

# Forschergruppe 894: Strömungsphysikalische Grundlagen der menschlichen Stimmgebung

## Sprecher

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Ulrich Eysholdt

## Anschrift

Phoniatriche und Pädaudiologische Abteilung  
in der Hals-Nasen-Ohren-Klinik  
Bohlenplatz 21  
91054 Erlangen  
Tel.: +49 9131 8532782  
Fax: +49 9131 8532687  
ulrich.eysholdt@uk-erlangen.de

## Aufgaben und Struktur

### Beteiligte Einrichtungen:

Phoniatriche und Pädaudiologische Abteilung,  
Lehrstuhl für Angewandte Mathematik II, Lehrstuhl für Sensorik, Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik, Lehrstuhl für Strömungsmechanik (alle FAU);  
Institut für Mechanik und Fluidodynamik (TU Bergakademie Freiberg);  
Institut für Mechanik und Mechatronik (Technische Universität Wien).  
Förderzeitraum 01/2008 – 12/2013.

Der Prozess der Stimmentstehung und auftretende Kausalitäten sind weder bei der gesunden noch bei der erkrankten Stimme völlig verstanden. Das Ziel der interdisziplinären Forschergruppe (FOR) 894 ist es, ein fundiertes physikalisches Verständnis normaler und pathologischer Stimmlippendynamik und des daraus resultierenden akustischen Signals zu erhalten. Die menschliche Stimmgebung ist ein Schallmuster, das von einem komplexen Strömungsvorgang mit bewegter Geometrie erzeugt wird. In der physikalischen Analyse solcher Vorgänge gibt es nicht immer einen einzelnen, umkehrbar eindeutigen Weg der Modellbildung. Die methodische Vorgehensweise soll aus Sicht verschiedener Fachgebiete den Schlüssel zum Verständnis der Gesamtheit liefern. Die Erkenntnisse aus den Ergebnissen lassen sich somit gegenseitig ergänzen, überprüfen und verifizieren. In der internationalen Strömungsforschung und Stimmgebung stehen diese unterschiedlichen Ansätze derzeit isoliert nebeneinander. Die FOR 894 hat somit eine internationale Vorreiterrolle inne. Zur Koordination und Leitung der höchst interdisziplinären Gruppe wurde im Zentralprojekt eine von der DFG finanzierte W2-Forschungsprofessur Computational Medicine etabliert. Die wissenschaftliche Leitung hat Herr Prof. Dr.-Ing. M. Döllinger inne.

Im Förderzeitraum wurden durch FOR 894 mehr als 50 Publikationen in gelisteten wissen-

schaftlichen Zeitschriften und über 130 Konferenzbeiträge veröffentlicht. Fünf Mitglieder der FOR 894 wurden erstmalig auf Professuren berufen, weiteren zweien wurde der Titel apl. Professor verliehen. Zwei Mitglieder habilitierten sich. Weiterhin wurden über 20 medizinische und neun technische Doktorarbeiten während der Förderphase angefertigt.

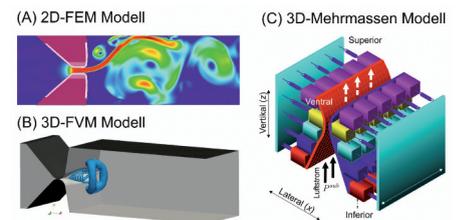
## Forschung

Die Strategie der FOR 894 ist der Einsatz unterschiedlicher experimenteller und numerischer Modelle, deren Erkenntnisse in eine umfassende Beschreibung der Stimmgebung münden sollen. Ausgangspunkt für die Modellbildung sind endoskopische Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen von gesunden und kranken Probanden. An der Phoniatrichen und Pädaudiologischen Abteilung werden diese direkt mit biomechanischen Modellen angepasst, um quantitative Aussagen über die Schwere von Stimmkrankungen zu treffen.

Zur Klärung dynamisch-strömungsmechanischer Kausalitäten wurde am Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik ein Luftströmungskanal entwickelt, der ein realitätsnahes Modell der Stimmerzzeugung darstellt. Silikon-Stimmlippen werden durch einen Massenstrom zu Schwingungen angeregt und bilden die gesamte Kette der Fluid-Struktur-Akustik-Interaktion ab. Die synthetischen Stimmlippen werden durch numerische Modellrechnungen optimiert (Lehrstuhl für Angewandte Mathematik II) und der Elastizität von lebendem Gewebe angepasst. Im Modell werden Druck und Volumenstrom sowie die elastischen Eigenschaften der künstlichen Stimmlippen variiert (Lehrstuhl für Sensorik). Damit werden die Auswirkungen auf die Schwingungen und die physikalische Schallbildung beobachtet. Irregularitäten können hier jedoch nicht in ihrer Ursache und Wirkung getrennt untersucht werden. Um definierte, klinisch beobachtete Irregularitäten und deren strömungsphysikalische Auswirkungen auf die Stimmqualität zu untersuchen, wurde ein am Institut für Mechanik und Fluidodynamik in Freiberg entwickeltes Modell in einem Wasserkanal entwickelt. Die resultierenden Strömungsformen sind experimentell einfacher im Detail zu beobachten, da die Zeitskala deutlich gedehnt ist. Das Modell ist besonders für die Untersuchung der wirbelinduzierten Schallanteile geeignet.

