

Visuelle Analysemethoden für das Durchströmungsverhalten einer zentrifugalen Pumpe

Mathias Otto¹, Alexander Kuhn¹, Wito Engelke^{1,2} und Holger Theisel¹
¹Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Deutschland
²King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabien

1 Zielsetzung und Problembeschreibung

Diese Arbeit beschreibt eine visuelle Funktionsanalyse einer zentrifugalen Pumpe (Abb. 1) [1], für welche sowohl etablierte als auch neu entwickelte Visualisierungstechniken eingesetzt werden. Eine solche Pumpe besteht aus einem Einströmbereich, einem Transportbereich, in dem ein Impeller das Fluid beschleunigt und in den Auslass drückt. Von der Pumpe sind drei simulierte Datensätze mit unterschiedlichen Turbulenzmodellen namens Scale-Adaptive Simulation (SAS), Detached Eddy Simulation (DES) und Shear Stress Transport (SST) gegeben. Jeder Datensatz beinhaltet 80 Zeitschritte, die einer Umdrehung des Impellers entsprechen. Das zugrunde liegende Gitter besteht aus ca. 6.5 Millionen hexahedralen Zellen und 6.7 Millionen Datenpunkten.

Wichtig für die Funktionsanalyse sind Wirbelablösungen an den Impellerblättern, die zu großen, stabilen Wirbeln führen können, sodass komplette Kanäle des Impellers blockiert werden, einen sogenannten *Rotating Stall*. Dieses Phänomen beeinträchtigt die Effizienz und die Lebensdauer der Pumpe.

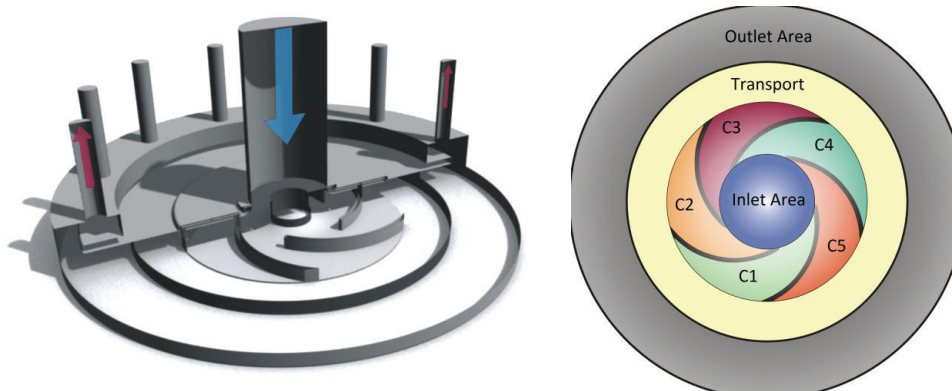


Abb. 1: (links) Funktionsschema einer zentrifugalen Pumpe. (rechts) Schematische Einteilung in funktionale Segmente.

2 Lokale Ansätze

Standardmethoden um diese Wirbel zu detektieren sind die Berechnungen des Q- bzw. Lambda2-Kriteriums [2, 3]. Beide Methoden sind physikalisch begründet und resultieren in Skalarfeldern deren Level-Sets Wirbelregionen darstellen. Ein anderer Weg Wirbel zu detektieren sind Geometrie-basierte Methoden, wie die Methode von Sujudi & Haines [4]. Sie extrahiert Wirbelkerne. Eine Weiterentwicklung dieses Verfahrens ist die sogenannte "cores of swirling particle motion" Methode [5], bei der auch die Zeitableitung des Vektorfeldes berücksichtigt wird. Eine Übersicht der Extraktionsergebnisse am Beispiel des SAS Turbulenzmodells ist in Abb. 2 dargestellt. Wir haben uns hierbei für das SAS Modell entschieden, da es die komplexesten Strukturen liefert.

