Blochincev, Gutin, Rimskij-Korsakov – die russische Aeroakustik in der Mitte des 20. Jahrhunderts

Peter Költzsch
(ehemals) TU Dresden, E-Mail: peter@koeltzsch.com

Einleitung

Wenn man heute auf die Geschichte der Aeroakustik im 20. Jahrhundert zurückblickt, dann wird diese meistens so dargestellt, dass alles mit der berühmten Arbeit von Lighthill 1952/1954 begann und sich daran das sog. „Goldene Zeitalter der Aeroakustik“ anschloss. Vorher seien zwar einige Arbeiten zum Flugzeuglärm gewesen, aber meist „nur“ empirische Arbeiten (ausführlich in [12]).

Natürlich gab es Vorgänger zur goldenen Ära, so z. B. Lord Rayleigh (John William Strutt) (1842 – 1919) mit der inhomogenen Wellengleichung, mit den Multipolen und mit seinen Berechnungen zur akustischen Strömung sowie Horace Lamb (1849 – 1934) mit der Äquivalenz zwischen Wechselkräften und der Dipolstärke sowie mit der „Entdeckung“ des „Lamb“-Vektors (auch wenn Helmholtz diesen wahrscheinlich sehr viel früher gefunden hatte).

Rückblickend vom Erkenntnisstand zu Beginn des 21. Jahrhunderts aus muss man allerdings feststellen, dass **vor** dem „Goldenen Zeitalter“ von Lighthill und Nachfolgern und **nach** den Arbeiten von Rayleigh und Lamb auch von russischen Wissenschaftlern prinzipielle Aspekte einer Theorie der Strömungsakustik geschaffen worden sind. Wer also sind diese Hauptvertreter der russischen Aeroakustik?

1934 Andrejev, N. N. (1880 – 1970)
1936 Gutin, L. Ja. (von? bis?)
1939 Nepomnjaščij, E. A. (von? bis?)
1942 Judin, J. J. (1914 – 1992)
1946 Blochincev, D. I. (1908 – 1979)
1967 Rimskij-Korsakov, A. V. (1910 - 2002)

Und wenn man das für die Aeroakustik relevante Energiespektrum der Turbulenz mit betrachtet, dann müssen

1941 Kolmogorov, A. N. (1903 – 1987)
1941 Obuchov, A. M. (1918 – 1989)
erwähnt werden. (Die Jahreszahlen beziehen sich auf das Erscheinen der ersten bzw. wichtigsten Publikation.)

Der folgende Vortrag befasst sich mit diesen russischen Wissenschaftlern und auch mit der Frage, wie mit einigen ihrer Erkenntnisse später von den Wissenschaftlern des „Goldenen Zeitalters“ umgegangen worden ist.

Beitrag russischer Wissenschaftler zur Aeroakustik

• Nikolaj Nikolajevič Andrejev (1880 – 1970)

Andrejev war ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften (also ein „Akademik“), viele Jahre Chefredakteur der Fachzeitschrift „Akustičeskij Žurnal“ (engl. Übersetzung: „Soviet Physics–Acoustics“).

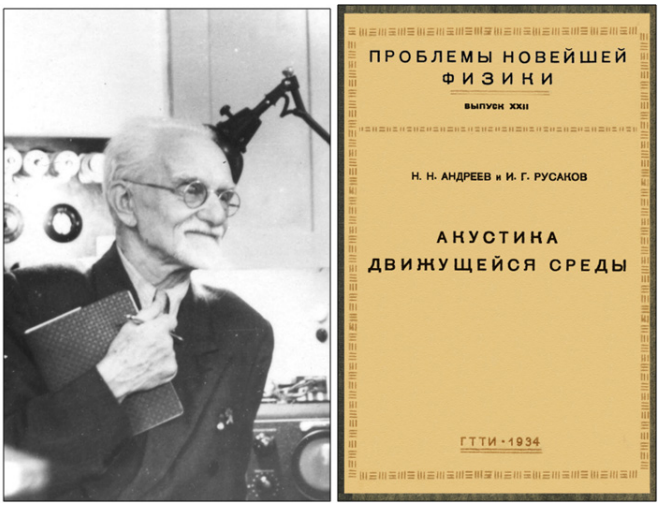

Abbildung 1: Prof. Nikolai N. Andrejev in den 1950-er Jahren, im Institut für Musikinstrumentenbau in Zwota (Vogtland); Quelle: Archiv Meinel (mit freundlicher Genehmigung)
Titelseite der Abhandlung von N. N. Andrejev/I. G. Rusakov [1]

Nach ihm ist heute das Akustische Institut der Akademie der Wissenschaften Russlands benannt.

