies. <i>J. Geophys. Res.</i> , 103 , 17,129-17,147.	285
Danilin, M.Y., D.W. Fahey, U. Schumann , M.J. Prather, J.E. Penner, M.K.W. Ko, D.K. Weisenstein, C.H. Jackman, G. Pitari, I. Köhler, R. Sausen, C.J. Weaver, A.R. Douglass, P.S. Connell, D.E. Kinnison, F.J. Dentener, E.L. Fleming, T.K. Berntsen, and I.S.A. Isaksen, J.M. Haywood, and B. Kärcher, 1998: Aviation fuel tracer simulation: Model intercomparison and implications. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 25 , 3947-3950.	305
Sausen, R., K. Gierens, M. Ponater, and U. Schumann , 1998: A diagnostic study of the global distribution of contrails. Part I: Present day climate. <i>Theor. Appl. Climatol.</i> , 61 , 127-141.	309
Gierens, K., R. Sausen, and U. Schumann , 1999: A diagnostic study of the global coverage by contrails. Part II: Future air traffic scenarios. <i>Theor. Appl. Climatol.</i> , 63 , 1-9.	325
Fahey, D.W., U. Schumann (Coordinating Lead Authors), S. Ackerman, P. Artaxo, O.Boucher, M.Y. Danilin, B.Kärcher, P. Minnis, T. Nakajima, O.B.Toon (Lead Authors), 1999: Aviation-produced aerosols and cloudiness. Chapter 3 in: <i>Aviation and the Global Atmosphere</i> . A Special Report of IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), eds. J. E. Penner, D. H. Lister, D. J. Griggs, D. J. Dokken, and M. McFarland, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 65-120.	335
Lister, D.H., J. E. Penner, and 34 further authors including R. Sausen and U. Schumann : Summary for policy makers. In: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Special Report on <i>Aviation and the Global Atmosphere</i> , edited by J. E. Penner, D. H. Lister, D. J. Griggs, D. J. Dokken, and M. McFarland, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 1-12.	391

Arnold, F., J. Curtius, B. Sierau, V. Bürger, R. Busen, and U. Schumann, 1999: Detection of massive negative chemiions in the exhaust plume of a jet aircraft in flight. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 26 , 1577-1580.	403
Minnis, P., U. Schumann, D. R. Doelling, K. M. Gierens, and D. W. Fahey, 1999: Global distribution of contrail radiative forcing. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 26 , 1853-1856.	407
Meerkötter, R., U. Schumann, D. R. Doelling, P. Minnis, T. Nakajima, and Y. Tsushima, 1999: Radiative forcing by contrails. <i>Ann. Geophys.</i> , 17 , 1080-1094. ...	411
Gierens, K., U. Schumann, M. Helten, H. Smit, and A. Marengo, 1999: A distribution law for relative humidity in the upper troposphere and lower stratosphere derived from three years of MOZAIC measurements. <i>Ann. Geophys.</i> , 17 , 1218-1226.	427
Schlager, H., P. Schulte, F. Flato, F. Slemr, P. van Velthoven, H. Ziereis, and U. Schumann, 1999: Regional nitric oxides enhancements in the North Atlantic flight corridor observed and modeled during POLINAT 2 - a case study. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 26 , 3061-3064.	437
Helten, M., H. G. J. Smit, D. Kley, J. Ovarlez, H. Schlager, R. Baumann, U. Schumann, P. Nedelec, and A. Marengo, 1999: In-flight comparison of MOZAIC and POLINAT water vapor measurements. <i>J. Geophys. Res.</i> , 104 , 26,087-26,096.	441
Tremmel, H. G. and U. Schumann, 1999: Model simulations of fuel sulfur conversion efficiencies in an aircraft engine: Dependence on reaction rate constants and initial species mixing ratios. <i>Aerosp. Sci. Technol.</i> , 3 , 417-430.	451
Schumann, U., 1999: Wie stark beeinflussen die Emissionen des Luftverkehrs Ozon und Klima? <i>GAIA</i> , 8 , 19-27.	465
Sausen, R. and U. Schumann, 2000: Estimates of the climate response to aircraft CO ₂ and NO _x emissions scenarios. <i>Climate Change</i> , 44 , 27-58.	475