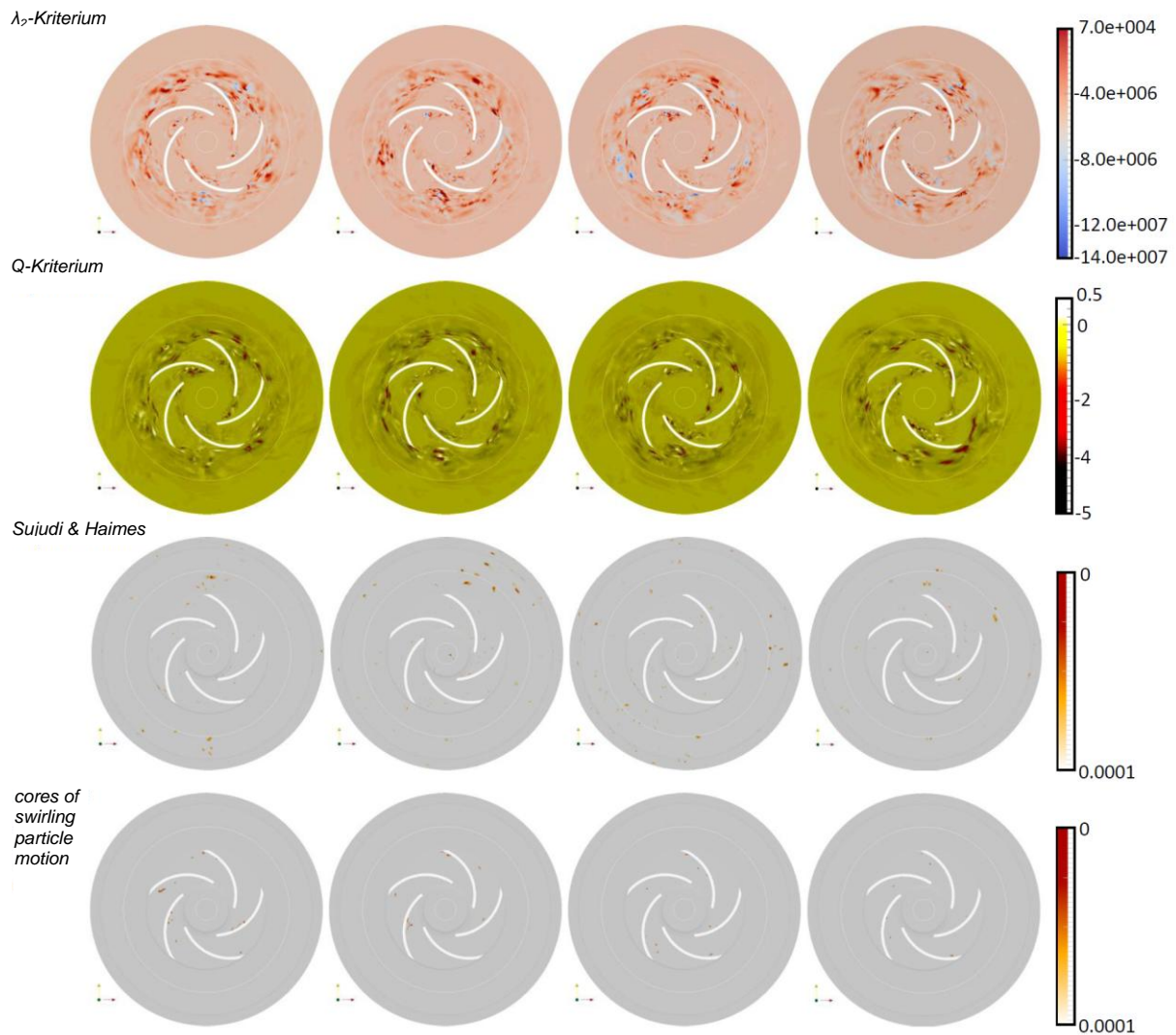


Abb. 2: Visualisierung lokaler Wirbelkriterien für das SAS Model (Zeitschritte 0, 25, 50 und 80).