Andrejev veröffentlichte 1934, gemeinsam mit I. G. Rusakov, die Abhandlung „Akustik eines strömenden Mediums“. Darin ist zum ersten Mal eine Theorie der Schallausbreitung in bewegten Medien dargestellt worden. Dabei wurde eine konvektive Wellengleichung aus den Grundgleichungen der Aerodynamik mithilfe der Methode der kleinen Störungen abgeleitet.

• L. Ja. Gutin (von? bis?)

Zu diesem russischen Wissenschaftler konnten keine biographischen Daten ermittelt werden, auch nicht auf russischen Web-Seiten. (Nach der Eingabe von „Gutin“ wurde bei Google rückgefragt: *„Meinten Sie Putin?“*) Nach Gutin ist der tonale Schall eines rotierenden Propellers benannt worden: „zvuk Gutina“, „Gutin sound“, „Gutin noise“. Gutin hat 1936 die erste grundlegende wissenschaftliche Arbeit zum Propellerschall publiziert: „Über das Schallfeld einer rotierenden Luftschraube“, 1948 erschien die englische Übersetzung [2]. Gutin erkannte den Dipolcharakter des tonalen Propellerschalls und berechnete diesen exakt aus den Strömungswechselkräften. Der Vergleich der Berechnungen mit experimentellen Ergebnissen zeigt zufriedenstellende Übereinstimmungen.

• Jevgenij Jakovlevič Judin (1914 – 1992).

Judin begann 1939 am Zentralen Aero- und Hydrodynamischen Institut (dem berühmten CAGI) unter der Betreuung von G. N. Abramovič zu arbeiten. Judin promovierte 1942 in Novosibirsk mit einer Arbeit über den

Lärm von Ventilatoren. In den Folgejahren erschienen zahlreiche Arbeiten von Judin, die sich insbesondere mit dem Wirbellärm von Strömungsmaschinen mit rotierenden Gittern beschäftigten. Judin war dann später Professor und Inhaber des Lehrstuhls für Arbeitsschutz an der Technischen Hochschule "Bauman" in Moskau, das ist die heutige Staatliche Technische Universität Moskau „N. E. Bauman“. Er hat an dieser Hochschule ein akustisches Labor aufgebaut. Er leitete den Lehrstuhl für Arbeitsschutz von 1967 – 1975. Judin starb 1992.

Von ihm sind mehrere Bücher zur Akustik herausgegeben worden, bei denen er nicht nur Herausgeber war, sondern in starkem Maße auch selbst fachlich mitwirkte:

- 1964 Lärmbekämpfung
- 1974 Projektierungshandbuch: Lärmschutz
- 1985 Handbuch: Überwachung des Industrielärms
- 1985 Lärmbekämpfung in der Industrie

