



EnInnov2014

13. Symposium Energieinnovation



Institute for
Thermal Turbomachinery
and Machine Dynamics

Graz University of Technology
Erzherzog-Johann-University

VERBESSERTE NUTZUNG DER WINDKRAFT DURCH ANORDNUNG NEUARTIGER WINDTURBINEN AUF BERGEN UND GEWÄSSERN

Herbert Jericha, Emil Göttlich

Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik
Technische Universität Graz



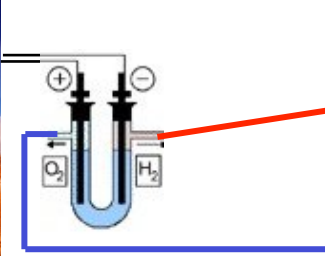
Introduction

- ASME 2010: Power Plants using photovoltaics, tidal flow, wind, ... produce electricity at different time periods and different locations
- Electrolysers split water and H₂ and O₂ are delivered to storage tanks which feed several new hybrid plants in generating peak power

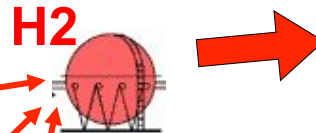
Wind power (see e.g. proposal Max Platzer, 2009)



Electrolyser

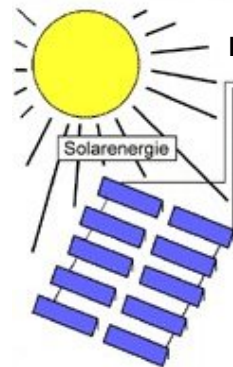


High-pressure tanks allow peak power generation

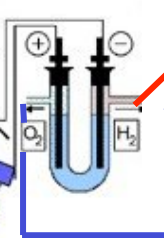


New Hybrid FC-GT Plant 150 MW, 75 % therm. efficiency, proposed at ASME 2010 by authors

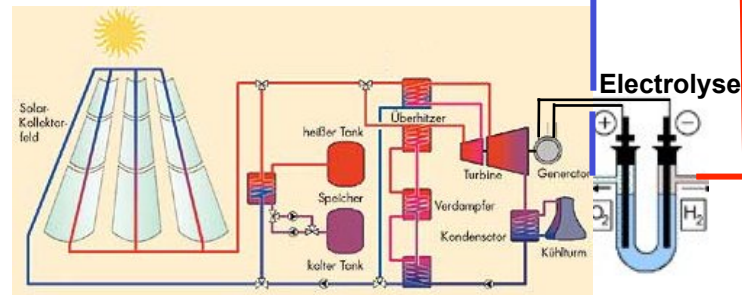
Source: www.poweralstom.com



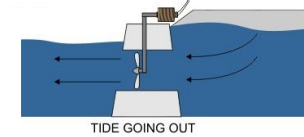
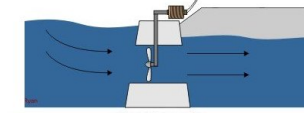
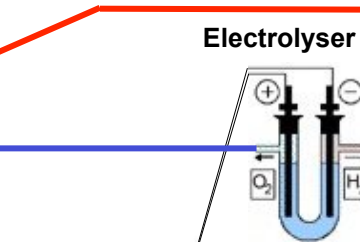
Electrolyser



Photovoltaics (see work of Princeton Univ. 1984)



Solar thermal plant



Tidal power



- Yasuki Shirakawa hat durch seine Veröffentlichung „The impact of atmospheric CO₂ concentration above 400 ppm,“ „Global CCS Institute“ im November 2013 mitgeteilt dass:
„with 400 ppm CO₂ in the atmosphere we have crossed an historic threshold and entered an new danger zone ... we all have to take note what that means.“
- In Anbetracht dessen und zum Zwecke der Erhöhung des Anteils der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen hat das Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik der Technischen Universität Graz zwei neue Windenergiekonverter entwickelt, die starke Winde in schwierigem Gelände erfassen können.
- Dabei handelt es sich einerseits um eine Windturbine mit vertikaler Achse und in Zwangsbewegung umlaufenden und um ihre Achse rotierenden Rotorscheaufeln sowie
- andererseits um eine schnelllaufende Windturbine zur Konvertierung von katabatischen Winden.
- Für die senkrecht stehende Windturbine wurde bereits durch die TU Graz Förderung für das entsprechende bereits erteilte Patent erhalten.

