

# Hybride LES-RANS Modelle für radiale Turbomaschinen

Untersuchung von hybriden LES-RANS Modellen für die Strömungsberechnung in radialen Turbomaschinen

G. Brenner, C.-H. Walter, Institut für Technische Mechanik, Technische Universität Clausthal

## Kurzgefasst

- Die Strömung in radialen Turbomaschinen ist in vielen Betriebszuständen instabil und durch starke Turbulenz, Ablösungen sowie Wirbelsysteme geprägt
- klassische RANS-Modelle versagen bei abgelösten Strömungen z.B. im Schaufelkanal, und berechnen z.B. die Größe der Ablösegebiete falsch
- Turbulenzauflösende Berechnungsverfahren sind der Schlüssel zum tiefgreifenden Verständnis technischer Strömungen und können die instabile turbulente Struktur Untersuchungen zugänglich machen
- Large Eddy Simulationen (LES) berechnen die groben Strukturen sind aber für die industrielle Praxis häufig zu aufwendig
- Die Herausforderung für hybride LES-RANS Modelle liegt darin, turbulente Strukturen auch in unterschiedlich instabilen Strömungen auflösen zu können

Strömungsmaschinen sind essentiell für den Transport von flüssigen und gasförmigen Medien. Ohne sie ist die Funktion vieler technischer Prozesse nicht möglich. Ob in Kraftwerken, Fabrikanlagen oder in der Gebäudeklimatisierung, Maschinen dieser Art sind stark verbreitet. Eine genaue Kenntnis der Strömung ist von großer Wichtigkeit für Ingenieure bei der Konstruktion und für einen sicheren und effizienten Betrieb von Strömungsmaschinen.

Konstruktive Maßnahmen, z.B. inspiriert aus der Bionik, sollen das Strömungsfeld so beeinflussen, dass Maschinen leiser und effizienter arbeiten. Dazu zählen z.B. profilierte Vorder- und Hinterkanten der Schaufeln, die die Akustik positiv beeinflussen können. Starke Schwankungen des Strömungsfeldes können auch zur Schädigung von Bauteilen führen und so die Lebensdauer verkürzen. Um strömungsinduzierte dynamische Lasten zu identifizieren wurde in einem Forschungsprojekt ein Radialventilator experimentell und numerisch auf aerodynamische Anregungsmechanismen hin untersucht. Bei all diesen Zielsetzungen müssen die dynamischen Eigenschaften einer instationären, turbulenten und teils lokalen, teils globalen instabilen Strömung erfasst werden. Hierbei ist die Wirbelviskosität, eine modellierte

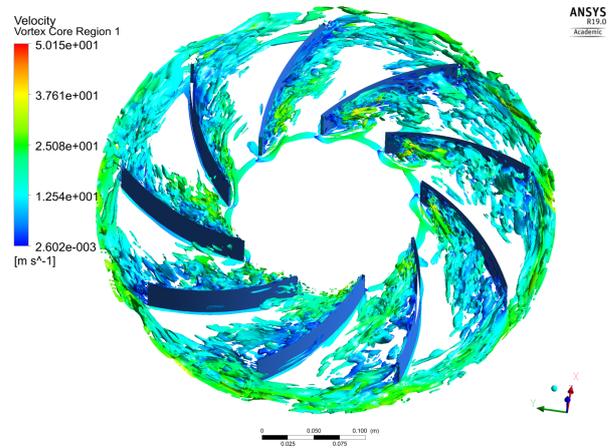
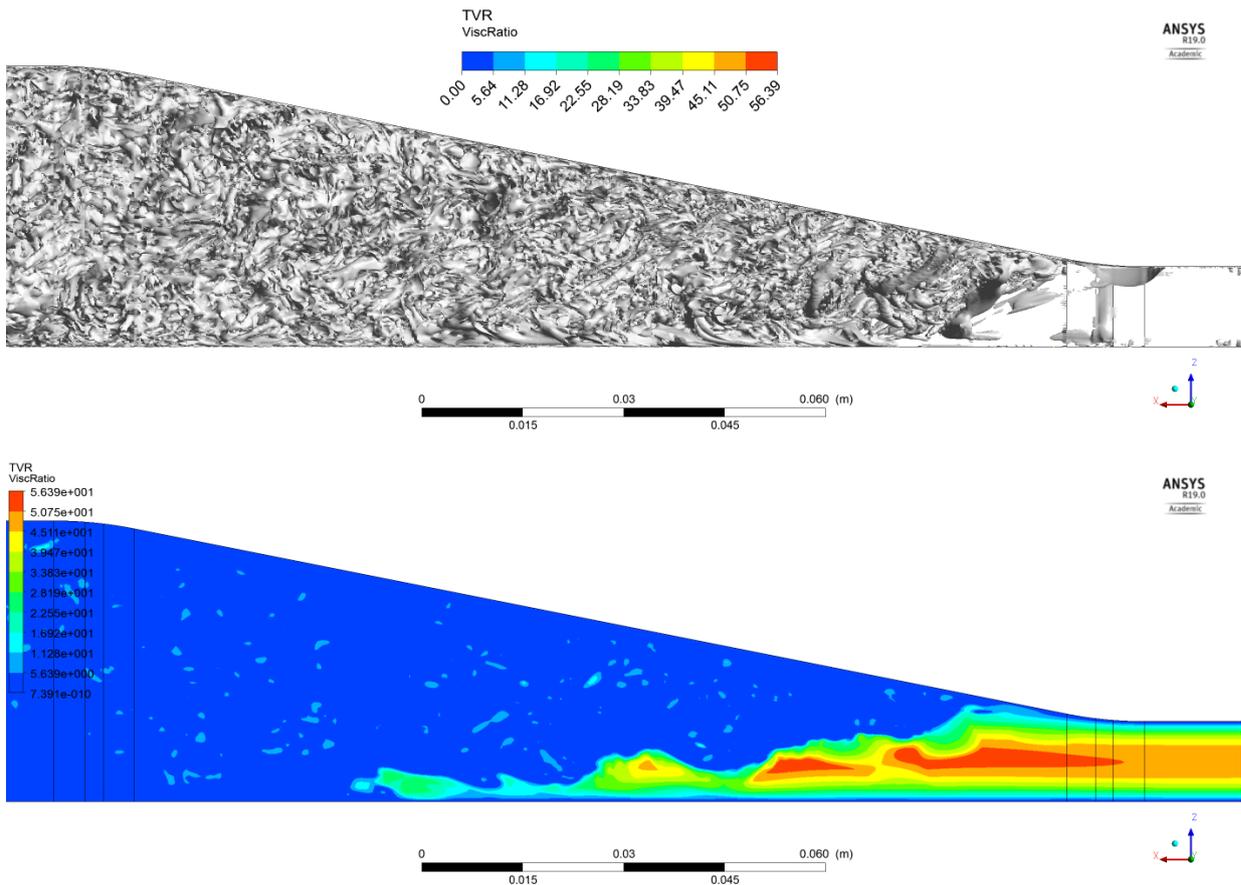


