

ANDRITZ
Hydro

Netzstabilität durch Pumpturbinenstabilität

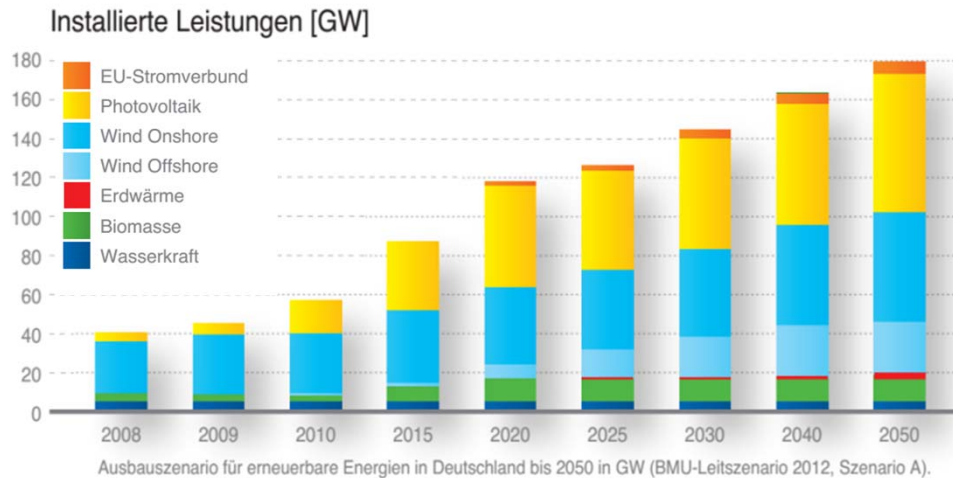
Praktikerkonferenz Wasserkraft, TU Graz, 11./12. September 2013

Dr. Manfred Sallaberger, Dr.-Ing. Christof Gentner

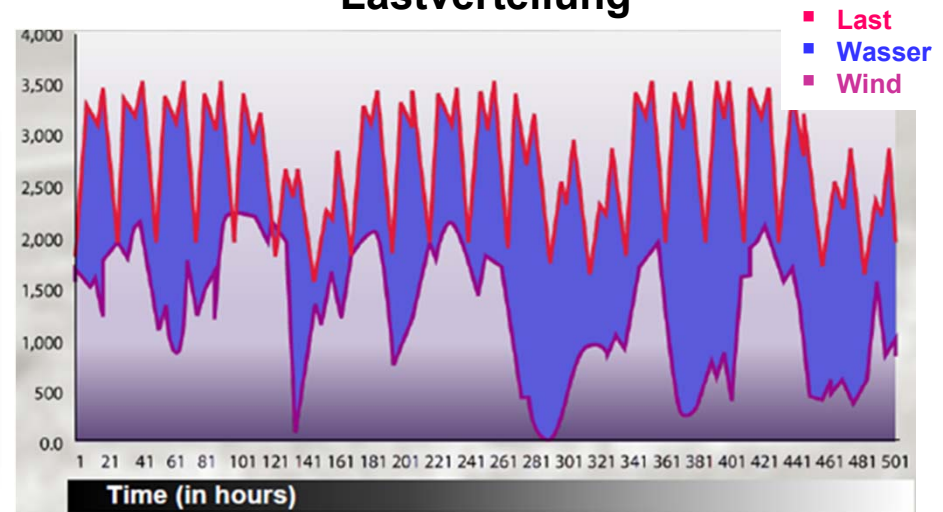
Andritz Hydro Zürich, Schweiz

Marktentwicklung

Ausbauszenario Deutschland



Lastverteilung



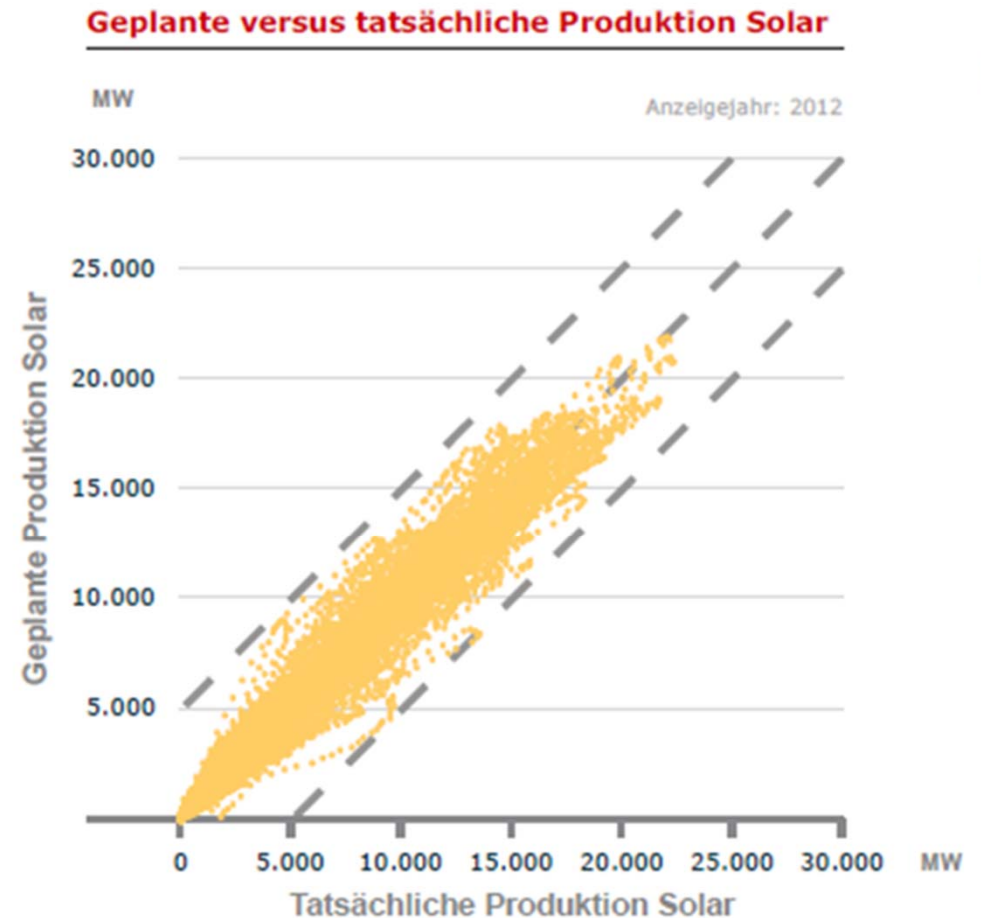
Quelle: IEA – Projected Costs of Generating Electricity 2010

- Markt und Förderung erneuerbarer Energie sind Haupttreiber
- Anteil nicht planbarer Energie wird steigen, positive und negative Reserven nötig
- Zum Teil rechtliche Abnahmeverpflichtung für elektrische Energie aus erneuerbarer Produktion
- Zunehmend Nachfrage nach Spitzenabdeckung und Netzdienstleistungen
- Weltweit rund 150 GW Pumpspeicherkapazität installiert (2011)

Netzstabilität durch Pumpturbinenstabilität Grosse Planungsunsicherheit

- Nennenswerte Unsicherheit bei Vorhersage von Wind und Sonne. Deutschland: Spanne von mehreren GW
- Erneuerbare Energie wie Wind und Sonne sind un stetig, schwer planbar und können nicht in der Lastverteilung eingeplant werden
- Ein hoher Anteil von Wind und Sonne kann die Netzstabilität gefährden
- Der Anteil an Erneuerbaren wird in den meisten entwickelten Ländern stark ansteigen
- Der geplante Zubau an Wind und Sonne übersteigt die Kapazität der vorhandenen Speicher bei weitem
- Dieser Wandel der Erzeugungsstruktur erfordert bewährte und neue Techniken zur Speicherung elektrischer Energie

Praktikerkonferenz Wasserkraft
TU Graz, 11./12. September 2013



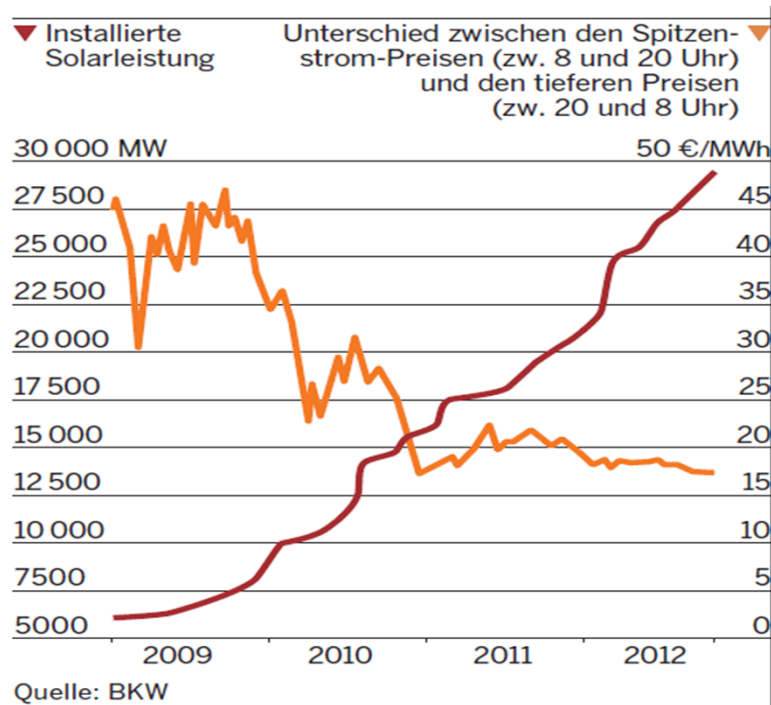
Grafik: B. Burger, Fraunhofer ISE; Daten: Leipziger Strombörse EEX