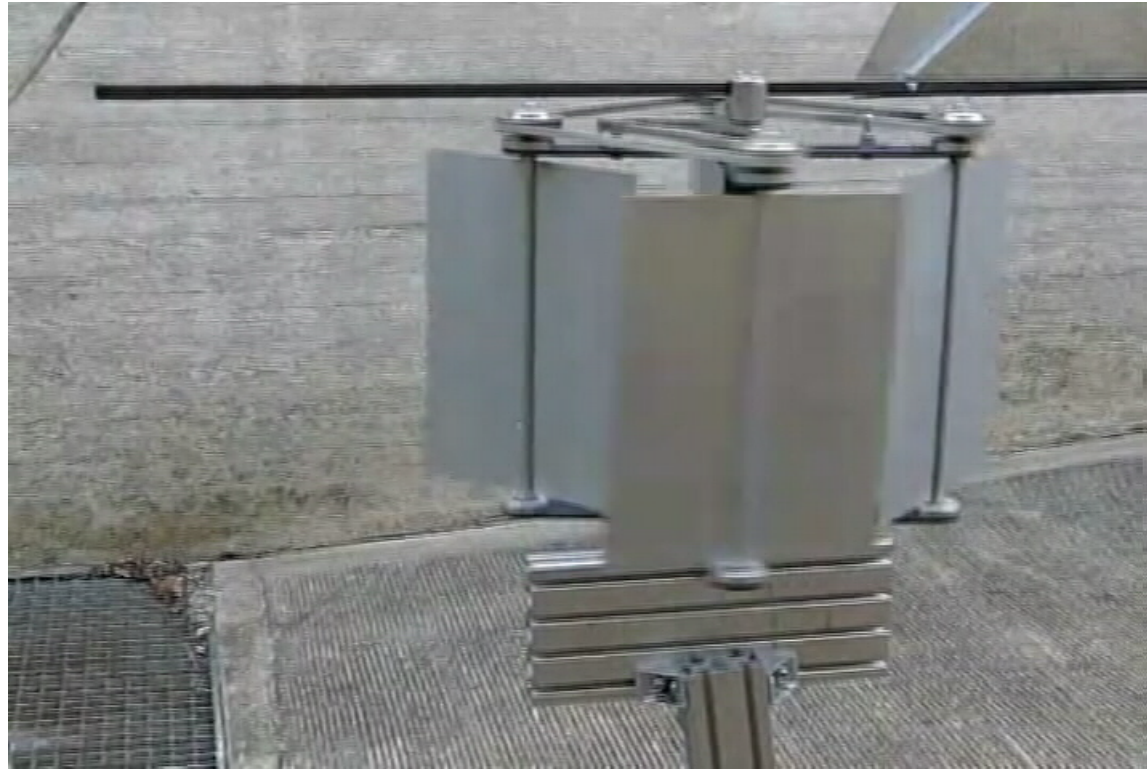
- **Windenergie: hohes Potential für zukünftige Energiegewinnung**
- **Windturbinen mit vertikaler Achse (Vertical-axis wind turbines - VAWT) können Wind höherer Geschwindigkeit von allen Seiten verarbeiten -> höherer jährlicher Nutzungsgrad**
- **Widerstandsläufer von Savonius in 1931**
- **Heute vorwiegend Auftriebsläufer wie von Darrieus: helixförmige Schaufeln (“eggbeater”) oder gerade Schaufeln**
- **geradschaufelige VAWT: fixe Geometrie oder variable Anstellwinkel**
- **Medium- und Large-Scale Maschinen: höhere Komplexität notwendig**
- **Deshalb wird eine neue VAWT mit variabler Schaufelstellung für größere Leistungen vorgestellt, die in einem erweiterten Bereich von Windgeschwindigkeiten einsetzbar ist.**

