

PIV- MESSUNGEN IM RADSEITENRAUM EINER EINSCHAUFELRAD ABWASSERPUMPE

PIV- MEASUREMENT IN SHROUD CLEARANCE OF SINGLE VANE SWEAGE PUMP

P. U. Thamsen, T. Bubelach

Technische Universität Berlin,
Fluidsystemdynamik – Strömungstechnik in Maschinen und Anlagen;
Sekt. K2;
Straße des 17. Juni 135;
D-10623 Berlin

Zusammenfassung

Zur Förderung von Abwasser werden häufig Einschaufelrad Kreiselpumpen eingesetzt. Charakteristisch für diese Pumpen ist eine stark asymmetrische Druckverteilung am Umfang des Laufrads. In der Praxis kommt es bei drehzahlgeregeltem Betrieb von Einschaufelrad Abwasserpumpen vermehrt zu Maschinenausfällen aufgrund von Verstopfungen durch Feststoffe im Radseitenraum. Verantwortlich für diesen Feststoffeintrag sind die Strömungsverhältnisse im Radseitenraum der Maschinen. Zur Analyse dieser Strömungsverhältnisse im Radseitenraum werden Untersuchungen an einer Standard Einschaufelrad Abwasserpumpe mit Hilfe der Particle Image Velocimetry (PIV) durchgeführt. Zur Vorbereitung dieser Messungen wird ein großflächiger optischer Zugang konzipiert und realisiert. Die ersten Ergebnisse dieser Messungen der Geschwindigkeitsfelder geben einen detaillierten Überblick über die Strömungsverhältnisse im Radseitenraum einer Einschaufelrad Abwasserpumpe bei verschiedenen Betriebsbedingungen. Hierbei gibt es zum Teil erhebliche Abweichungen zum klassischen Verständnis der Radseitenraumströmung.

Einleitung

Durch einen stark gestiegenen Automatisierungsgrad werden die in komplexen Abwassersystemen eingesetzten Kreiselpumpen vermehrt drehzahl geregelt betrieben. Bei drehzahl geregeltem Betrieb von Einschaufelrad Abwasserpumpen kommt es in der Praxis vermehrt zu Pumpenausfällen. Als eine ursächliche Erscheinung konnten Feststoffansammlungen in den Radseitenräumen nachgewiesen werden (Abb. 1), die eine Blockade des Laufrades verursachen können. Für dieses Verstopfungsverhalten von Abwasserpumpen sind in einem hohen Maß die Strömungsvorgänge, insbesondere die Geschwindigkeitsverteilung, in den Radseitenräumen der Maschinen verantwortlich.

Bei Abwasserpumpen mit Einschaufelrädern (Abb. 2) liegt, aufgrund der einzigen Laufschaufel, eine stark unsymmetrische Druckverteilung am Laufradumfang vor. Der Einfluss dieser unsymmetrischen Druckverteilung auf die Strömungsvorgänge in den Radseitenräumen ist bisher nicht abschließend geklärt.

Weiter muss geklärt werden welchen Einfluss verschiedene Drehzahlen und Betriebspunkte auf die Strömungsvorgänge in den Radseitenräumen von Abwasserpumpen mit unsymmetrischer Druckverteilung am Laufradumfang haben.

Zur Untersuchung der Strömungsstruktur in den Radseitenräumen wird die dort vorliegende Geschwindigkeitsverteilung direkt gemessen. Diese Messung erfolgt mit Hilfe der Partikel Image Velocimetry (PIV). Zusätzlich zu den PIV Messungen wird die Druckverteilung über den Umfang des Spiralgehäuses aufgenommen.