© Fraunhofer ISE

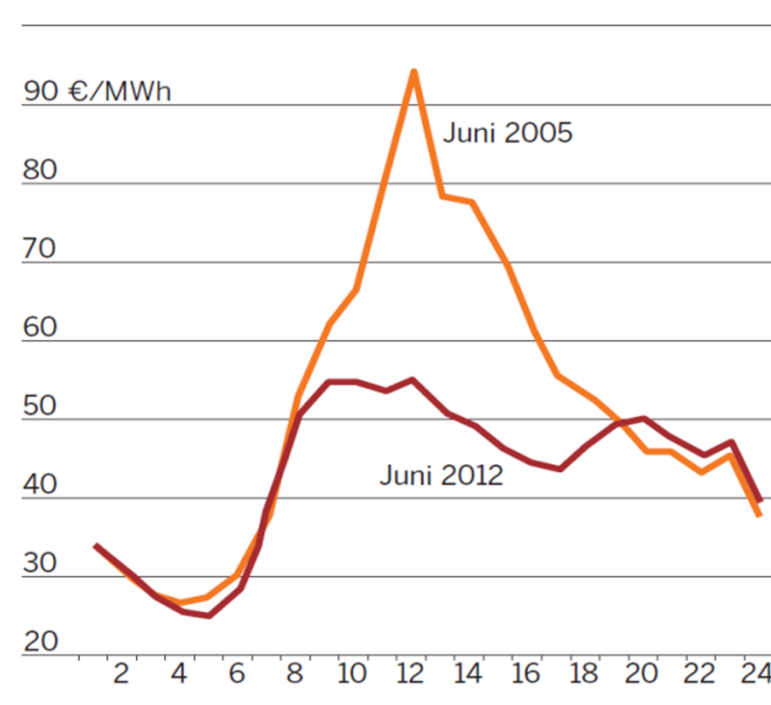
ANDRITZ
Hydro

Netzstabilität durch Pumpturbinenstabilität Einfluss volatiler Energien auf den Preis

Praktikerkonferenz Wasserkraft
TU Graz, 11./12. September 2013



Installierte Photovoltaik und Preisspanne
Spitzen- zu Niedriglast



Preis für elektrische Energie an einem sonnigen Tag
in Deutschland Juni 2005 und Juni 2012

- Volatile erneuerbare Energie beeinflusst die Preisstruktur
- Speicherreserve, positiv und negativ, ist eine technische Notwendigkeit
- Benötigte Speicherkapazität bis zu 80% der installierten Leistung von Wind und Solar, abhängig von Netzstruktur

Market trends and technology

Basic requirements

Hydraulic performance

Prevent cavitation damage

Smooth and stable operation

Hydraulic layout

- Appropriate choice of main parameters, dimensions, setting
- Fixed speed / variable speed

Hydraulic development

- Top performance
- Minimize cavitation
- Low pressure pulsation

Maximum reliability, availability

Long service life

Mechanical design

- Structural integrity
- Static, dynamic, model analysis
- Fracture mechanics, fatigue analysis

Optimized economics of entire plant

Adapted machine concepts

- 2-stage, regulated pump turbine
- Standardized mid-size machines

Individual component solutions

- Ring gate in pump turbines

Market trends and technology

Market trend

Extended operation range

- Wide operation range
- Low part load operation
- Wide head range

Dynamic operation

- Quick change of operation mode
- Quick load changes
- Increased number of start/stops

Flexible power control

- Variable pump input power

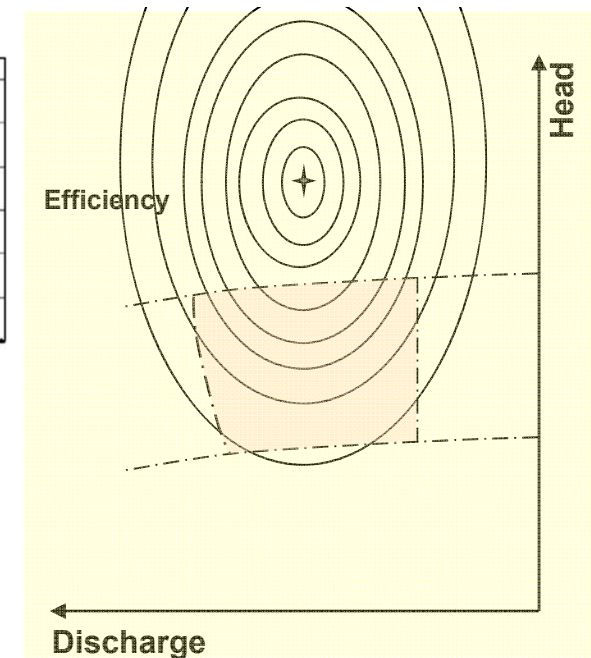
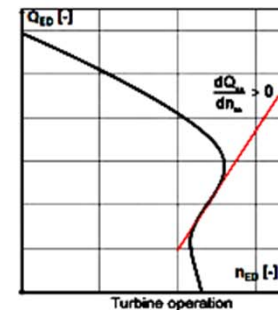
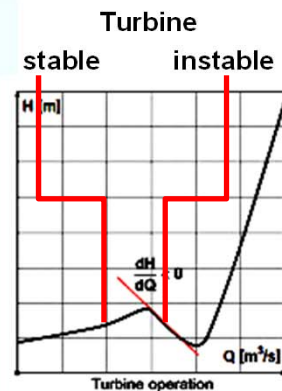
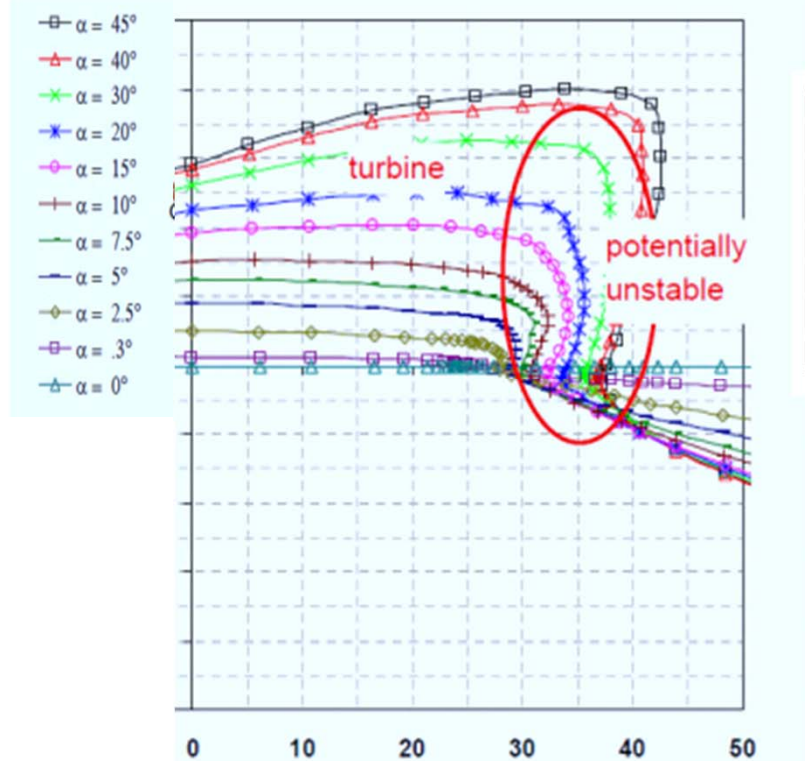
Challenge for technology

- Hydraulic research
- Machine concepts adapted to requirements
- Variable speed solutions
- **Advanced simulation methods for flow and structure**
- **Research of stability phenomena**
- Improved turbine part load and speed no load
- Stable synchronization
- **Improved stability behavior**

Instability in turbine operation

- S-shape instability
- Turbine synchronization
 - Variation of speed and torque hinder synchronization
- Runaway at higher openings
 - High pressure fluctuations in the water system