3 Globale Ansätze

Alle bisher genannten Methoden sind lokaler Natur. Von ihnen kann man keine Rückschlüsse über das zeitliche Verhalten der Wirbel ableiten bzw. wie stabil ein detektierter Wirbel ist. Um dieses Problem zu lösen stellen wir Pfadlinien-basierte Verfahren vor. Pfadlinien (Abb. 3) alleine geben einen ersten Eindruck von dem Strömungsverhalten der Pumpe. Bereits durch die Farbkodierung der Pfadlinien sind Strukturen zu sehen an denen sich Partikel in der Strömung gegen die Hauptrichtung bewegen und somit die Effizienz beeinträchtigen.

Eines der bekanntesten Pfadlinien-basierten Verfahren ist der Finite-Time-Lyapunov-Exponent (FTLE) [6], bei dem die Materialseparation über eine gegebene Zeitspanne berechnet wird. Hierbei korrelieren Minima im Feld mit Wirbelstrukturen. Allerdings werden diese Strukturen mit zunehmender Zeit sehr komplex (Abb. 4).

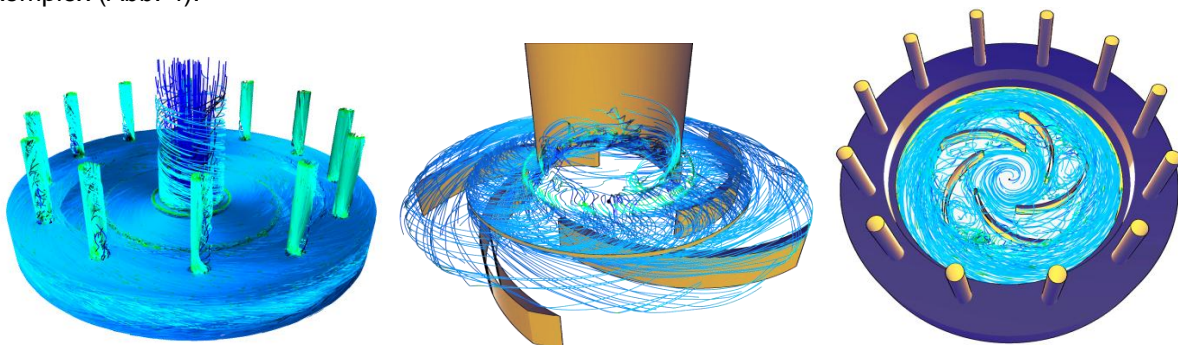


Abb. 3: Pfadlinien mit Farbkodierung der z-Komponente (positiv in cyan, negativ in dunkelblau).

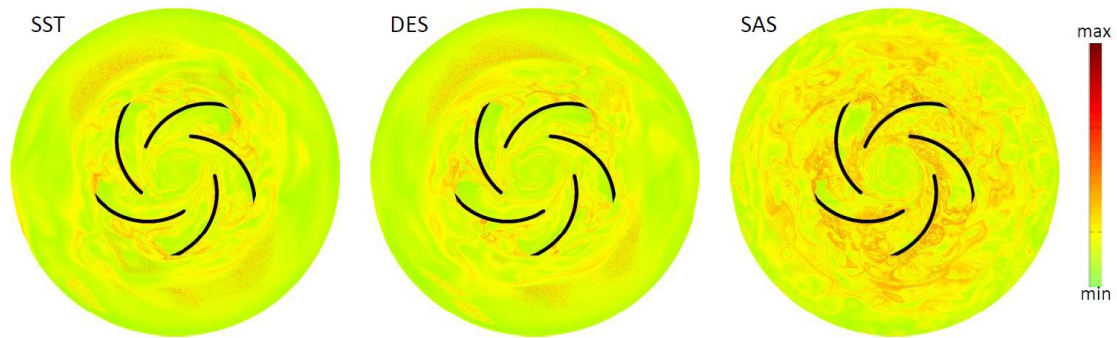


Abb. 4: FTLE Visualisierung über die komplette gegebene Zeitspanne (eine Umdrehung des Impellers). Regionen mit starker Separation sind rot gefärbt.