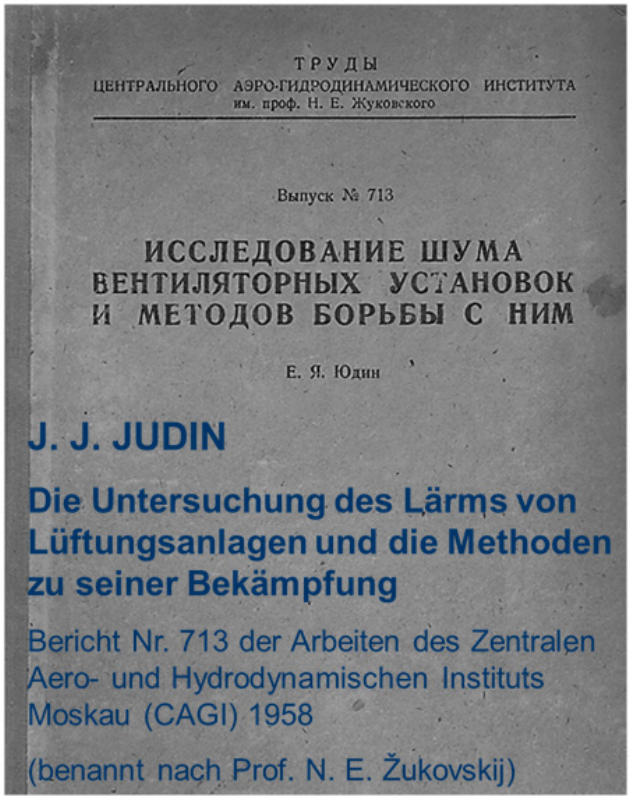

Abbildung 2: Judins Hauptwerk zur Strömungsakustik [3]

Judin entwickelte in den 1940-er Jahren für den Wirbellärm eine direkte Abfolge von der Ursache bis zur Wirkung, von den Strömungskräften Auftrieb und Widerstand auf einer Ventilatoren-Schaufel über die Lambsche Äquivalenzbeziehung bis zur abgestrahlten Schallleistung, siehe Abb. 3.

Der US-amerikanische Aeroakustiker Alan Powell äußerte sich 1964 in seiner grundlegenden Arbeit über den Wirbelschall [4] auch über die aeroakustischen Arbeiten von Judin. Diese Arbeiten werden, wie mehrfach in der angloamerikanischen Literatur, als *„dimensionsanalytische“* Arbeiten „abgetan“. Es wird negiert, dass Judin eine klare physikalische Ursache-Wirkungs-Kette benutzt hat, deren Idee aus einer inhomogenen Wellengleichung mit dem Dipol-Quellglied stammte.

→ Schallleistung des Dipolstrahlers

$$P = \frac{k^4}{12\pi} \rho c D_M^2$$

→ Dipolmoment D_M ~ Strömungswechselkraft F_y
nach Horace Lamb:
„A concentrated force Fe^{jkct} *is equivalent to a double source of strength* $\frac{jF}{kc\rho}$*“* [Lamb 1916, S. 496].

→ Strömungswechselkraft

$$F_y = c_y(t)\rho \frac{V_\infty^2}{2} Dl$$

→ Schallleistung des Wirbellärms

$$P = K \frac{\rho}{c^3} (c_\alpha Sr)^2 V^6 lD$$

[JUDIN 1942/1958, BLOCHINCEV 1946, LJAMŠEV 1962, SHARLAND 1964]

Abbildung 3: Rechenschema für den Wirbelschall nach Judin [3]

- **Dmitrij Ivanovič Blochincev (1908 – 1979)**

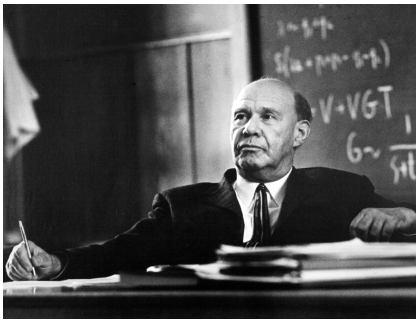

Abbildung 4: Dmitrij Ivanovič Blochincev (1908 – 1979)
Quelle: Yury Tumanov, JINR photo-archive

1908 in Moskau geboren, studierte er Physik an der Lomonossow-Universität in Moskau, habilitierte sich 1934, wurde 1935 (mit 27 Jahren) Professor für theoretische Physik an der Lomonossow-Universität, ab 1951 Direktor des Kernforschungsinstituts Obninsk, von 1956 – 1965 erster Direktor des Vereinigten Kernforschungsinstituts in Dubna, ab 1965 war er Leiter des Labors für theoretische Physik in Dubna. Blochincev starb 1979 in Dubna.

Blochincev war Verfasser eines weltweit verbreiteten Lehrbuchs zur Quantenmechanik (1944); er war auf den Gebieten Elementarteilchenphysik, Festkörperphysik, Quantenfeldtheorie, Theorie der Kernreaktoren, nichtlineare Optik und Akustik tätig. Er befasste sich u. a. mit Problem der ultrakalten Neutronen, mit den Quarks, dem Urknall in der Kosmologie, mit Materie und Antimaterie, mit der Relativitätstheorie und mit der Weitentwicklung des Friedmann-Modells (eine spezielle Lösung der Feldgleichungen von Einstein).