Abbildung 1: Radialventilator;  $\Lambda_{2}$ -Wirbelkriterium mit dem Betrag der Geschwindigkeit, Teillastbetrieb 50 Prozent Masstrom

Größe in RANS-Rechnungen, die die Wirkung der turbulenten Schwankung auf die mittlere Strömung wiedergibt, jedoch hinderlich, da sie die Ausbildung turbulenter Strukturen verhindert. Die LES kann das leisten, ist jedoch wegen sehr hohem Rechenaufwand für die industrielle Praxis auf absehbare Zeit nicht einsetzbar. Die Schätzungen für industriell verfügbare LES reichen über das Jahr 2035 bis 2045 [2,3]. Menter schließt sich der Einschätzung an und gibt den relativen Rechenaufwand für eine einzelne Gasturbinenschaufel von RANS zu LES mit einem Faktor von ca.  $10^5$  zu  $10^6$  an. Daher konzentrieren sich viele Forschungsbemühungen darauf Modelle zu entwerfen, die den Rechenaufwand skalenauflösender Verfahren durch geschickte Verknüpfung von RANS und LES begrenzen. Diese hybriden Modelle zielen darauf ab, die LES im Rechengebiet sparsam zu verwenden um den Rechenaufwand einzuschränken. Für Strömungen, die wandgebunden sind, wie in Turbomaschinen, sind die Rechenkosten einer LES so immens, weil die aufzulösenden Strukturen je näher man der Wand kommt, kleiner werden. Dadurch müssen die zeitliche und räumliche Auflösung dort sehr fein werden. Ziel aller hybriden Modelle ist, die angelegte Grenzschicht mit RANS zu berechnen. In den Bereichen, wo die Strömung ablöst und instationäres Verhalten zeigt, möchte man die turbulenten Strukturen berechnen. Die Funktionsweise ist in Abbildung 2 dargestellt. In dem Gebiet abgelöster Strömung, sichtbar an den aufgelösten turbulenten Strukturen, ist auch die Wirbelviskosität verhältnismäßig sehr gering. Dort, wo keine Ablö-



**Abbildung 2:** Stanford-Diffuser; oben: Wirbelkriterium  $\Lambda_2$ , unten Verhältnis von Wirbelviskosität zu dynamischer Viskosität

sung stattgefunden hat, wird die Strömung mittels modellierter Wirbelviskosität im RANS-Modus berechnet.

In der Teillast kann die Strömung in der Turbomaschine als global instabil betrachtet werden. Wenn sich der Betriebspunkt im Kennfeld dem Nennpunkt nähert, verringert sich diese Instabilität, auf einige lokale Gebiete, z.B. auf der Saugseite der Schaufeln. Es besteht der Wunsch nach einem allgemeinen Turbulenzmodell, das alle Instabilitätsregime gleichermaßen gut berechnen und auflösen kann. Um dies zu überprüfen, müssen Testfälle für Validierungszwecke den Strömungsverhältnissen in einem Radialventilator entsprechen. Die Konfigurationen sollen daher möglichst wandgebunden sein, eine Ablösung und Wiederanlegen aufweisen, eine ähnliche Reynoldszahl haben und einen Druckgradienten ähnlich zum Druckanstieg im Kanal aufweisen. Anhand dieser Testfälle werden die verschiedenen Turbulenzmodelle untersucht, um schließlich auf einen Radialventilator übertragen zu werden. Ein Beispiel ist die Berechnung einer Teillastströmung mittels Stress Blended Eddy Simulation (SBES) [1].

### WWW

<https://www.itm.tu-clausthal.de/>

### Weitere Informationen

- [1] F.R. Menter. Best Practice: Scale-Resolving Simulations in Ansys CFD [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IAS/JSC/EN/slides/latex.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IAS/JSC/EN/slides/latex.pdf?__blob=publicationFile)
- [2] Spalart, P.R., Strategies for turbulence modeling and simulations. International Journal of Heat and Fluid Flow 21 (2000).
- [3] N. Gourdain, F. Sicot, F. Duchaine, L. Gicquel. Large eddy simulation of flows in industrial compressors: a path from 2015 to 2035. Phil. Trans. R. Soc. A 2014 372 20130323 doi: 10.1098/rsta.2013.0323

### Förderung

Landesstelle, Land Niedersachsen; Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, IGF-Vorhaben 19721 N/1 [www.aif.de](http://www.aif.de)