Abb. 1: Feststoffansammlungen im Radseitenraum von Abwasserpumpen

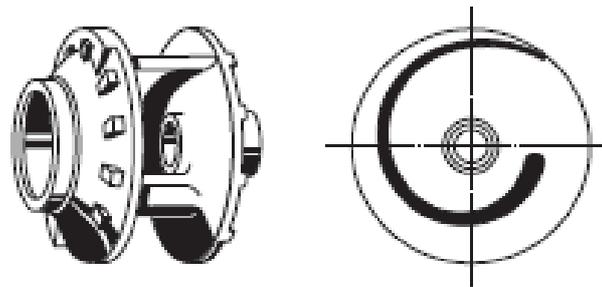


Abb. 2: Skizze eines geschlossenen Einschaufelrads

Versuchsaufbau

Die Untersuchungen werden an einem am Fachgebiet Fluidsystemdynamik vorhandenen geschlossenen Versuchskreislauf (Abb. 3) durchgeführt. Dieser Prüfstand ist für die Messung der üblichen Leistungsdaten einer Kreiselpumpe ausgestattet. Als geschlossener Kreislauf mit veränderlichem Druckniveau erlaubt dieser gezielte Untersuchungen der Kavitation in Kreiselpumpen. Über einen Frequenzumformer kann eine Einstellung der Drehzahl erfolgen.

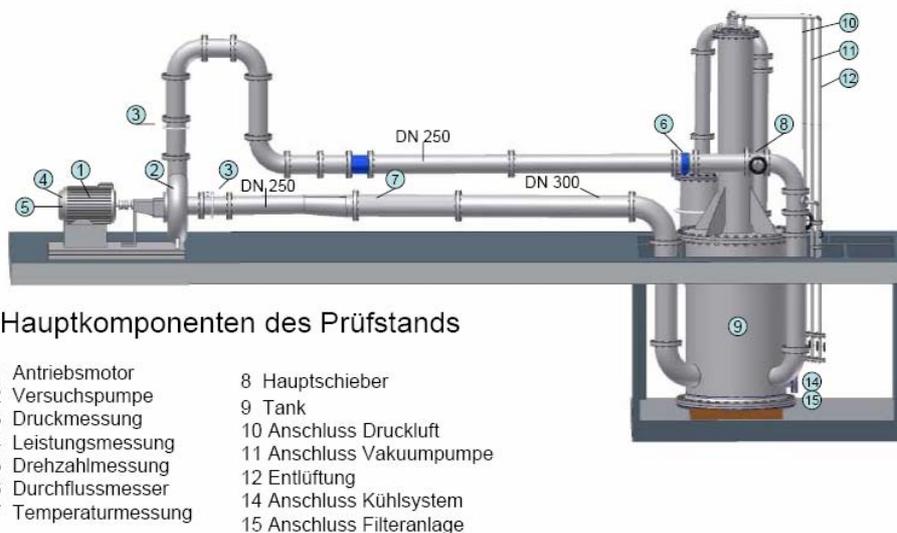


Abb. 3: Schema des Versuchskreislauf

Die Strömungsvorgänge in den Radseitenräumen einer Abwasserpumpe und deren Wirkung auf den Feststoffeintrag in die Radseitenräume sollen möglichst praxisnah untersucht werden. Als Versuchsmaschine wird daher eine originale Einschaufelrad Abwasserpumpe gewählt, die zur kommunalen Abwasserförderung eingesetzt wird. Die Kenndaten der Versuchspumpe sind in Tab. 1 angegeben.

Lafraddurchmesser	630 mm
Stutzenweite	250 mm
Nenndrehzahl	960 1/min
Nennförderstrom	340 l/s
Nennförderhöhe	30 m
Leistung	bis 160 kW

Tab. 1: Kenngrößen der Versuchsmaschine

Für die PIV Messungen wird ein großflächiger optischer Zugang über eine Acrylglasplatte (\varnothing 800 mm) auf der Saugseite der Versuchsmaschine konzipiert und realisiert. Die Konstruktion des optischen Zugangs sieht eine Funktionstrennung zwischen den Bauteilen vor: Die Acrylglasplatte dient zur Abdichtung des Gehäuses und nimmt im Wesentlichen nur die von der Maschine erzeugten Druckkräfte auf. Gleichzeitig ermöglicht diese großflächige Platte die Beobachtung der Strömung im gesamten saugseitigen Radseitenraum der Maschine. Die mechanischen Kräfte von Laufrad und Rohrleitung werden von einer massiven Stahlkonstruktion aufgenommen und direkt an das Pumpengehäuse weitergeleitet.