Eine weitere Methode ist die Verzerrung einer Textur durch das Vektorfeld. Hierfür wählen wir eine Textur welche die funktionalen Teile der Pumpe abbildet (Abb. 1 rechts). Über die zeitliche Entwicklung der verzerrten Textur kann man deutlich erkennen, wo und wann Ablösungen entstehen und welche Kanäle blockiert werden. Als letzte Methode stellen wir die Integration des Drucks auf Pfadlinien vor. Minima des Druckfeldes korrespondieren zu Wirbelkernen. Findet man Minima im aufintegrierten Druckfeld, so entspricht das Regionen, die längere Zeit in einem Wirbel verharren, einem stabilen Wirbel.

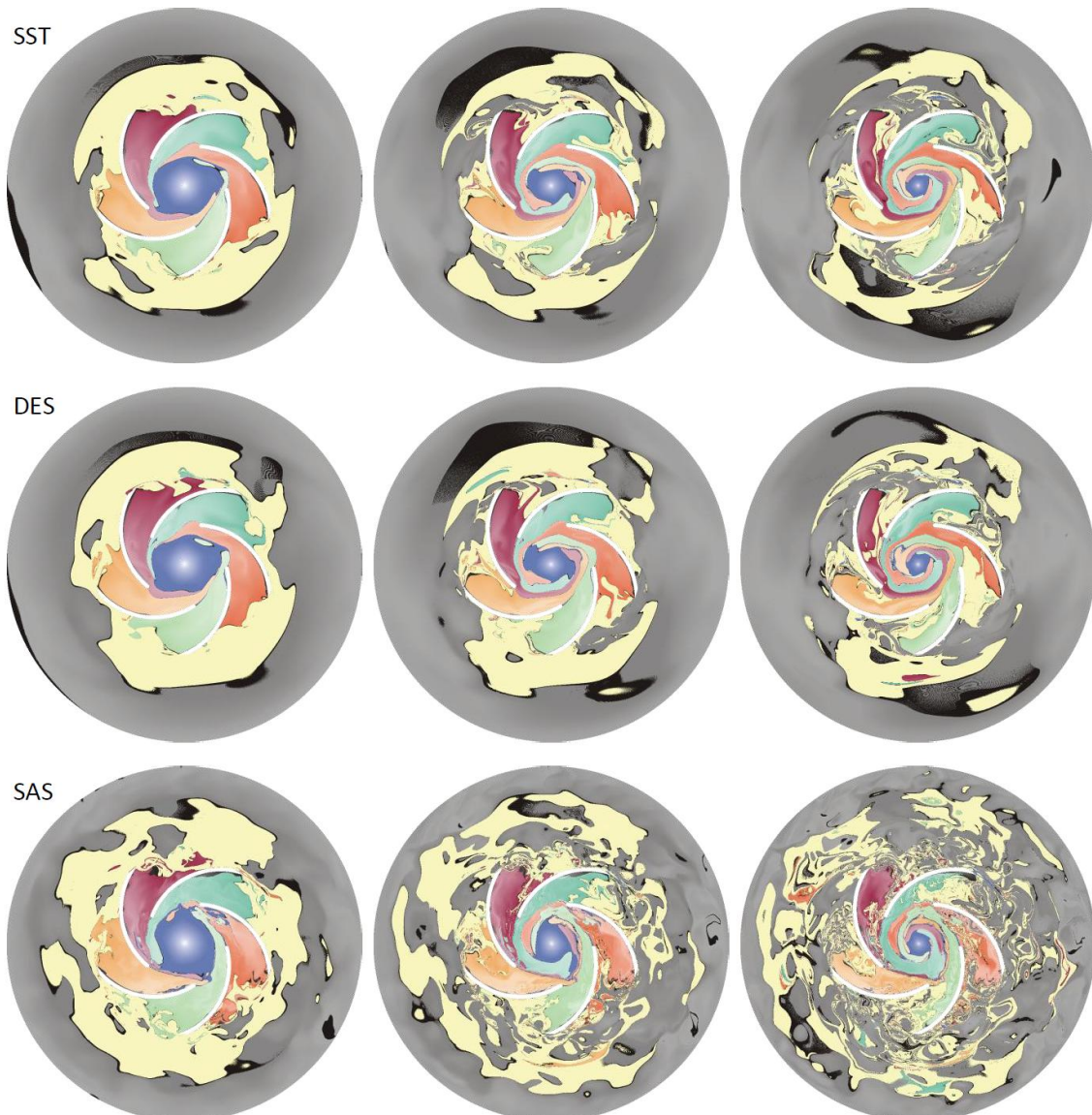


Abb. 5: Textur Verzerrung durch das gegebene Vektorfeld. Die gezeigten Bilder entsprechen den Zeitschritten 20, 50m und 80, wobei die Verzerrung bei Zeitschritt 0 gestartet wurde.

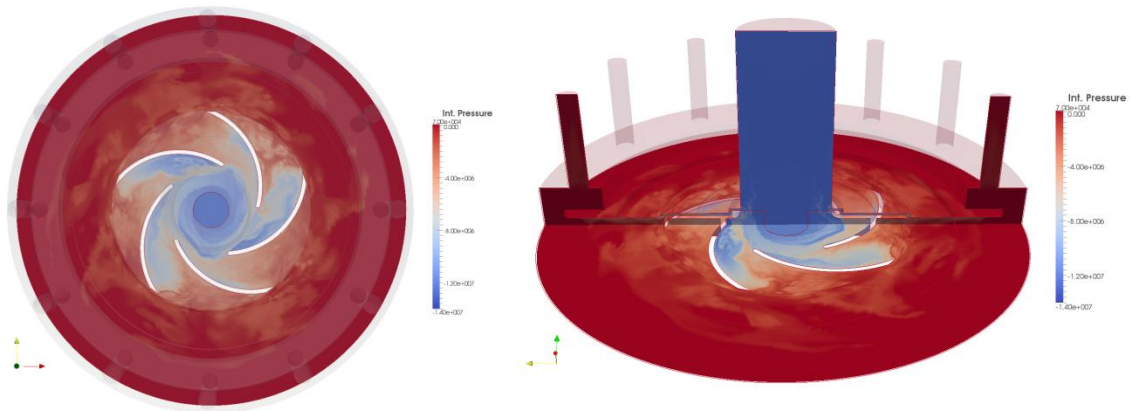


Abb. 6: Auf Pfadlinien integrierter Druck für eine Umdrehung des Impellers. Minima (blau) korrelieren mit stabilen Wirbelstrukturen.