Vorwort

Dieser Band beinhaltet Arbeiten von Ulrich Schumann aus den Jahren 1996–2000. In diesem Zeitraum wurden die experimentellen Arbeiten im Institut von ihm ganz besonders gefördert. Dabei war Ulrich Schumann Ideengeber und Initiator von umfangreichen Feldexperimenten zur Untersuchung der Auswirkungen des Flugverkehrs auf die Atmosphäre. Dieses komplexe Thema erforderte Untersuchungen in einem sehr breiten Spektrum von Disziplinen der Atmosphärenforschung wie Dynamik und Turbulenz, Spurengasquellen und -chemie sowie Aerosol- und Wolkenphysik.

Die zu betrachtenden Skalen reichten von der Abgasfahne eines Flugzeuges bis zu Klimaänderungen auf globaler Skala. Im Zuge dieser Forschung wurde Ulrich Schumann zu einem anerkannten Generalisten der Atmosphärenphysik und -chemie. Nationale und internationale Verbundprojekte zur Umweltauswirkung des Flugverkehrs wurden von ihm koordiniert, etwa der DFG-Schwerpunkt „*Grundlagen der Auswirkungen der Luft- und Raumfahrt auf die Atmosphäre*“, das BMBF-Verbundprogramm „*Schadstoffe in der Luftfahrt*“, oder die EU-Projekte „*The Impact of NO_x Emissions from Aircraft upon the Atmosphere at Flight Altitudes 8-15 km*“ und „*Pollution from Aircraft Emissions in the North Atlantic Flight Corridor*“ (POLINAT-1 und POLINAT-2).

„Flugzeugmessungen müssen so ausgelegt sein, dass sie möglichst unmittelbar Antworten auf die offenen Fragen geben“ – für Ulrich Schumann die Prämisse für erfolgreiche Flugexperimente. Beispiele dafür sind die Untersuchungen der Partikelbildung im Abgas von Flugzeugen für unterschiedliche Schwefelgehalte im Kerosin (Schumann *et al.*, 1996; Petzold *et al.*, 1997; Arnold *et al.*, 1998; Curtius *et al.*, 1998), die Messungen zur Ausbreitung und Vermischung von Flugzeugabgasfahnen in Reiseflughöhen (Schumann *et al.*, 1995; Schlager *et al.*, 1997; Schumann *et al.*, 1998) und die in situ Bestimmung spezifischer Stickoxidemissionen von ausgewählten Flugzeug/Triebwerkskombinationen im Vergleich zu Emissionsmodellen (Schulte *et al.*, 1997). Die letztgenannten Messungen fanden überwiegend von Shannon in Irland aus statt, wo ausgewählte Abgasfahnen von Linienflugzeugen am Ende ihres Fluges über den Nordatlantik vermessen wurden.

Ich kann mich noch gut an eine spannende Nacht im Flugkontrollzentrum in Shannon bei der POLINAT-Kampagne erinnern, in der Ulrich Schumann und ich die Messungen mit dem Forschungsflugzeug Falcon koordinierten. Nachdem die Falcon in den frühen Morgenstunden erfolgreich im Abgasstrahl einer aus den USA kommenden Lufthansa-Maschine gemessen hatte, zögerte Ulrich Schumann nicht, um sechs Uhr morgens bei dem Umweltbeauftragten der Lufthansa zu Hause anzurufen, um die Entnahme einer Kerosinprobe von dem betreffenden Flugzeug bei der Landung in Frankfurt zu veranlassen (übrigens war Herr Walle nicht daheim und seine Ehefrau musste uns helfen).

Die internationale Anerkennung, die Ulrich Schumann für seine Arbeiten auf diesem Forschungsgebiet zuteil wurde, wird auch daran deutlich, dass er von der Europäischen Kommission und dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gebeten wurde, bei zusammenfassenden Bewertungen der Umweltauswirkungen des Luftverkehrs als einer der Hauptautoren zu fungieren (Brasseur *et al.*, 1998; Fahey and Schumann, 1999).