Abb. 4: Versuchsmaschine „original“ und nach dem Umbau

Zur Verminderung der Reflexionen an der Oberfläche der Deckscheibe des Laufrades wird eine dünne Acrylglasplatte angebracht. Im Zusammenspiel mit der schwarz gestrichenen Oberfläche der Laufraddeckscheibe sind Messungen von guter Qualität in Wandnähe bis ca. 1 mm vor der Deckscheibe möglich. Zudem wird sichergestellt, dass gleiche Rauigkeiten an Deckscheibe und dem optischen Zugang bestehen.

Insgesamt ergibt sich durch den Umbau ein rechtwinkliger, parallelwandiger und glatter Radseitenraum mit einer Breite von 24 mm. Die Geometrie des für die PIV Messungen modifizierte Radseitenraum entspricht im Wesentlichen der, der Originalmaschine.

Der Versuchsaufbau ist so konzipiert, dass Einbauten zur Strömungsbeeinflussung im Radseitenraum wie z.B. Bauchschaufeln leicht zu realisieren sind.



Abb. 5: Für PIV Messungen vorbereitetes Laufrad

Mit einem entsprechendem Geräteträger und einem Laserarm können nun PIV Messungen im Radseitenraum über den gesamten Umfang der Maschine durchgeführt werden. Dieser Geräteträger nimmt die Kamera und die Laserlichtschnittoptik auf und kann um die Maschinenachse auf die gewählte Messposition geschwenkt werden (Abb. 6). Über eine integrierte Travestierung werden die Messebenen im Radseitenraum eingestellt.

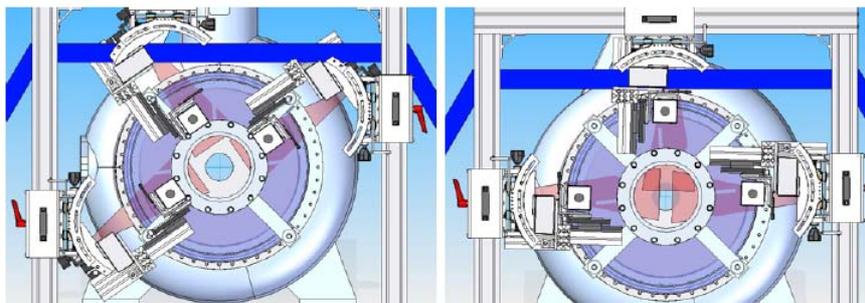


Abb. 6: Geräteträger in verschiedenen Messpositionen

Versuchsdurchführung:

Bei einer Einschaufelradpumpe hat die Stellung des Laufrades im Gehäuse einen starken Einfluss auf die Strömung in der Pumpe und die im Radseitenraum. Mit Hilfe einer Drehwinkelkorrelierung werden Messungen bei vier verschiedenen Laufradstellungen realisiert. Die Messungen erfolgen zudem an mehreren Stellen am Umfang der Maschine. Um den Einfluss einer Drehzahlregelung auf die Strömung im Radseitenraum zu erfassen, werden Messungen bei drei Drehzahlen und fünf Betriebspunkten durchgeführt. Die PIV Messungen erfolgen jeweils in neun axialen Messebenen die parallel zu Deckscheibe und Gehäuse angeordnet sind (siehe Abb. 7).

Zusätzlich zu den PIV Messungen wird der Druck am Umfang des Spiralgehäuses gemessen. Hierzu sind acht Drucksensoren am Umfang des Gehäuses installiert. Durch eine synchrone und drehwinkelkorrelierte Abtastung der Sensoren erhält man zeitaufgelöste Druckmessungen die definierten Laufradstellungen zugeordnet werden können.