4 Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des SemSeg Projekts, welche durch das Future and Emerging Technologies (FET) Program im Seventh Framework Program for Research von der Europäischen Kommission, unter der FET-Open grant number 226042, finanziell gefördert wurde.

5 References

- [1] Lucius, G. A.: „Numerical simulation and evaluation of velocity fluctuations during rotating stall of a centrifugal pump“, Journal of Fluids Engineering, 2011, 133:081102
- [2] Hunt, J. C. R., Wray, A. & Moin, P.: „Eddies, stream, and convergence zones in turbulent flows“, Center for Turbulence Research Report CTR-S88, 1988
- [3] Jeong, J.: „On the identification of a vortex“, Journal of Fluid Mechanics, 1995, 285:69–94
- [4] Sujudi, D. & Haines, R.: „Identification of swirling flow in 3D vector fields“, Technical report, Department of Aeronautics and Astronautics, MIT, 1995.
- [5] Weinkauff, T., Sahner J., Theisel, H., Hege, H.-C. & Seidel, H.-P.: “Cores of swirling particle motion in unsteady flows”. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 13(6):1759–1766, 2007.
- [6] Haller, G.: „Lagrangian coherent structures and the rate of strain in twodimensional turbulence“, Phys. Fluids, 30(13), 2001, 3365–3385.