Operating range of pump turbine in turbine operation



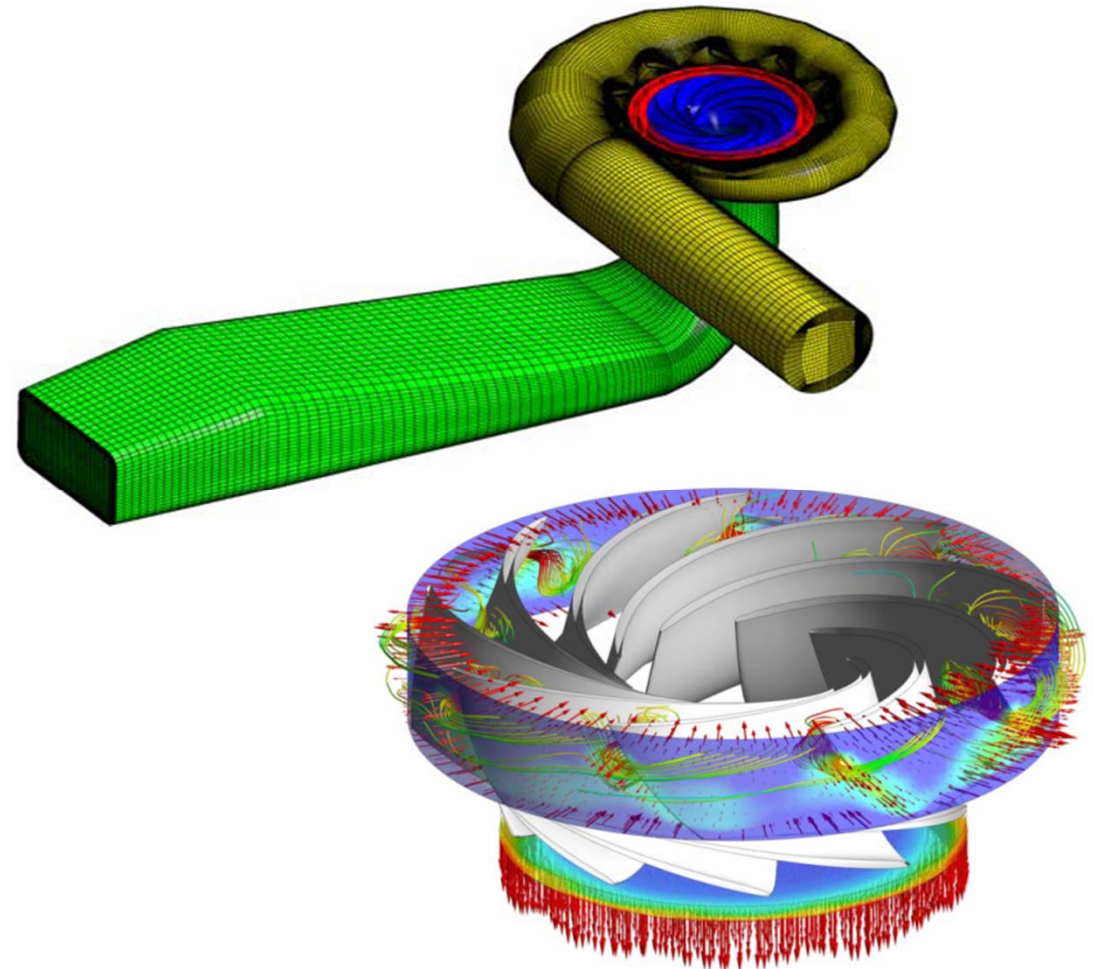
S-shape instability in turbine synchronization

Research program:

- Unsteady flow simulation
- PIV experimental flow visualization

Unsteady flow simulation of entire pump turbine

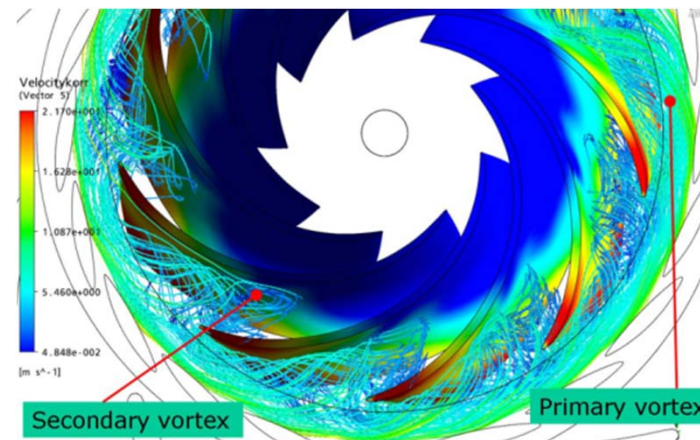
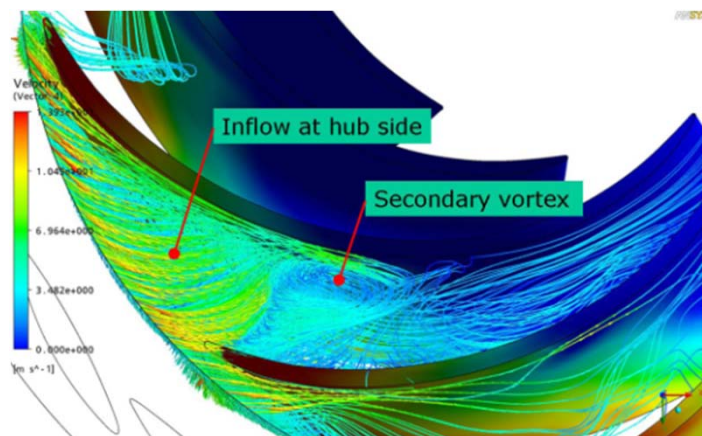
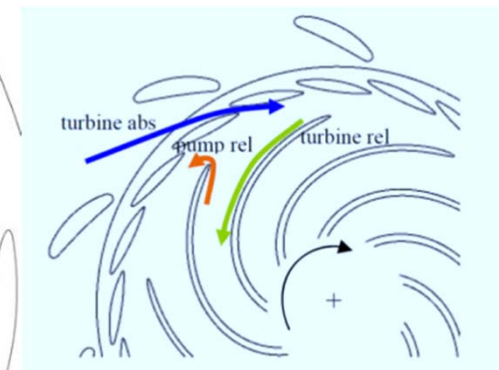
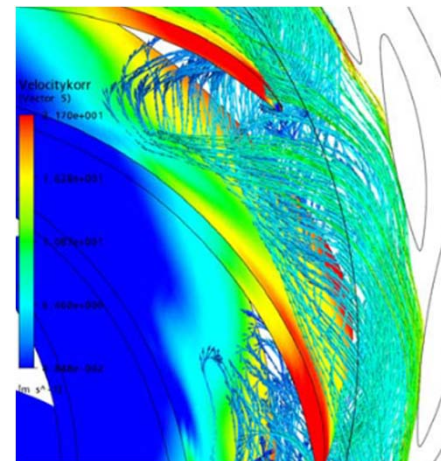
- Pump turbine n_{sq} 160
(e.g.: $H=90$ m, $Q=90$ m³/s)
- 6 Million nodes
- Simulation of stable and unstable runner
- Partial pumping in turbine operation
- Backflow from runner into vane less space



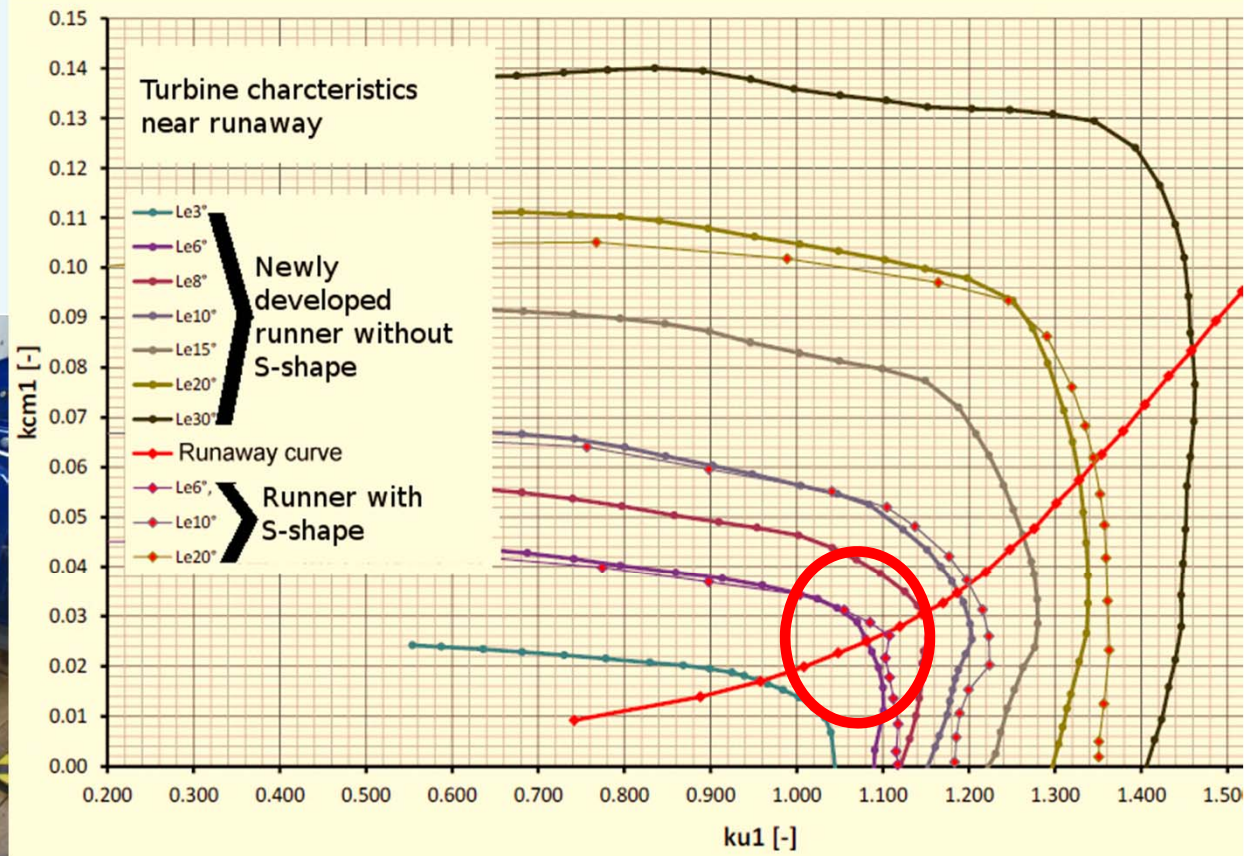
S-shape instability in turbine synchronization