Oberpfaffenhofen, im Februar 2005

Hans Schlager



Ulrich Schumann

(etwa 2003)

WISSENSCHAFTLICHE
ABHANDLUNGEN

VON

ULRICH SCHUMANN

DIREKTOR am Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) im
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
PROFESSOR am Meteorologischen Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität München

SECHSTER BAND.

Schwerpunkt „**Messkampagnen rund um den Globus**“
Arbeiten aus den Jahren 2000–2004
am Institut für Physik der Atmosphäre des DLR



OBERPFAFFENHOFEN
Institut für Physik der Atmosphäre
März 2005.

vorab und nebenbei

Ulrich Schumann begeht am 16. März 2005 seinen 60. Geburtstag. Die Mitarbeiter des Instituts für Physik der Atmosphäre (IPA) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Oberpfaffenhofen schenken ihm, ihrem Direktor, zu diesem Anlass eine solide, mehrbändige Ausgabe aller Veröffentlichungen, an denen er als Allein-, Erst- und Ko-Autor seit 1973 beteiligt war – eine Festschrift ganz eigener Art. Sie folgen damit einem Wunsch des Jubilars.

Titel und Erscheinungsform des Gesamtwerks sind den „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ von Hermann von Helmholtz nachempfunden, die in drei wuchtigen Bänden zwischen 1881 und 1895 bei dem renommierten Verlag Julius Barth in Leipzig erschienen sind. Helmholtz (1821-1894) war der herausragende deutsche Physiker des 19. Jahrhunderts. Er beteiligte sich maßgeblich an der Gründung der Technischen Hochschule in (Berlin-)Charlottenburg, der heutigen Technischen Universität Berlin. Dort hat Ulrich Schumann von 1964 bis 1969 während des Studiums zum Diplom-Ingenieur des Maschinenbaus seine akademische Grundausbildung erhalten. Seit 1995 dient Helmholtz der Gemeinschaft deutscher Forschungszentren als Namenspatron. Das DLR hat die meisten Mitarbeiter im Kreis der 15 HGF-Zentren, und Ulrich Schumann gehört seit 1982 zu seinen leitenden Angestellten.

Die hier aufgeführten Arbeiten enthalten Schumanns Dissertation und Habilitationsschrift (Band 1) und die fast ausschließlich in begutachteten Fachzeitschriften erschienenen Originalarbeiten aus seiner Zeit am Kernforschungszentrum Karlsruhe (Band 2) und am IPA (Bände 3-6). Fotos gegenüber einigen der Innentitel zeigen den Jubilar in den verschiedenen Abschnitten seines Berufslebens. In den Inhaltsverzeichnissen der Einzelbände sind alle jene Koautoren kursiv gesetzt, die während der Zusammenarbeit Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler am IPA waren. Ihre große Zahl und häufige Wiederholung belegen eindrucksvoll die Weite und Dichte des heimischen wissenschaftlichen Netzwerks, das Ulrich Schumann zusammen mit den Kollegen geschaffen hat. Alle anderen Koautoren geben Zeugnis von den engen Verflechtungen der Schumannschen Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene. In Vorworten zu den Bänden 3-6 skizzieren der Direktorenkollektive von 1982-1992, Manfred Reinhardt, und vier IPA Mitarbeiter ihre persönliche Sichtweise der Zusammenarbeit.

Jana Freund bewältigte mit Ausdauer und Genauigkeit die technische Umsetzung der Originalarbeiten auf moderne Datenträger, die diesem Sonderabdruck zu Grunde liegt. Die notwendigerweise übernommene, erhebliche Variabilität des Erscheinungsbilds zeigt *en passant* auch die rasante Entwicklung der Art und Weise, wie wissenschaftliche Ergebnisse in den vergangenen vier Jahrzehnten dokumentiert wurden. Ute Löb erstellte mit kritischem Auge die vereinheitlichten Inhaltsverzeichnisse. Winfried Beer betreute routiniert die Bearbeitung der Fotos und den beidseitigen Druck. Buchbindermeister Nie aus Inning besorgte den repräsentativen Einband.