Blochincev war wissenschaftlicher Berater des UN-Generalsekretärs, von 1966 – 1969 Präsident der International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) und er war Mitglied der Wissenschaftsakademien zahlreicher

Länder, seit 1964 Mitglied der Leopoldina, der heutigen deutschen Nationalen Akademie der Wissenschaften.

Die von Blochincev organisierten wissenschaftlichen Konferenzen hatten weltweit einen einzigartigen Ruf. Sein Grundsatz war: nicht nur Vorträge hören, sondern die "Freizeit" der Konferenz so organisieren, dass man sich mit interessanten Menschen auf der Konferenz unterhalten kann. Seine Konferenzen machten es den Teilnehmern möglich, ein *„Maximum an Selbstverwirklichung während des Konferenzzeitraumes "* zu erreichen.

Blochincev und die Stalin-Ära [5]

In den 1930-er Jahren haben sowjetische Physiker großartige Beiträge zur Physik des 20. Jahrhunderts geleistet. Dazu gehören mehrere Nobelpreisträger, u. a. Tamm und Čerenkov, Lev Landau und Pjotr Kapica. Diese Zeit der späten 1930-er Jahre war aber auch die Zeit des Stalinschen Terrors von unvorstellbarem Ausmaß. Durch Sichtung der Prozessakten und von Archivmaterial, auch im Hauptarchiv des KGB, sind seit 1995 viele Details der Terrorwelle gegen die Physiker bekannt geworden [5]. So fand z. B., Blochincev betreffend, im April 1937 am Physikalischen Institut der Akademie der Wissenschaften der UdSSR eine sog. Aktivtagung statt, in der auf Veranlassung des Zentralkomitees der Kommunistischen Partei der Sowjetunion über abgesetzte hochrangige „Volksfeinde" und politisch diskreditierte Wissenschaftler gesprochen wurde. Dabei hatte sich Blochincev wegen seiner Kontakte zu einem gewissen F. M. Galperin zu rechtfertigen, der im August 1936 verhaftet worden war. Blochincev sagte dazu:

„Ich habe zusammen mit Galperin gearbeitet, er hat mich politisch erzogen, und ich habe nicht bemerkt, dass er mich auf eine falsche politische Linie gelenkt hätte. Ich weiß natürlich nicht, ob er nicht vielleicht ein zweites Gesicht hat, das ich nicht kenne, d. h. es könnte zwei Galperin geben – einen, den ich kenne, und einen zweiten, den ich nicht kenne. Also ich spreche hier nur über dieses eine Gesicht, das ich kenne. Falls es noch ein anderes gibt, so stehe ich moralisch dafür nicht ein (...)" [5, S. 125]

Blochincevs Arbeiten zur Strömungsakustik

Angesichts der Tatsache, dass Blochincev während des 2. Weltkrieges an militärisch nutzbaren Forschungen gearbeitet hat, erklärt sich die geringe Zahl von Publikationen aus diesem Zeitraum.

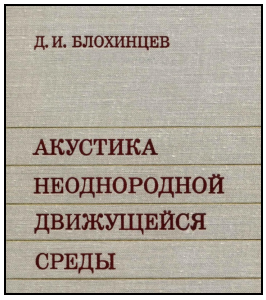

Abbildung 5: Das erste Buch zur Strömungsakustik [6]

Es sind 3 Arbeiten: „Zur Theorie der Schallausbreitung in bewegten Medien" 1944, „Wirbelschall" 1945, „Bewegte Schallempfänger" 1945. Die Ergebnisse seiner strömungsakustischen Forschungen fasste Blochincev 1946 in der Monographie „Akustik eines inhomogen strömenden Mediums" (1946) zusammen [6].

Die konvektive Wellengleichung

D. I. Blochincev hat erstmals die konvektive Wellengleichung in exakter Form abgeleitet. Dies wird durch M. E. Goldstein [7] bestätigt. In der russischen aeroakustischen Literatur wird deshalb die konvektive Wellengleichung als „Blochincev-Gleichung" bzw. als „Gleichung von Blochincev – Howe" bezeichnet.