Unsteady flow simulation of entire pump turbine

- Flow structure in guide vanes and runner
- Vortices in runner channel
- Backflow from runner into vane less space
- Distinct vortex pattern at instable operating points
- Toroid-like vortex pattern in vane less space
- Regular vortex: instable behavior
- Irregular vortex: stable behavior



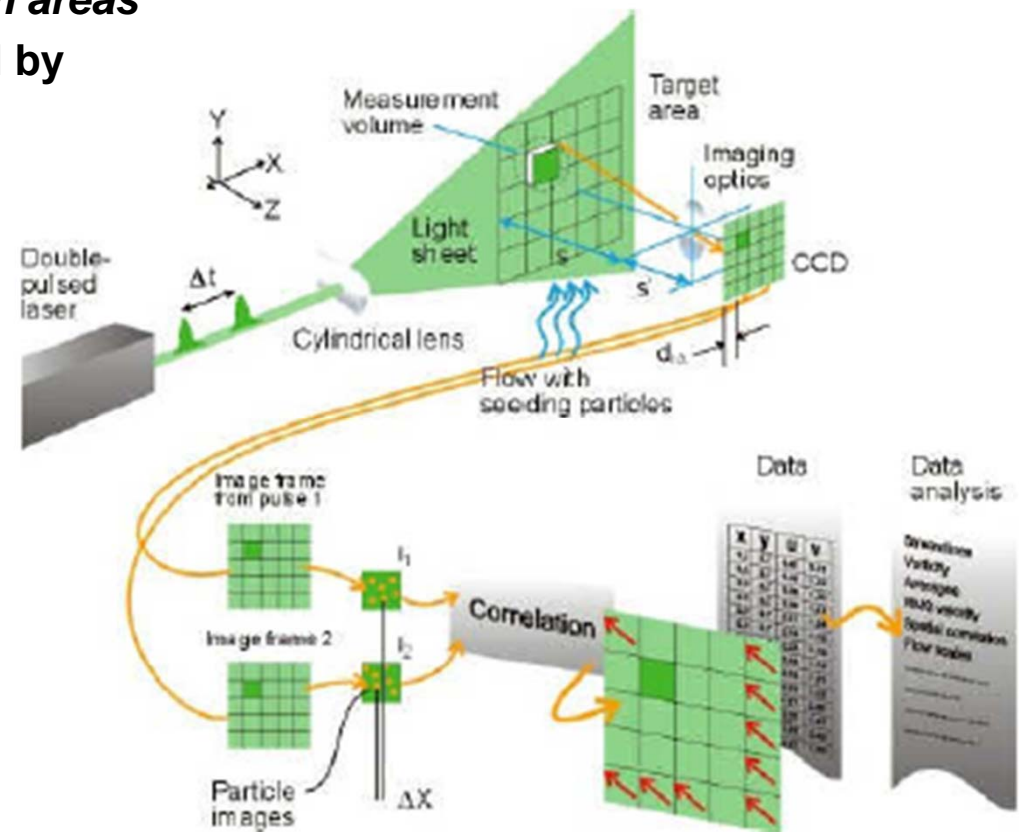
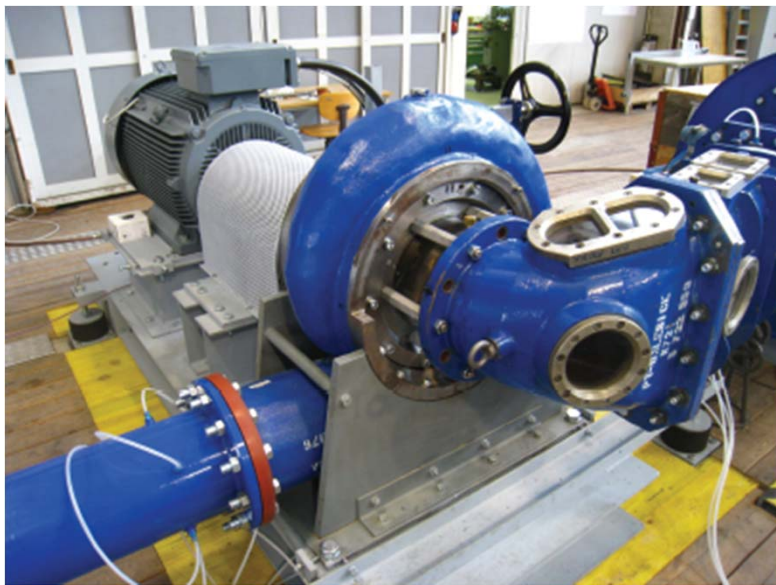
New runner design
Based on criteria derived from investigations
Improved stability in synchronization
Confirmed by model test at TU Graz



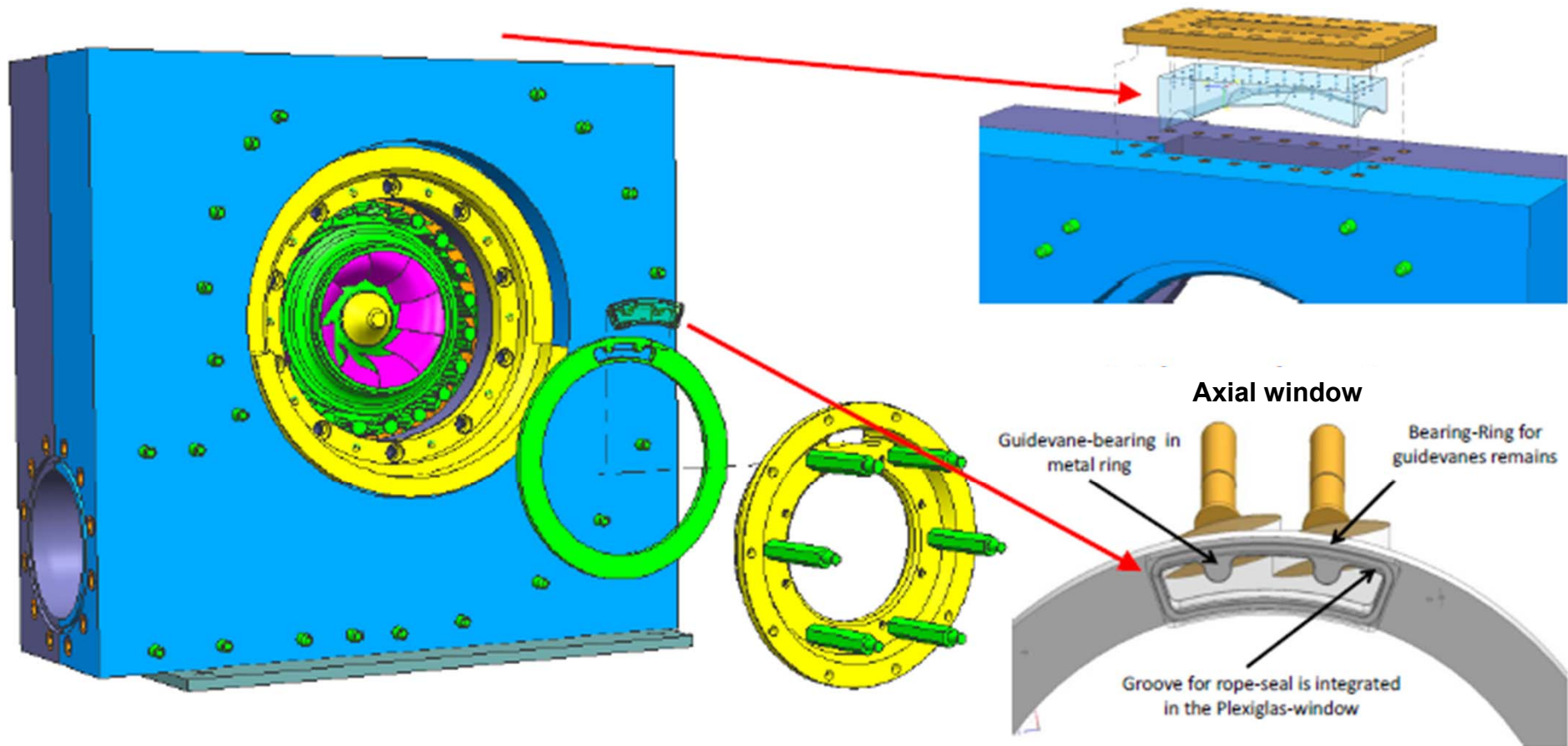
Model test results: original runner and new runner designed according to stability criteria