Die Mitarbeiter des Instituts gratulieren ihrem Direktor herzlich zur Vollendung des sechsten Lebensjahrzehnts. Sie danken ihm für seinen jahrelangen hohen Arbeitseinsatz für das Institut, von dem sie alle in der einen oder anderen Weise profitieren, und sie wünschen ihm weiterhin viel Schaffenskraft für neue Arbeiten, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Forschungsflugzeug HALO, das kürzlich für die Atmosphärenforschung in Auftrag gegeben worden ist – nicht zuletzt auf das beharrliche Betreiben von Ulrich Schumann.

Reinhold Busen und Hans Volkert

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	von Reinhold Busen	ix
Schumann, U., H. Schlager , F. Arnold, J. Ovarlez, H. Kelder, Ø. Hov, G. Hayman, I. S. A. Isaksen, J. Staehelin, and P. D. Whitefield, 2000: Pollution from aircraft emissions in the North Atlantic flight corridor: Overview on the POLINAT projects. <i>J. Geophys. Res.</i> , 105 , 3605-3631.		1
Gierens, K., U. Schumann , M. Helten, H. Smit, and P-H. Wang, 2000: Ice-supersaturate regions and subvisible cirrus in the northern midlatitude upper troposphere. <i>J. Geophys. Res.</i> , 105 , 22,743-22,753.		29
Schumann, U. , 2000: Influence of propulsion efficiency on contrail formation. <i>Aerosp. Sci. Technol.</i> , 4 , 391-401.		41
Schumann, U., R. Busen , and M. Plohr, 2000: Experimental test of the influence of propulsion efficiency on contrail formation. <i>J. Aircraft</i> , 37 , 1083-1087.		53
Jensen, E. J., O. B. Toon, S. A. Vay, J. Ovarlez, R. May, T. P. Bui, C. H. Twohy, B. W. Gandrud, R. F. Pueschel, and U. Schumann , 2001: Prevalence of ice supersaturated regions in the upper troposphere: Implications for optically thin ice cloud formation. <i>J. Geophys. Res.</i> , 106 , 17253-17266.		59
Brunner, D., J. Staehelin, D. Jeker, H. Wernli, and U. Schumann , 2001: Nitrogen oxides and ozone in the tropopause region of the Northern Hemisphere: Measurements from commercial aircraft in 1995/1996 and 1997. <i>J. Geophys. Res.</i> , 106 , 27673-27699.		73
Schumann, U. , J. Ström, F. Arnold, T. K. Berntsen, P. M. de F. Forster, J.-F. Gayet, and D. Hauglustaine, 2001: Aviation impact on atmospheric composition and climate. In: European Research in the Stratosphere 1996-2000, Chapter 7, report EUR 19867 , European Commission, Brussels 257-307.		101
Schumann, U. , 2002: Aircraft Emissions. <i>Encyclopedia of Global Environmental Change</i> , Wiley, 3 , 178-186.		153
Lynch, D. K., K. Sassen, A. Del Genio, A. Heymsfield, P. Minnis, M. Platt, M. Quante, U. Schumann , and H. Sundqvist, 2002: Cirrus: The Future. In: D. K. Lynch, K. Sassen, D. O'C. Starr, and G. Stephens (Eds.): <i>Cirrus</i> . Oxford Univ. Press, 449-455.		163
Schumann, U. , 2002: Contrail Cirrus. In: D. K. Lynch, K. Sassen, D. O'C. Starr, and G. Stephens (Eds.): <i>Cirrus</i> , Oxford Univ. Press, 231-255.		171
Schumann, U. , F. Arnold, R. Busen , J. Curtius, B. Kärcher , A. Kiendler, A. Petzold , H. Schlager , F. Schröder , K.-H. Wohlfrom, 2002: Influence of fuel sulphur on the composition of aircraft exhaust plumes: The experiments SULFUR 1-7. <i>J. Geophys. Res.</i> , 107 , DOI: 10.1029/2001JD000813, AAC 2, 1-27.		197
Starik, A. M., A. M. Savel'ev, N. S. Titova, and U. Schumann , 2002: Modeling of sulfur gases and chemiions in aircraft engines. <i>Aerosp. Sci. Techn.</i> , 6 , 63-81.		225
Huntrieser, H. , C. Feigl , H. Schlager , F. Schröder , C. Gerbig, P. van Velthoven, F. Flatøy, C. Théry, A. Petzold , H. Höller , and U. Schumann , 2002: Airborne measurements of NO _x , tracer species and small particles during the European Lightning Nitrogen Oxides Experiment. <i>J. Geophys. Res.</i> , 107 , DOI: 10.1029/2000JD000209, ACH 5, 1-24.		245
Meyer, R. , H. Mannstein , R. Meerkötter , U. Schumann , and P. Wendling , 2002: Regional radiative forcing by line-shaped contrails derived from satellite data. <i>J. Geophys. Res.</i> , 107 , DOI: 10.1029/2001JD000426, ACL 17, 1-15.		271
Schumann, U. , A. Dörnbrack und B. Mayer , 2002: Cloud-shadow effects on the structure of the convective boundary layer. <i>Meteorol. Z.</i> , 11 , 285-294.		289