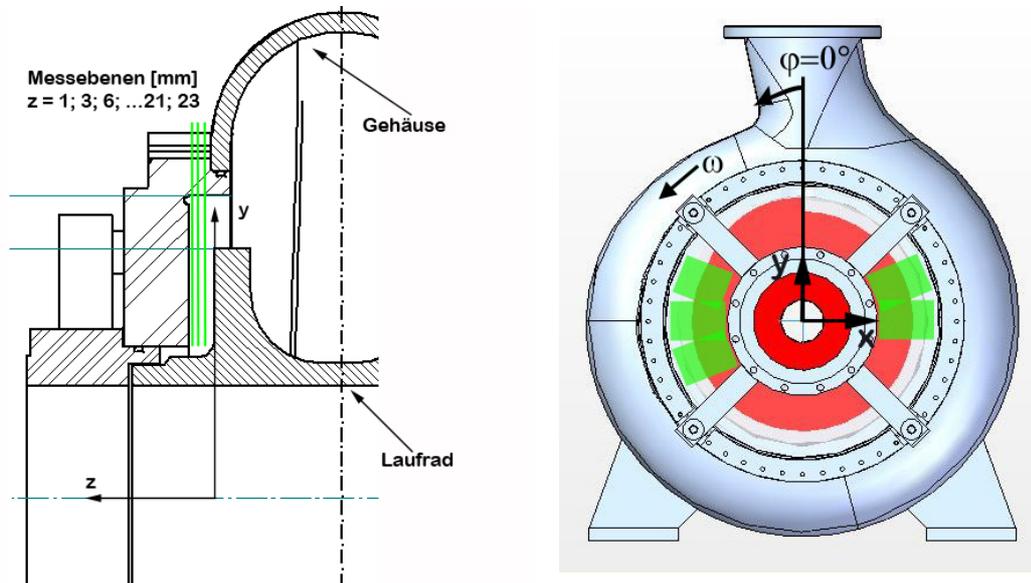


Abb. 7: Messebenen im Radseitenraum und Koordinatensystem an der Versuchsmaschine

Erste Ergebnisse

Die mit Hilfe der PIV aufgenommenen Geschwindigkeitsfelder werden auf das Koordinatensystem der Pumpe übertragen und nach Umfangs- und Radialgeschwindigkeit ausgewertet. Hierfür werden die Messdaten von Kartesischen- in Polarkoordinaten transformiert und anschließend in Umfangs- und Radialkomponenten zerlegt. Insbesondere aus der Radialkomponente der Strömung können Erkenntnisse auf die für den Feststoffeintrag verantwortlichen Strömungsphänomene erzielt werden.

Im Folgenden werden die ersten Ergebnisse der Untersuchungen der Strömung im Radseitenraum einer Einschufelrad Abwasserpumpe exemplarisch für einen Betriebspunkt ($Q/Q_{opt} = 1$, $n = 725$ U/min) gezeigt.

Die Ergebnisse der Druckmessung zeigen deutlich die asymmetrische Druckverteilung am Umfang des Laufrades, die durch ein Einschufellaufrad erzeugt wird. In der Abb. 8 sind die Messwerte für die statischen Druckverteilungen am Umfang des Laufrades zu diskreten Zeitpunkten für die Laufradstellungen $\varphi = 360^\circ$ (links) und $\varphi = 090^\circ$ (rechts) dargestellt. Es treten am Umfang der Maschine Druckdifferenzen, in Abhängigkeit von der Laufradstellung, von bis zu 600 mbar auf. Hierbei ist gut zu erkennen, wie der Maximalwert des Druckes am Umfang des Laufrades, der sog. „Druckberg“, der Schaufelaustrittskante um etwa 135° vorausseilt. Weiter ist in Abb. 8 eine starke Abhängigkeit der Strömungsstruktur in der Maschine von der Stellung des Laufrades im Gehäuse zur erkennen. So ergibt sich bereits nach einer $\frac{1}{4}$ Laufradumdrehung ein völlig neues Bild der Druckverteilung im Gehäuse.