Flow visualization by particle image velocimetry (PIV)

- Laser plane with tracer particles in the flow
- Two pictures are taken within short time Δt
- Double frames are divided into *interrogation areas*
- Mean particle displacement Δx is calculated by cross correlation
- As a result a vector field is calculated
- Further data processing



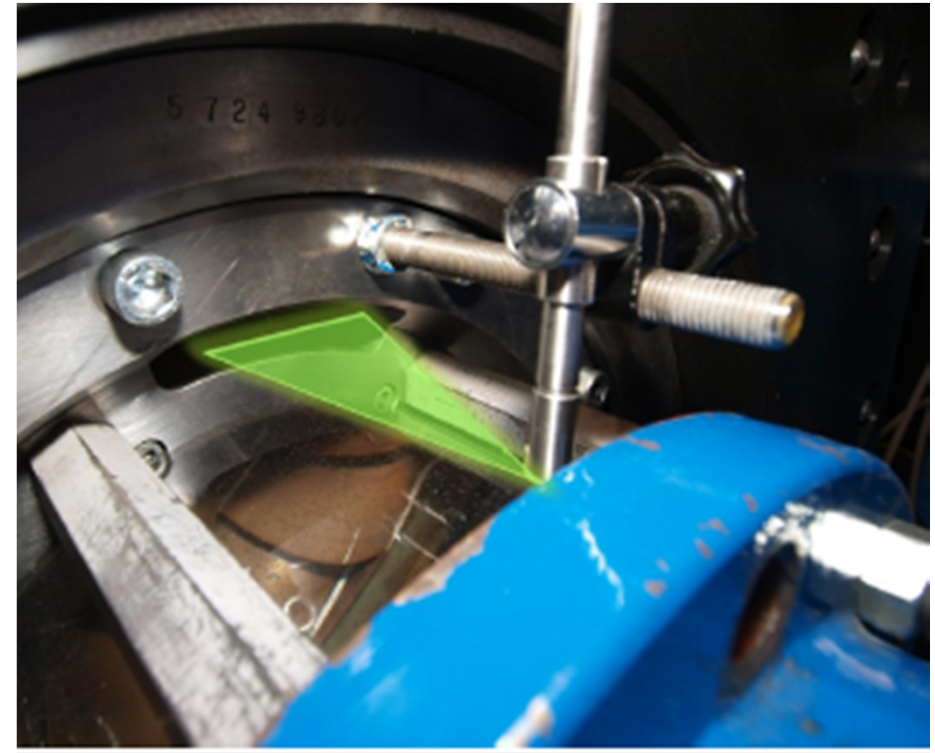