Gayet, J.-F., F. Auriol, A. Minikin, J. Ström, M. Seifert, R. Krejci, A. Petzold, G. Febvre, and U. Schumann, 2002: Quantitative measurement of the microphysical and optical properties of cirrus clouds with four different in situ probes: Evidence of small ice crystals. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 29 , 2230, DOI: 10.1029/2001GL014342, 1-4.	299
Ovarlez, J., J.-F. Gayet, K. Gierens, J. Ström, H. Ovarlez, F. Auriol, R. Busen, and U. Schumann, 2002: Water vapour measurements inside cirrus clouds in Northern and Southern hemispheres during INCA. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 29 , 1813, DOI: 10.1029/2001GL014440, 1-4.	303
Birner, T., A. Dörnbrack, and U. Schumann, 2002: How sharp is the tropopause at midlatitudes? <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 29 , 1700, DOI: 10.1029/2002GL015142, 1-4.	307
Minikin, A., A. Petzold, J. Ström, R. Krejci, M. Seifert, P. van Velthoven, H. Schlager, and U. Schumann, 2003: Aircraft observations of the upper tropospheric fine particle aerosol in the Northern and Southern Hemispheres at midlatitudes. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 30 , 1503, DOI: 10.1029/2002GL016458, 1-4.	311
Baehr, J., H. Schlager, H. Ziereis, P. Stock, P. van Velthoven, R. Busen, J. Ström, and U. Schumann, 2003: Aircraft observations of NO, NO _y , CO, and O ₃ in the upper troposphere from 60°N to 60°S. Interhemispheric differences at midlatitudes. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 30 , 1598, DOI: 10.1029/2003GL016935, 1-4.	315
Seifert, M., J. Ström, R. Krejci, A. Minikin, A. Petzold, J.-F. Gayet, U. Schumann, and J. Ovarlez, 2003: In-situ observations of aerosol particles remaining from evaporated cirrus crystals: Comparing clean and polluted air masses. <i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 3 , 1037–1049.	319
Ström, J., M. Seifert, B. Kärcher, J. Ovarlez, A. Minikin, J. F. Gayet, R. Krejci, A. Petzold, F. Auriol, W. Haag, R. Busen, U. Schumann, and H. C. Hansson, 2003: Cirrus cloud occurrence as function of ambient relative humidity: A comparison of observations from the Southern and Northern Hemisphere midlatitudes obtained during the INCA experiment. <i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 3 , 1807-1816.	333
Wilson, C.W., A. Petzold, S. Nyeki, U. Schumann, and R. Zellner, 2004: Measurement and prediction of emissions of aerosols and gaseous precursors from gas turbine engines (PartEmis): An overview. <i>Aerosp. Sci. Techn.</i> , 8 , 131-143	343
Sorokin, A., E. Katragkou, F. Arnold, R. Busen, and U. Schumann, 2004: Gaseous SO ₃ and H ₂ SO ₄ in the exhaust of an aircraft gas turbine engine: measurements by CIMS and implications for fuel sulfur conversion to sulfur (VI) and conversion of SO ₃ to H ₂ SO ₄ . <i>Atmospheric Environment</i> , 38 , 449-456.	357
Starik, A. M., A. M. Savel'ev, N. S. Titiva, E.E. Loukhovitskaya, and U. Schuman, 2004: Effect of aerosol precursors from gas turbine engines on the volatile sulfate aerosols and ion clusters formation in aircraft plumes. <i>Phys. Chem. Chem. Phys.</i> , 6 , 3426-3436.	365
Ziereis, H., A. Minikin, H. Schlager, J. F. Gayet, F. Auriol, P. Stock, J. Baehr, A. Petzold, U. Schumann, A. Weinheimer, B. Ridley, and J. Ström, 2004: Uptake of reactive nitrogen on cirrus cloud particles during INCA. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 31 , L05115, DOI: 10.1029/2003GL018794, 1-4.	377
Seifert, M., J. Ström, R. Krejci, A. Minikin, A. Petzold, J.-F. Gayet, H. Schlager, H. Ziereis, U. Schumann, and J. Ovarlez, 2004: Aerosol-cirrus interactions: A number based phenomenon at all? <i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 4 , 293-305.	381