Die experimentellen Arbeiten werden durch numerische 2D-Finite-Elemente-Modelle als auch 3D-Finite-Volumen-Modelle ergänzt. Damit las-

sen sich sowohl der durch die Strömung direkt wirbelinduzierte Schall als auch der durch die Stimmlippen-Schwingungen masseninduzierte und volumenmodulierte Schall analysieren. Mit Hilfe dieser Ansätze können gezielt die unterschiedlichen Schallanteile in ihrer Entstehung und Wirkung getrennt voneinander analysiert werden. Aufbauend auf der Ursachen-Wirkungskette soll sich in Zukunft eine rational begründete, optimale Behandlungsstrategie für konservative und phonochirurgische Maßnahmen ableiten lassen.



Die drei in der Gruppe entwickelten und verwendeten numerischen Modelle.

## Lehre

Die an der FOR 894 beteiligten Arbeitsgruppen betreuen sowohl naturwissenschaftliche, ingenieurwissenschaftliche und medizinische Dissertationen als auch interdisziplinäre Studien- und Diplomarbeiten. Die Leiter der Teilprojekte sind an Vorlesungen zur Ausbildung von Studierenden aller beteiligten Fakultäten (Medizin, Technik, Naturwissenschaften) beteiligt.

# Research Unit 894: Fluid Mechanical Basis of the Human Voice

## Speaker

Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. Ulrich Eysholdt

## Address

Division of Phoniatrics and Pediatric Audiology  
Department of Otorhinolaryngology –  
Head and Neck Surgery  
Bohlenplatz 21  
91054 Erlangen  
Phone: +49 9131 8532782  
Fax: +49 9131 8532687  
ulrich.eysholdt@uk-erlangen.de

## Aims and Structure

### Participating Institutions:

Division of Phoniatrics and Pediatric Audiology, Chair of Applied Mathematics II, Chair of Sensor Technology, Institute for Process Technology and Machinery, Institute of Fluid Mechanics (all FAU); Institute of Mechanics and Fluid Dynamics (TU Bergakademie Freiberg); Institute of Mechanics and Mechatronics (Vienna University of Technology).

Funding period was 01/2008 – 12/2013.

Voice production within the larynx is still not entirely understood, neither in normal nor in pathological voice. The goal of the interdisciplinary research unit (FOR) 894 is to substantiate knowledge of normal and pathological vocal fold dynamics and of the resulting acoustic signal. Human voice is the result of a complex process comprising fluid dynamics coupled with moving elastic tissue. Analyzing such complexities necessitates different modeling approaches. Therefore, departments from different research fields are working together to derive a better picture of the entire voice origination process. The different suggested models allow a review and verification of the results and assumptions. In the international fluid dynamics and voice research community, different approaches are still applied and discussed on their own. Hence, FOR 894 is performing pioneer research. To coordinate and lead the interdisciplinary group, the DFG established a W2-professorship on Computational Medicine. Prof. Dr.-Ing. M. Döllinger is the scientific head of FOR 894.

During the funding period, FOR 894 published more than 50 journal articles and more than 130 conference contributions. Five members of the FOR were appointed to professorships, further two members were granted the title apl. Professor. Two members obtained the post-doctoral qualification showing the ability to lecture and do research at professorial level. More than 20 medical doctoral theses and nine technical doctoral theses were completed within the FOR.

## Research

The strategy of FOR 894 is the application of different experimental and numerical models, yielding a comprehensive description of voice production. The bases for the models are endoscopic high speed digital video recordings from both, healthy and pathological subjects. At the Division of Phoniatrics and Pediatric Audiology, biomechanical models are fitted to the recorded dynamics for receiving quantitative information on the severity of diseases.

For analyzing fluid mechanical causalities, an air driven physical model has been developed representing a realistic model of human voice production. Vocal folds consisting of a silicon mixture are set into vibration and allow to experimentally analyze the entire chain of fluid-structure-acoustic interaction. The material parameters of the synthetic vocal folds are adapted to human laryngeal tissue by numerical optimization algorithms (Institute of Applied Mathematics II). The model enables the variation of pressure, air flow, and elongation of the synthetic vocal folds (Chair of Sensor Technology). Hence, impacts on dynamics and acoustics can be observed and analyzed. However, irregularities cannot be separated regarding their cause and resulting effect.

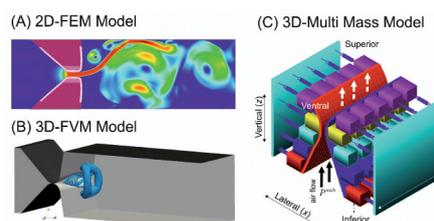
To investigate predefined clinical observed irregularities and their impact on voice quality, a water driven model was developed by the group from Freiberg. Here, the fluid dynamics are easier to observe due to the increased time scale. This model is especially appropriate for observing eddy induced acoustics.

The experimental work is supplemented by a numerical 2d-finite element method model and a 3d-finite volume model. Thus, fluid volume as well as mechanical induced acoustics can be analyzed directly. However, due to the complexity, these models cause high computational costs.

By these approaches the different acoustic sources can be investigated and analyzed. In the future, conclusions for medical conservative as well as surgical treatments will be driven, based on the cause-and-effect chain.

## Teaching

The participating groups in FOR 894 supervise mathematical, technical, and medical theses as well as interdisciplinary master theses and student research projects. The principal investigators of the different projects are involved in lectures in three different Faculties (Medical, Engineering, and Sciences).



The three by the group developed and applied numerical models.