Model arrangement



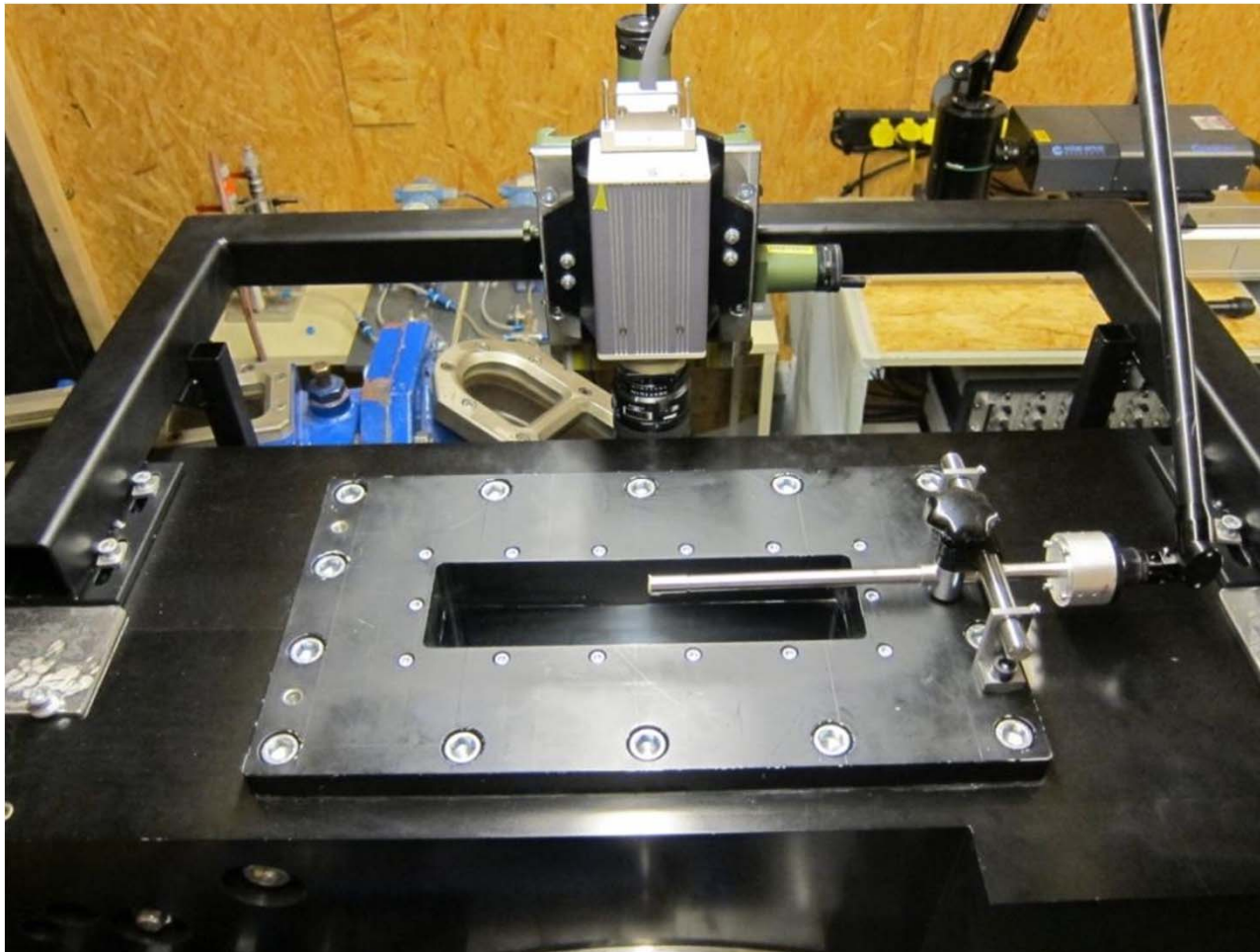
Test rig with Laser installation



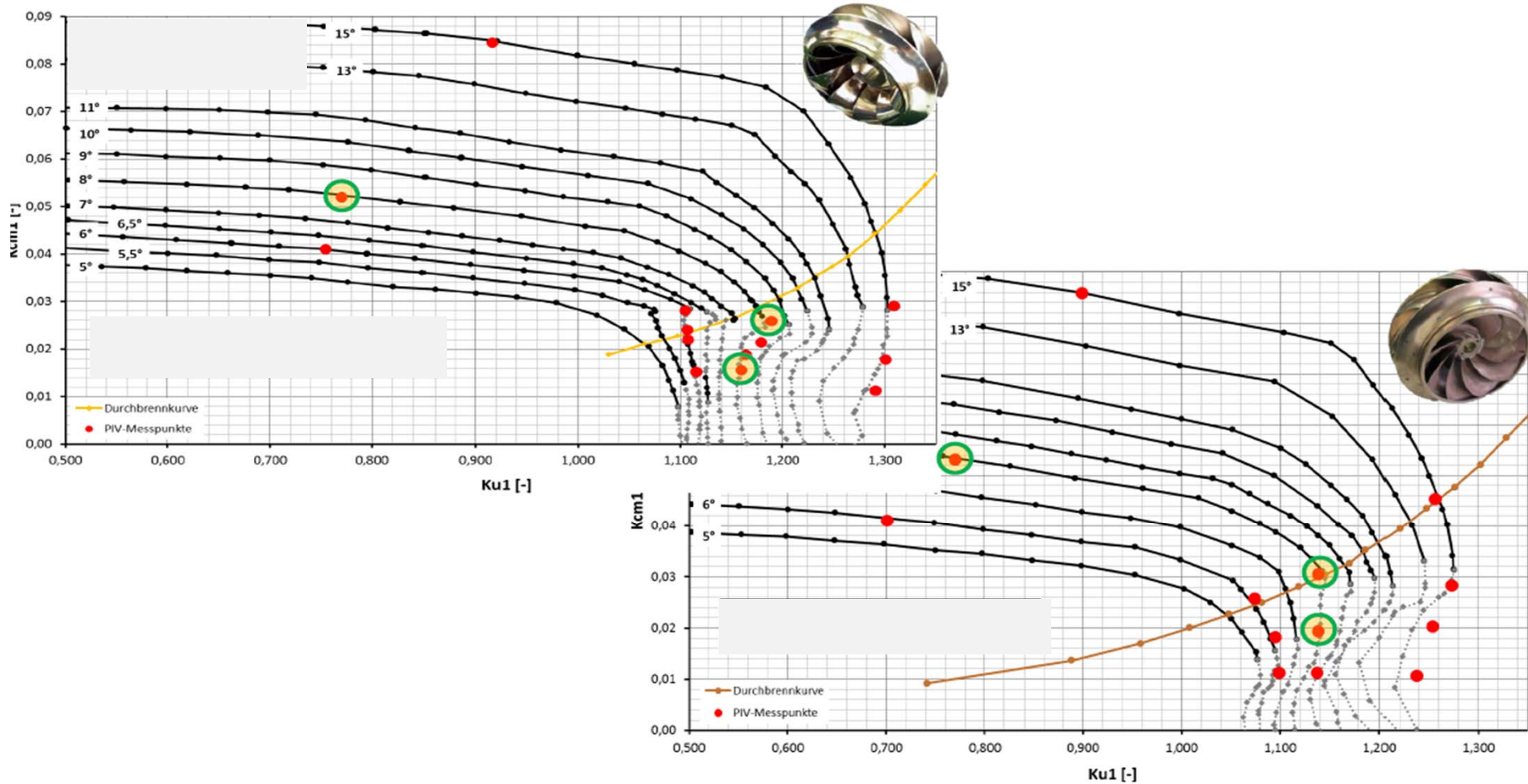
Laser plane, radial view direction



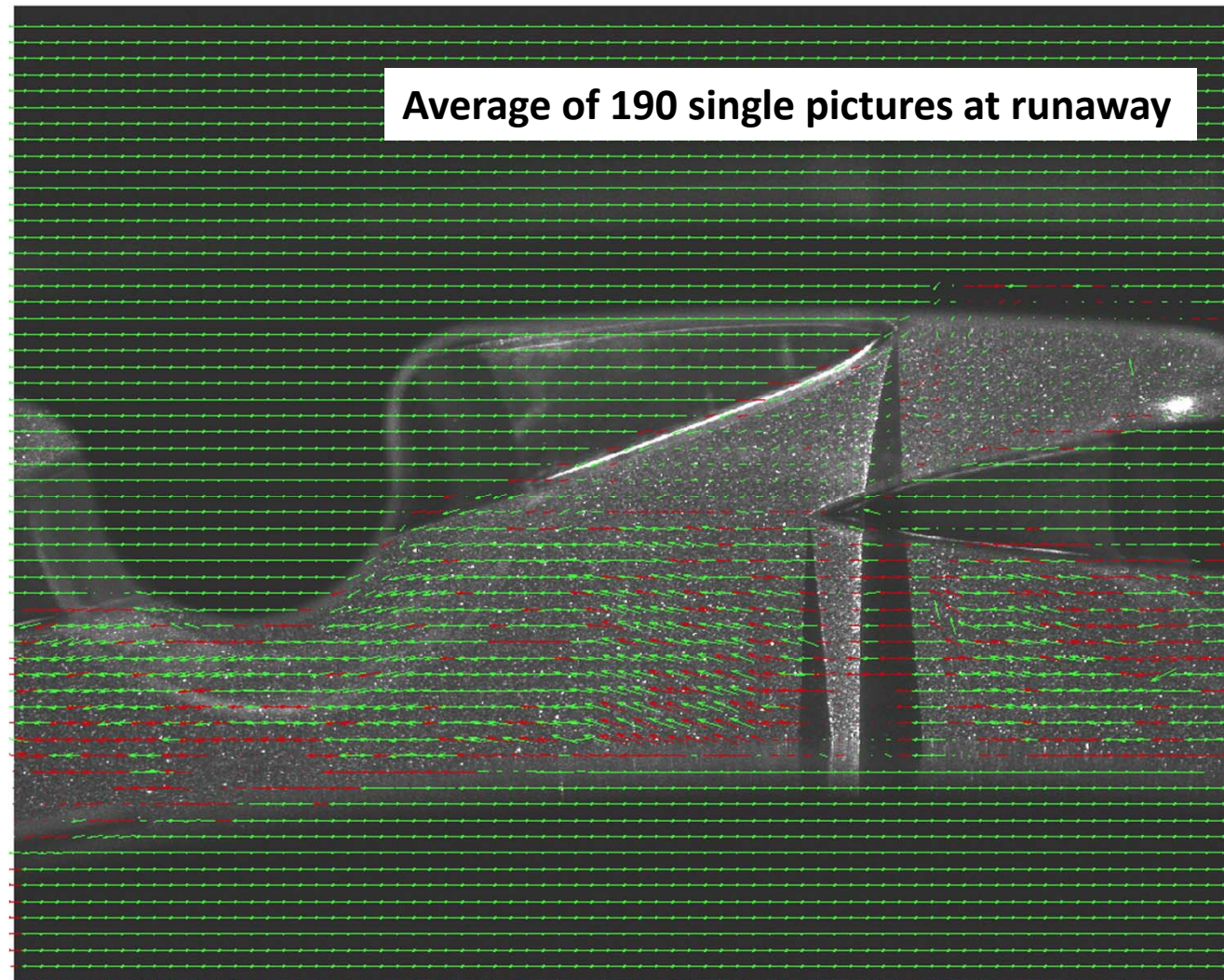
Optical arrangement, axial view direction



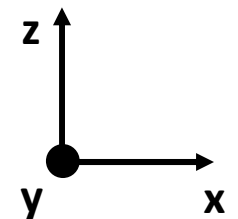
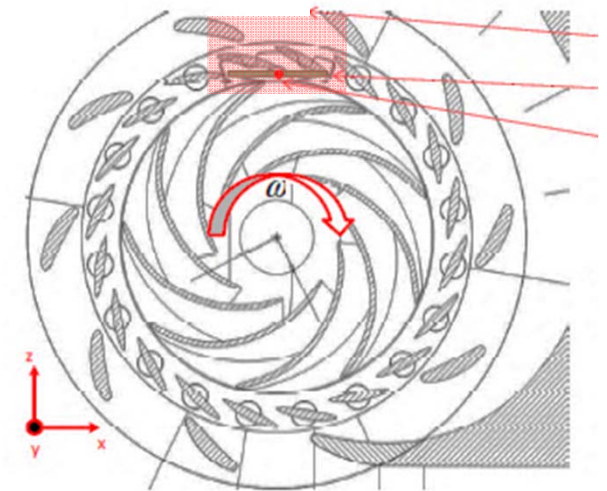
Investigated operation points