Seifert, M., J. Ström, R. Krejci, A. Minikin, A. Petzold, J.-F. Gayet, H. Schlager, H. Ziereis, U. Schumann, and J. Ovarlez, 2004.: Thermal stability analysis of particles incorporated in cirrus crystals and of non-activated particles in between the cirrus crystals: Comparing clean and polluted air masses. <i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 4 , 1343-1353.	395
Gayet, J.-F., J. Ovarlez, V. Shcherbakov, J. Ström, U. Schumann, A. Minikin, F. Auriol, A. Petzold, M. Monier, 2004: Cirrus cloud microphysical and optical properties at southern and northern midlatitudes during the INCA experiment. <i>J. Geophys. Res.</i> , 109 , D20206, DOI: 10.1029/2004JD004803, 1-13. ...	407

Vorwort

Dieser sechste Band der ‚Wissenschaftlichen Abhandlungen‘ zum Thema ‚Messkampagnen rund um den Globus‘ enthält Publikationen aus den Jahren 2000 bis 2004. Dazu gehören ein Teil der Arbeiten, die ab 1996 theoretische und experimentelle Erkenntnisse hinsichtlich Kondensstreifen beschreiben und die am Ende im Jahr 2002 in einer zusammenfassenden Übersichtsarbeit münden (*Schumann et al., 2002: Influence of fuel sulfur on the composition of aircraft exhaust plumes: The experiments SULFUR 1-7*).

Wenn man die Arbeiten in der Reihenfolge ihres Erscheinens betrachtet, lässt sich der Wissensgewinn hinsichtlich der Kondensstreifen in dieser Zeitspanne gut erkennen: Nach ersten Flugmessungen (*Busen und Schumann, 1995*) und der Erweiterung des Schmidt-Appleman-Kriteriums um die ‚*overall propulsion efficiency η* ‘ (*Schumann, 1996*; beide Arbeiten in Band 4), wurde eine Serie von sechs weiteren Experimenten gestartet, die sich zum Teil abenteuerlich gestalteten.

Verschiedene Flugzeugtypen wurden mit Kerosin betankt, das im Schwefelgehalt von nahezu schwefelfrei bis hin zur Anreicherung über die gesetzliche Obergrenze hinaus reichte. Neben Oberpfaffenhofen fanden solche Betankungen auch an den Flughäfen in München und Frankfurt statt, und manchen Kollegen hat das Dibutylsulfid, das zur Schwefelanreicherung verwendet wurde, im wahrsten Sinne des Wortes ‚gestunken‘.

Das Testflugzeug *ATTAS* wurde bis zum *flight level 300* hinaufgeschickt, um dort Kondensstreifen zu produzieren, für weitere Messungen an den Triebwerken dieses Flugzeugs wurden Bodentests durchgeführt. Auch das Instrumentarium an Bord der *Falcon* wuchs ständig an, von Photo- und Videokamera beim ersten Flugversuch bis zur ausgefeilten Analytik auf den späteren Flügen. Kollegen aus dem In- und Ausland beteiligten sich gern und zahlreich an diesen Experimenten (u.a. F. Arnold, D.E.Hagen, P.D. Whitefield, P. Minnis, C. Brock, J. Ovarlez, J. Ström). Dazu kamen viele Kollegen, die zur Interpretation der Messdaten wichtige Beiträge lieferten.