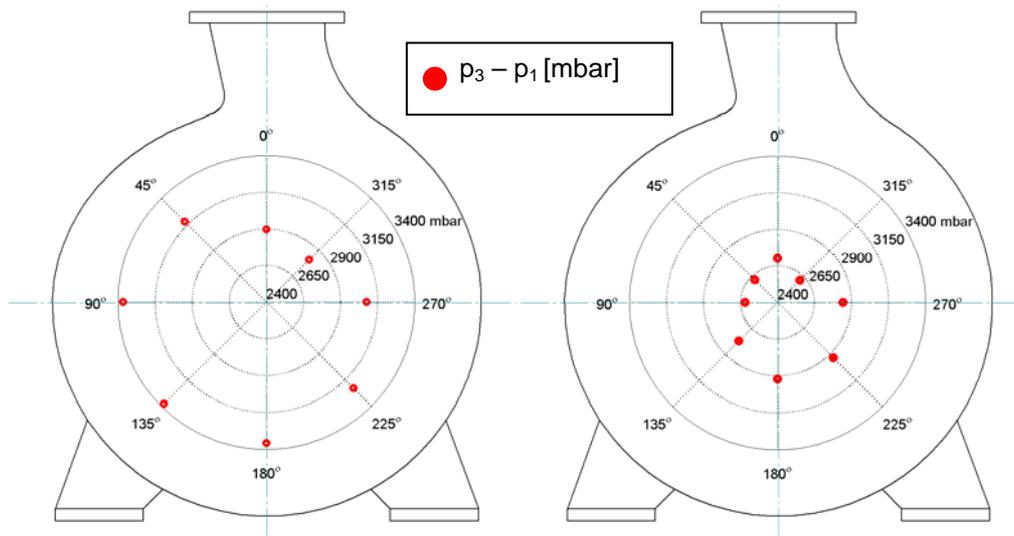


Abb. 8: Ergebnisse der Druckmessung am Umfang des Gehäuses bei den Laufradstellungen 360° (links) und 90° (rechts)

Vergleichbare Druckschwankungen in Einschaufelradpumpen werden auch von Benra (2002) beobachtet.

Diese Abhängigkeit der Strömung von der Laufradstellung spiegelt sich auch in den Ergebnissen der PIV Messungen wieder. In Abb. 9 sind zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse die axialen Messebenen zu Messvolumen zusammengefasst. Durch diese Volumina werden dann Meridianschnitte gelegt, die die Umfangsgeschwindigkeit der Strömung im Radseitenraum an der Gehäuseposition $\varphi = 270^\circ$ bei vier verschiedenen Laufradstellungen zeigen. Analog zu den Druckmessungen sind deutliche Unterschiede in der Geschwindigkeitsverteilung der Radseitenraumströmung in Abhängigkeit von der Laufradstellung zu erkennen.

Setzt man die aufgenommenen Geschwindigkeitsfelder für mehrere Messpositionen am Umfang zusammen, erhält man einen Eindruck über das komplexe Strömungsgeschehen im Radseitenraum einer Einschaufelradpumpe. In Abb. 10 ist farblich der Wert für die Radialkomponente der Strömung in der Messebene $z = 15$ mm, bei einer Laufradstellung von 270° dargestellt. Die Vektoren zeigen die Richtung der Absolutgeschwindigkeit und die gestrichelte Linie die Grenze des Laufrads. Die Verteilung der Radialkomponente gibt erste Hinweise auf die Mechanismen, die für den Feststoffeintrag in den Radseitenraum verantwortlich sind: So ist im Bereich der Gehäuseposition um $\varphi = 270^\circ$ im Radseitenraum der Betrag der Radialkomponente in etwa Null d.h., die Strömung folgt dem Laufrad. Auf der gegenüber liegenden Seite des Gehäuses (um $\varphi = 090^\circ$) ist im Radseitenraum eine stark radial nach innen gerichtete Radialkomponente vorhanden. In diesem Bereich ist ein Eintrag von Feststoffen in den Radseitenraum zu erwarten.

Insbesondere im Bereich des Gehäuses um $\varphi = 090^\circ$ weisen die Strömungsverhältnisse im Radseitenraum der untersuchten Maschine erhebliche Abweichungen im Vergleich zum bisherigen Verständnis der Radseitenraumströmung wie sie u.a. von Schultz-Grunow (1935), Daily (1960), Toyokura (1972), Senoo (1976) beschrieben wird.