Axial interrogation plane, guide vane 6°



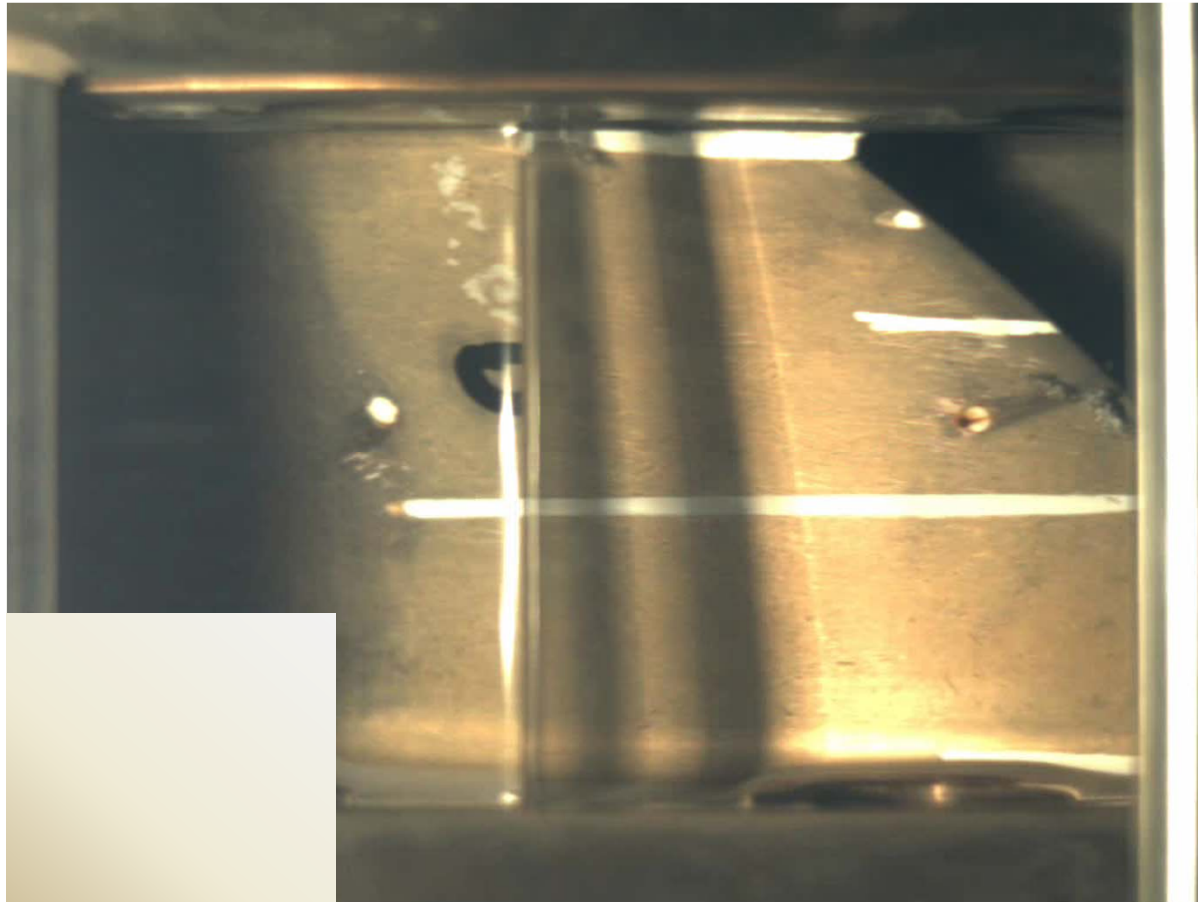
axial view: Direction of view



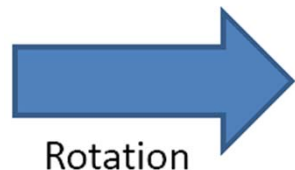
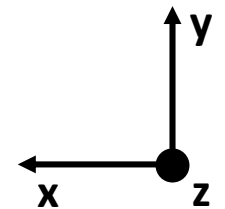
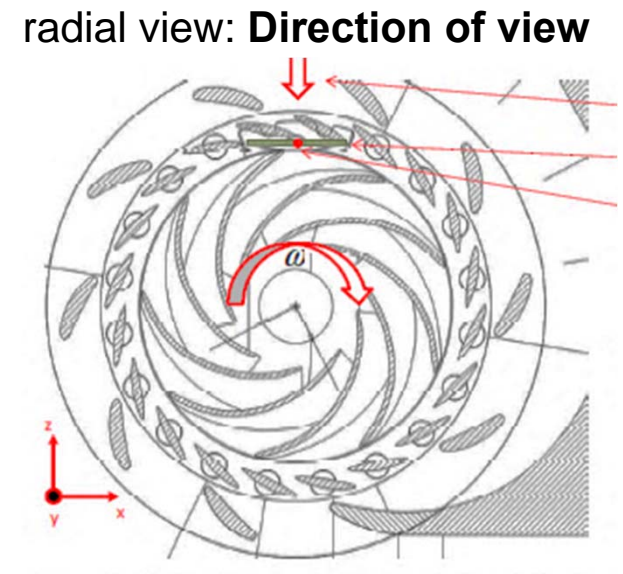
Netzstabilität durch Pumpturbinenstabilität

PIV flow visualization

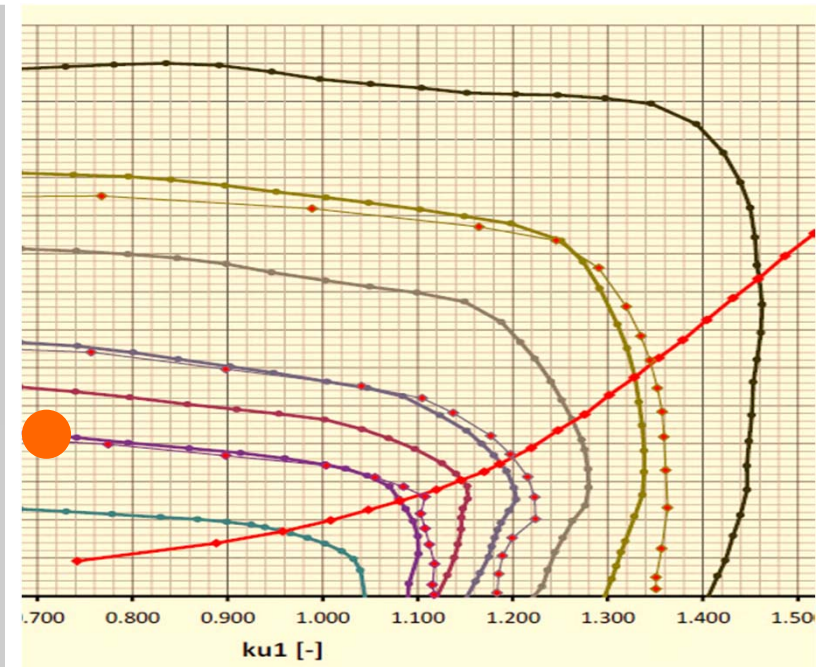
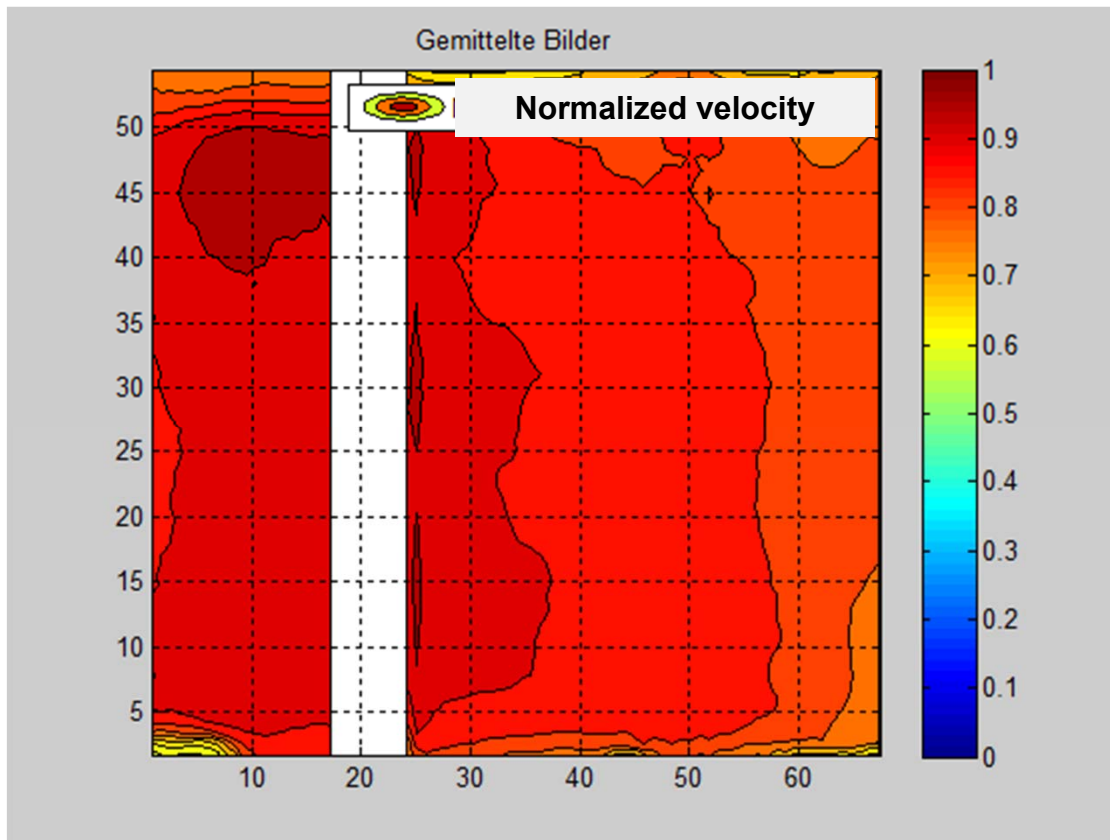
Praktikerkonferenz Wasserkraft
TU Graz, 11./12. September 2013



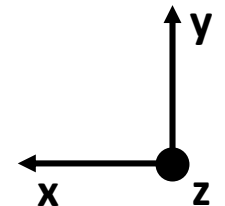
Turbine leading edge, view through transparent guide vanes