Savonius
Design

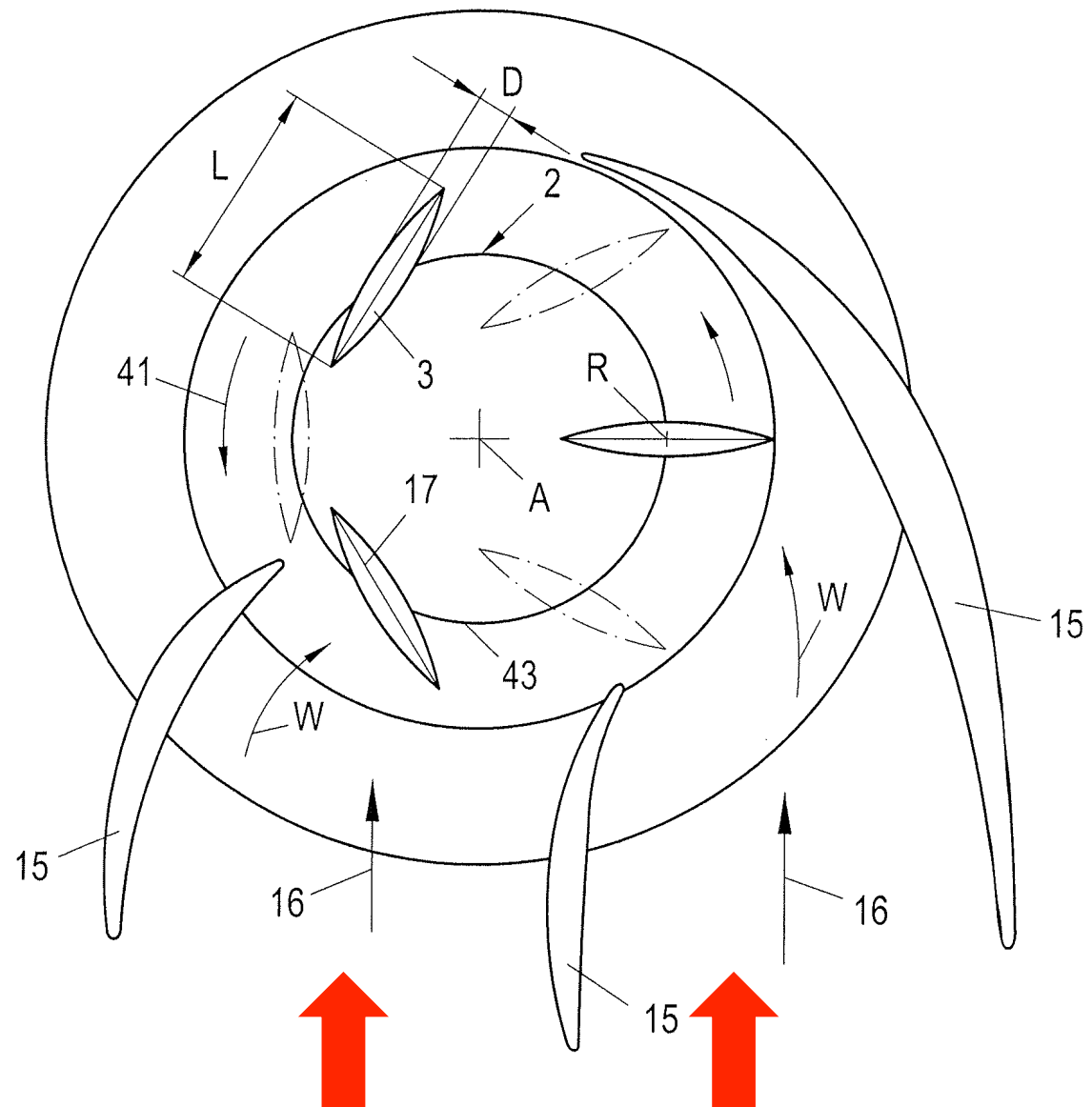