Auch die Piloten lernten ständig dazu: Nach anfänglichen vorsichtigen Annäherungen an Kondensstreifen im Flugkorridor wagten sie sich später, nach der entsprechenden numerischen Beschreibung der gefürchteten Wirbel, auf weniger als 100 Meter an die Triebwerke des voraus fliegenden Flugzeugs heran.

Vieles hat man aus diesen Experimenten und deren Auswertung gelernt: Die thermodynamischen Bildungsmechanismen für Kondensstreifen lassen sich erklären, die Rußemission und die Konversionsrate des Treibstoffschwefels in Schwefelsäure können recht genau eingegrenzt werden, und der Einfluss von Ruß, Kondensationskernen und kondensierbaren Gasen auf die Bildung von Kondensstreifen und deren Eigenschaften ist weitgehend verstanden.

Das letzte Experiment *SULFUR 7* hat den Kreis geschlossen und eines der ersten theoretischen Erkenntnisse letztendlich experimentell überprüft, nämlich den Einfluss der ‚*overall propulsion efficiency η* ‘. Am 15. September 1999 starteten eine *Boeing-707* in Köln, ein *Airbus-340* in Frankfurt, und die *DLR-Falcon* in Oberpfaffenhofen, um in einem langsamen, synchron durchgeführten Aufstieg über Süddeutschland nachzuweisen, dass deutliche Unterschiede in der Triebwerkseffizienz zum Einsetzen der Kondensstreifenbildung in erkennbar unterschiedlichen Flughöhen führen.

Dieses Experiment war auch deshalb bemerkenswert, weil an diesem Tag Ulrich Schumann erstmals als Missionswissenschaftler mit an Bord der *Falcon* war. Er erlebte hautnah, auf wie engem Raum dort gearbeitet werden muss. Die direkte Bestätigung der in seiner Arbeit aus dem Jahre 1996 dargelegten Zusammenhänge mögen einer der Höhepunkte seines Wissenschaftlerlebens gewesen sein. Auch die Medien zeigten Interesse und befragten Ulrich Schumann im Cockpit sitzend gleich nach der Ladung am Heimatflughafen in Oberpfaffenhofen.

Zum Schluss noch einige Anmerkungen zu den weltweiten Aktivitäten „rund um den Globus“. Die Dienstreisen von Ulrich Schumann führen ihn schon seit langen Jahren zu den entlegensten Konferenzplätzen überall in der Welt. Flugzeugmessungen außerhalb von Europa in der Atmosphäre über Südamerika wurden dagegen zum ersten Mal im April 2000 durchgeführt. Im Rahmen des Projekts INCA musste es für die *Falcon* dann auch gleich der südlichste Punkt sein: Punta Arenas. Die wissenschaftliche Ernte dieser Pioniermessungen, bei denen erstmals extrem saubere Luftmassen der Südhalbkugel deutlich verschmutzten Luftmassen über Schottland gegenüber gestellt wurden, war entsprechend groß: Insgesamt zehn Publikationen zu diesem Experiment erschienen in den letzten drei Jahren.

Und wie geht es weiter? Das Experiment TROCCINOX in Brasilien ist gerade sehr erfolgreich beendet. Im November 2005 wird die *Falcon* nach Australien entsandt. Und *HALO* steht vor der Tür, ein Flugzeug speziell zugeschnitten für weltweite Messungen. Man kann also schon jetzt gespannt sein auf die zukünftigen Veröffentlichungen von und mit Ulrich Schumann, die dann vielleicht zu seinem 65. Geburtstag in einem Ergänzungsband zusammengefasst werden.

Oberpfaffenhofen, im Februar 2005

Reinhold Busen



*Ganz entspannt sitzt **Ulrich Schumann** inmitten von neunundneunzig Mitarbeitern des Instituts für Physik der Atmosphäre - Komposit aus einer doppelten Probenahme im September 2003 vor dem Haupteingang der gemeinsamen Arbeitsstätte.*