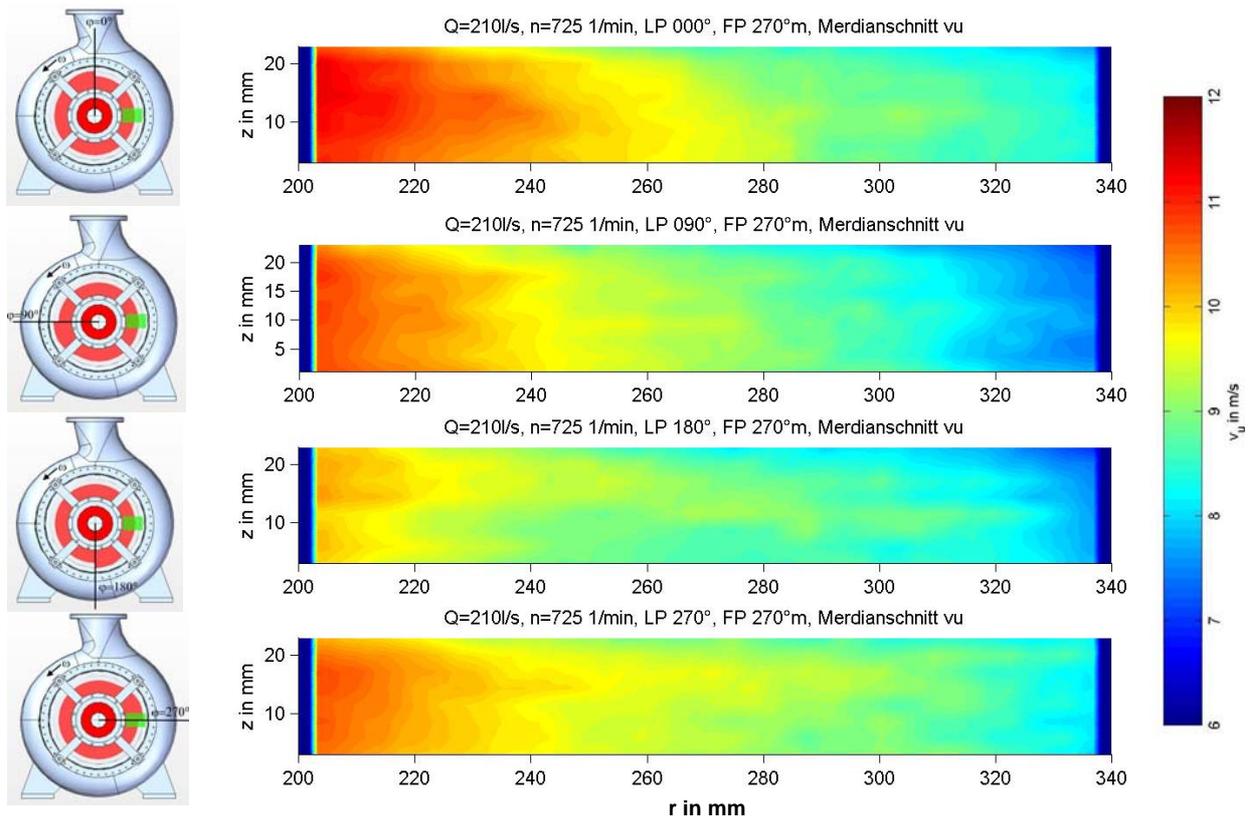


Abb. 9: Meridianschnitte der Verteilung der Umfangsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Laufradstellung