Blochincev hat noch zwei Weiterungen zu dieser konvektiven Wellengleichung angefügt: er erhält mit Anwendung des Greenschen Satzes die erweiterte Kirchhoffsche Gleichung für bewegte Medien. Und dann schreibt er auf die rechte Seite der homogenen, konvektiven Wellengleichung die Quellstärke eines Monopols, das heißt, es entsteht eine inhomogene Wellengleichung mit einem Quellterm. Die erweiterte Kirchhoffsche Beziehung enthält damit neben den Oberflächenintegralen zusätzlich ein Volumenintegral für die Quelle Q.

Energiegleichung für die Schallausbreitung in Strömungen

Die allgemeine Energieerhaltungsgleichung in Strömungen wendet Blochincev mithilfe einer Störungsrechnung auf die Schallausbreitung in Strömungen an. Damit entstehen akustische Erhaltungsgleichungen in strömenden Medien. Insbesondere hat er dabei den Fall der geometrischen Akustik behandelt. Auf diese Blochincevschen Überlegungen zur Schallenergie hat sich Lighthill in seinen Publikationen mehrfach bezogen.

Pseudoschall

Nach den Recherchen des Autors ist in dem Buch von Blochincev [6] zum ersten Mal der Begriff „Pseudoschall" zu finden. T. J. Pedley von der University of Cambridge, schreibt 2001, dass Lighthill in der Abhandlung "The Bakerian Lecture" 1961 den Fachterminus „Pseudoschall" geprägt habe [8]. Tatsächlich schreibt Lighthill in der Bakerian Lecture im Jahre 1961 [9]:

„Die Druckschwankungen in den Wirbeln, die ich Pseudoschall nenne, (...)."

Man muss wohl daraus schließen, dass weder Lighthill noch Pedley die Aussagen von Blochincev zum Pseudoschall gekannt haben, oder genauer: dass sie beide das Kapitel zum Pseudoschall bei Blochincev nicht gelesen hatten. Denn sowohl Lighthill in der Bakerian Lecture 1961 als auch Pedley in seiner Abhandlung im Jahre 2001 führen das Buch von Blochincev in ihrem jeweiligen Literaturverzeichnis auf, und zwar sogar die englische Fassung aus dem Jahre 1956.

Es sei hier also für die „westliche" Aeroakustik dokumentiert: Blochincev hat bereits 15 Jahre vor Lighthill sich mit diesem Problem ausführlich physikalisch befasst und diesen Terminus „Pseudoschall" geprägt! Blochincev hat den Pseudoschall berechnet, er hat das Spektrum der turbulenten Druckschwankungen aus dem Energiespektrum

der Turbulenz berechnet, mithilfe der Arbeiten zur homogenen isotropen Turbulenz von A. N. Kolmogorov und A. M. Obuchov aus dem Jahre 1941.

Windschutz für Mikrofone

Diesem Problemkreis widmet Blochincev vier Kapitel seines Buches, insgesamt 25 Seiten (!). Er beschreibt darin den Windschutz des Schallempfängers vor der eigenen Wirbelbildung mithilfe eines Windschutzkorbes sowie den Windschutz des Schallempfängers gegenüber den Geschwindigkeitsschwankungen in der Anströmung, realisiert durch den Einbau eines Mikrofons in einen Profil-Hohlkörper. Schließlich behandelt Blochincev auch bewegte Schallempfänger im Unter- und Überschallbereich der Fluggeschwindigkeiten.

Und abschließend in dieser Übersicht:

- **Andrej Vladimirovič Rimskij-Korsakov (1910 - 2002)**

Abbildung 7: A. V. Rimskij-Korsakov (1910 - 2002) [der Enkel des russischen Komponisten Nikolaj Andrejevič Rimskij-Korsakov] (1844 -1908) http://www.akin.ru/r_rimsky.htm

1910 in St. Petersburg geboren, erhielt er eine Ausbildung sowohl am Leningrader Konservatorium als auch am Polytechnischen Institut. Seine Bibliographie zeigt die äußerst seltene Kombination von musikalischer Akustik, Elektroakustik und Strömungsakustik! Er befasste sich einerseits mit Musikinstrumenten und andererseits mit pneumatisch-akustischen Tyfonen und Hochleistungs-sirenen. Diese Schallquellen wurden zur Simulation der akustischen Belastung beim Start von Weltraumraketen verwendet (Beschallung eines Modells der Wiedereintrittsraumfähre „Buran“, Analogon zum Space Shuttle der Amerikaner). Nach dem Krieg übernahm Rimskij-Korsakov ein Konstruktionsbüro für elektrische Musikinstrumente, ab 1955 war er im Akustischen Institut der Akademie der Wissenschaften tätig: Physikalische Akustik, Aerothermoakustik, Hydroakustik, Vibroakustik.