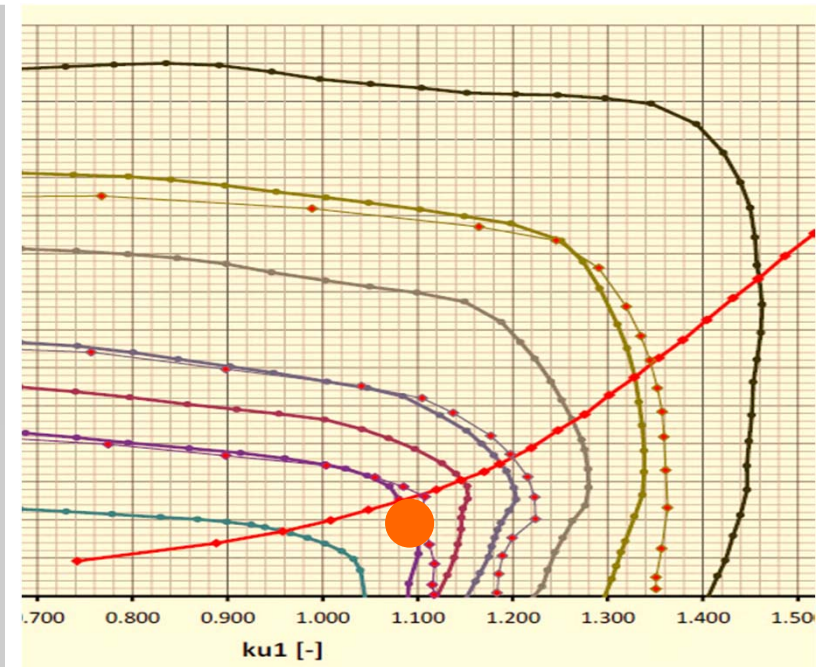
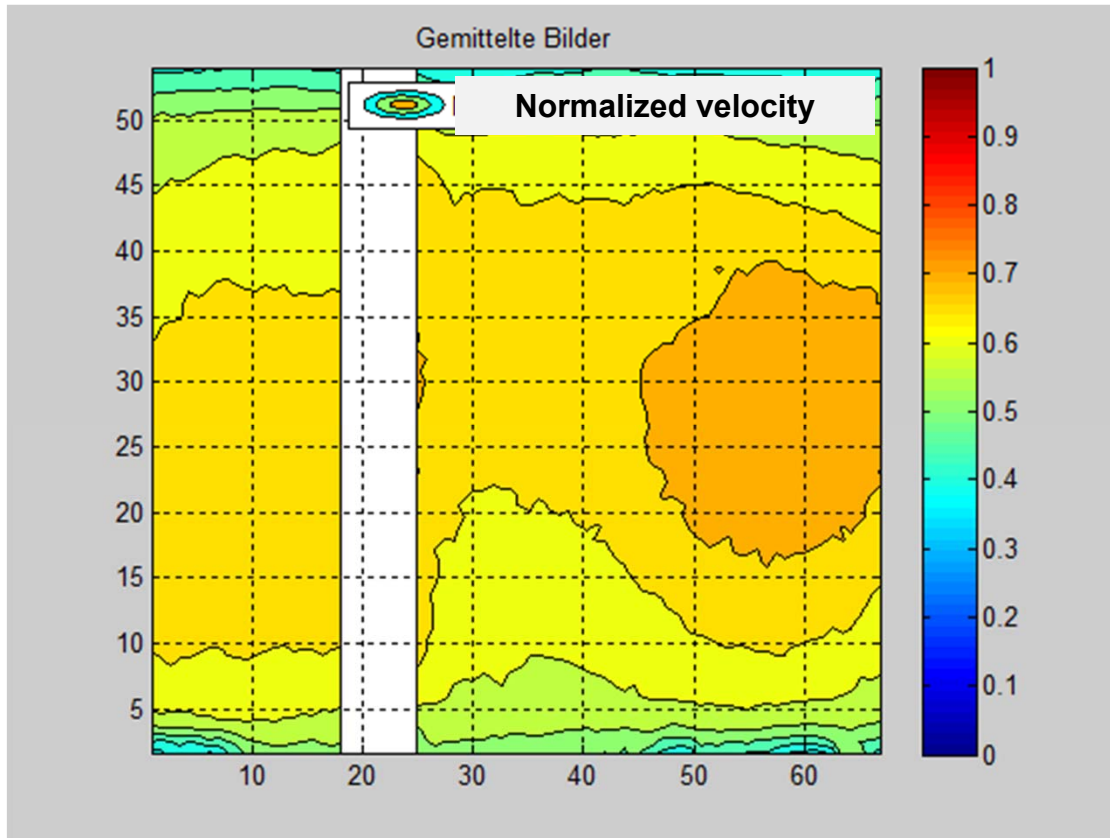
Radial interrogation plane – BEP guide vane 6°



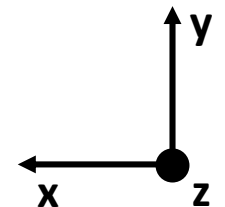
$$c_c = \frac{|\vec{c}|}{n \cdot D_1 \cdot \pi}$$



Radial interrogation plane – turbine brake guide vane 6°



$$c_c = \frac{|\vec{c}|}{n \cdot D_1 \cdot \pi}$$



Praxisorientierte Technologieentwicklung

Marktanforderungen

Zunehmend flexible und dynamische Betriebsweise für Pumpturbinen

Technologie auf höchstem Niveau

- Verbesserte Methoden zur Strömungssimulation (stationär und instationär)
- Kontinuierliche Forschung im Bereich der physikalischen Vorgänge und detaillierte Untersuchung der Strömungsphänomene
- Identifizieren von charakteristischen Wirbelstrukturen bei Synchronisieröffnung und beim Durchgang
- Verbessertes Laufrad ohne S-Schlag-Instabilität auf Basis der Strömungssimulation

Wasserkraft, Pumpspeicherung insbesondere, wird zunehmend dynamisch

- Preisspanne Hoch- und Niedriglast wird geringer
- Flexibilität und Netzdienstleistungen gewinnen an Bedeutung

Die Folgen für Hersteller und Betreiber

- Spitzenwirkungsgrad alleine beschreibt nicht die volle Qualität einer Maschine
- Schwerpunkt auf Lebensdauer und Zuverlässigkeit

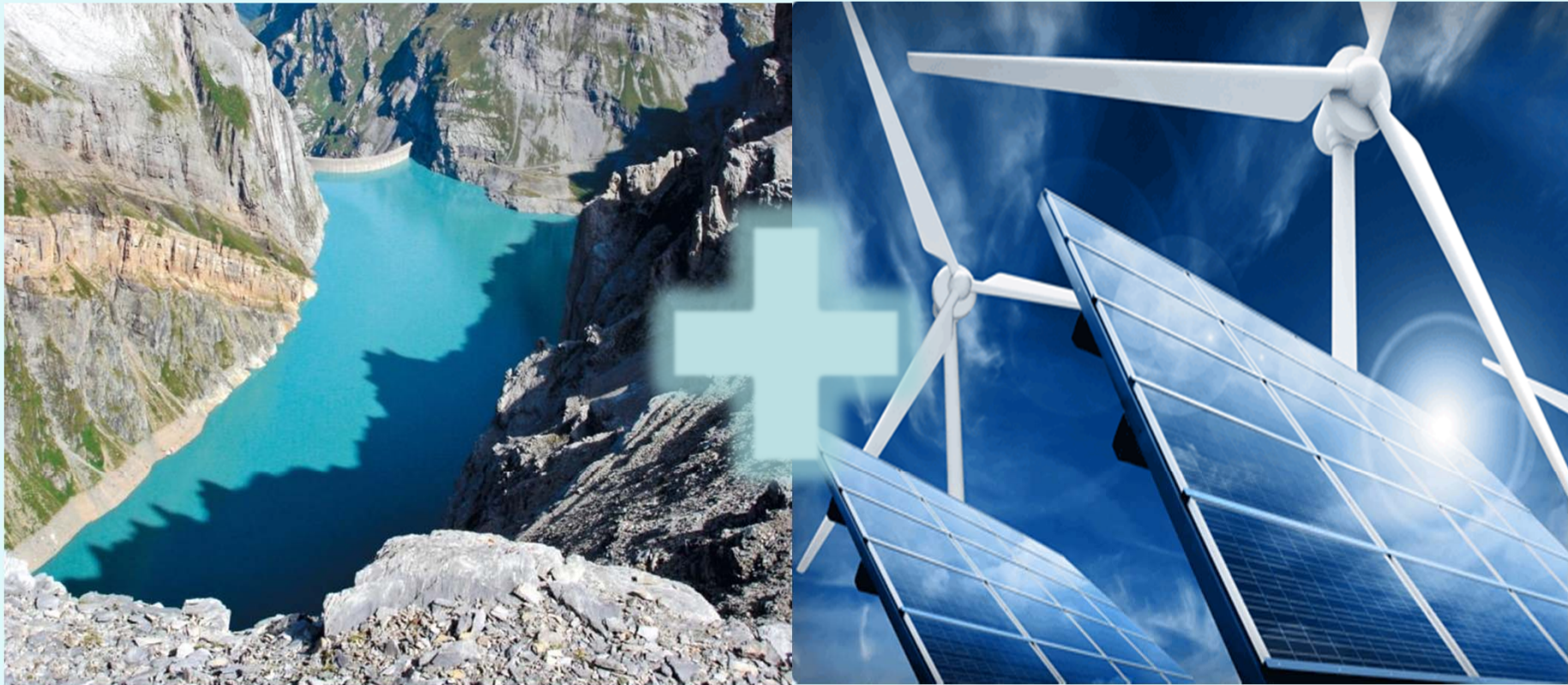
Technische Lösungen für flexiblen Betrieb

- Variable Drehzahl, Vollumrichter
- Ternäre Anlagen mit kurzen Umschaltzeiten
- 2-stufige regulierbare Pumpturbinen
- Standardisierte Pumpturbinen kleiner und mittlerer Leistung, drehzahlvariabel mit Vollumrichter

Nutzen für den Betrieb

- Optimierte hydraulische Eigenschaften und hohe Kavitationssicherheit
- Ruhiger und stabiler Betrieb in einem weiten Einsatzbereich
- Maximale Zuverlässigkeit trotz dynamischer Betriebsweise
- Lange Lebensdauer

Pumpspeicherung wird mit höchster Wahrscheinlichkeit die bevorzugte Speicherlösung sein, um einen hohen Prozentsatz Elektrizität aus nicht planbaren, erneuerbaren Quellen ins Netz zu integrieren



Wasserkraft plus Sonne plus Wind

Pumpspeicherung, eine Notwendigkeit im elektrischen Netz der Zukunft

Dr.-Ing. Christof Gentner
R&D Radial Machines
Head of Hydraulic Design Radial
ANDRITZ HYDRO AG

Hardstrasse 319
8021 Zürich, Switzerland
christof.gentner@andritz.com

www.andritz.com

ANDRITZ
Hydro