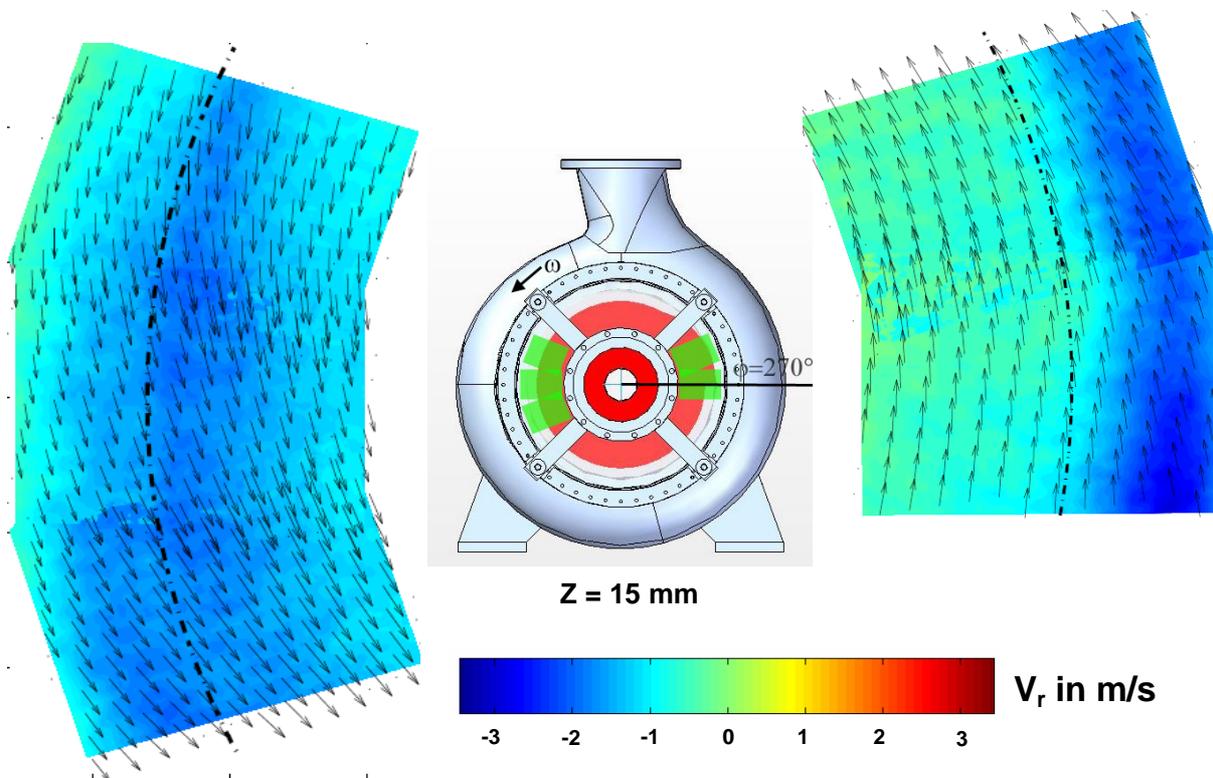


Abb. 10: Zusammengesetzte Messebene der Radialgeschwindigkeit von verschiedenen Positionen am Umfang der Maschine

Weitere Untersuchungen sollen zeigen welchen Einfluss verschiedene Modifikationen der Gestaltung des Radseitenraums wie z.B. Bauchschaufeln auf die Strömung im Radseitenraum einer Einschaufelrad Abwasserpumpe haben. Als Ziel der Untersuchungen sollen Hinweise zur Gestaltung von Radseitenräumen erarbeitet werden, die dazu beitragen Verstopfungen im Radseitenraum zu vermeiden und somit die Verfügbarkeit dieser Maschinen zu steigern.

Literatur

- Benra, D. (2002). Strömungsinduzierte Schwingungen von Abwasserpumpen. VDI-BERICHT NR. 1682: 263-284.
- Daily, J. W., Nece, R.E. (1960). "Chamber Dimension Effects on Induced Flow and Frictional Resistance of Enclosed Rotating Disks." *Journal of Basic Engineering*: 217-232.
- Schultz-Grunow, F. (1935). "Der Reibungswiderstand rotierender Scheiben in Gehäusen." *ZAMM - Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*: 191-204.
- Senoo, Y., Hayami, H. (1976). "An Analysis on the Flow in a Casing Induced by a Rotating Disk Using a Four-Layer Flow Model." *Journal of Fluids Engineering*: 192-198.
- Toyokura, T., Kurokawa, J. (1972). Study on Axial Thrust of Radial Flow Turbomachinery. The Second International JSME Symposium on Fluid Machinery and Fluidics, Tokyo.
- Lauer, J. (1999). Einfluß der Eintrittsbedingung und der Geometrie auf die Strömung in den Radseitenräumen von Kreiselpumpen. Dissertation, TU Darmstadt
- Gülich, J. F. (2003). "Disk friction losses of closed turbomachine impellers. Radreibungsverluste geschlossener Laufräder von Turbomaschinen." *Forschung im Ingenieurwesen*