Rimski-Korsakov war Vertreter der UdSSR in der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) und in der Internationalen Kommission für Akustik (ICA).

Schlussbemerkungen

Dass die russischen Aktivitäten zur Aeroakustik im Westen so wenig bekannt geworden sind, liegt erstens an der militärische Bedeutung dieser Forschungen im zweiten Weltkrieg und in den Jahren danach, zweitens sicher auch an den Sprachproblemen und der z. T. relativ späten Über-setzung in die englische Sprache und drittens vielleicht auch an einer gewissen Oberflächlichkeit der Literaturrecherchen, auch ein Maß an Borniertheit ist nicht auszuschließen. Einige Beispiele sind aufgeführt, wo das so war: es lagen englische Übersetzungen vor, aber man nahm die russischen Ergebnisse nicht zur Kenntnis: beim Pseudoschall-Phänomen, bei der konvektiven Wellengleichung, bei einigen Erkenntnissen zum Wirbellärm.

Ich will diesen Vortrag schließen mit zwei positiven Feststellungen amerikanischer Akustiker aus den 1990-er Jahren. 1992 schreibt Alan Powell im amerikanischen akustischen Journal, nach einer kurzen Erwähnung der aeroakustischen Arbeiten von Gutin (1936), Judin (1944), Blochincev (1946) und Obuchov (1942): *„The Soviet Union probably had the leadership position in aeroacoustics just after World War II.”* [10, S. 41]. Und Robert T. Beyer gesteht in seinem Buch „Sounds of Our Times“ 1999 der russischen Aeroakustik zu: *“The Russian school also pioneered the study of the production of sound by airflow of various kinds.”* [11, S. 249]

Literatur

[1] Andrejev, N. N./Rusakov, I. G.: „Akustik bewegter Medien“. Leningrad – Moskva 1934

[2] Gutin, L. Ja.: Über das Schallfeld einer rotierenden Luftschraube. ŽTF Žurnal techn. Fiziki, Moskva 6 (1936) 5, S. 899 – 909; auch: “On the sound field of a rotating propeller.” NACA TM 1195 (October 1948)

[3] Judin, E. Ja.: Untersuchung des Lärms von Lüftungs-anlagen und die Methoden zu seiner Bekämpfung. CAGI-Bericht Nr. 713, Moskva 1958

[4] Powell, A.: Theory of vortex sound. J. Acoustical Soc. of America, 36 (1964) No. 1, pp. 177 - 195

[5] Gorelik, G.: „Meine antisowjetische Tätigkeit …“ – Russische Physiker unter Stalin. Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 1995

[6] Blochincev, D. I.: Akustik eines inhomogen strömenden Mediums. Verlag Nauka, Moskva, 1946/1981; auch: “Acoustics of a nonhomogeneous moving medium”. NACA TM No. 1399, Washington, 1956

[7] Goldstein. M. E.: Aeroacoustics. McGraw-Hill 1976

[8] Pedley, T. J.: J. Lighthill and his contributions to fluid mechanics. Ann. Rev. Fluid Mech. 33 (2001) pp. 1 – 41

[9] Lighthill, M. J.: The Bakerian Lecture 1961. Proc. Roy. Soc. London, (A), 267 (1962) pp. 147 – 182

[10] Powell, A.: Soviet aeroacoustics–A short review. J. Acoustical Soc. of America 92 (1992) 1, pp. 41 - 56

[11] Beyer, R. T.: Sounds of Our Times. New York etc.: Springer-Verlag 1999

[12] Költzsch, P.: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik. Heft 6, DEGA-Schriftenreihe zur Geschichte der Akustik, Berlin 2014; ISBN: 978-3-86386-640-2