Darrieus
Design

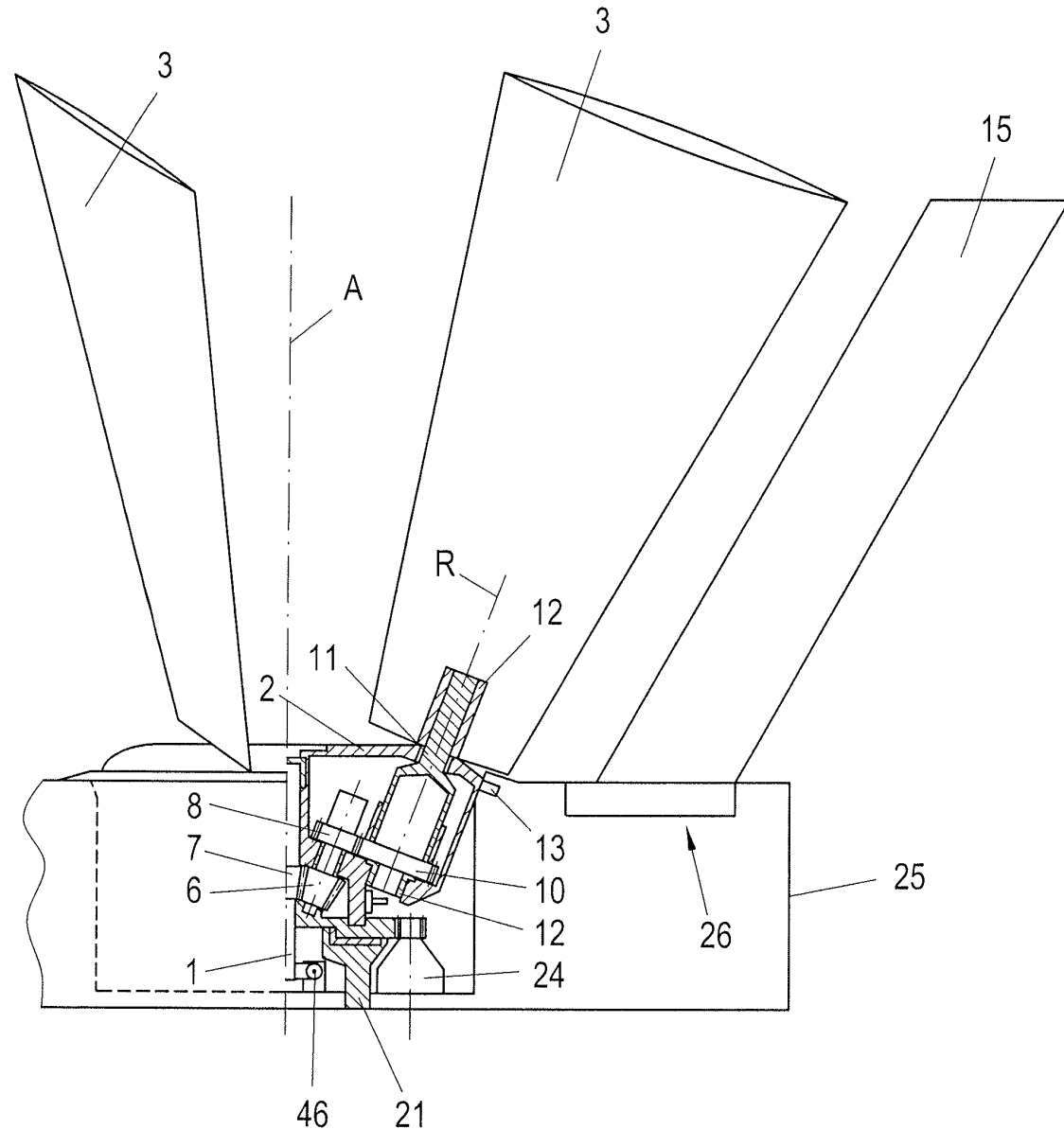




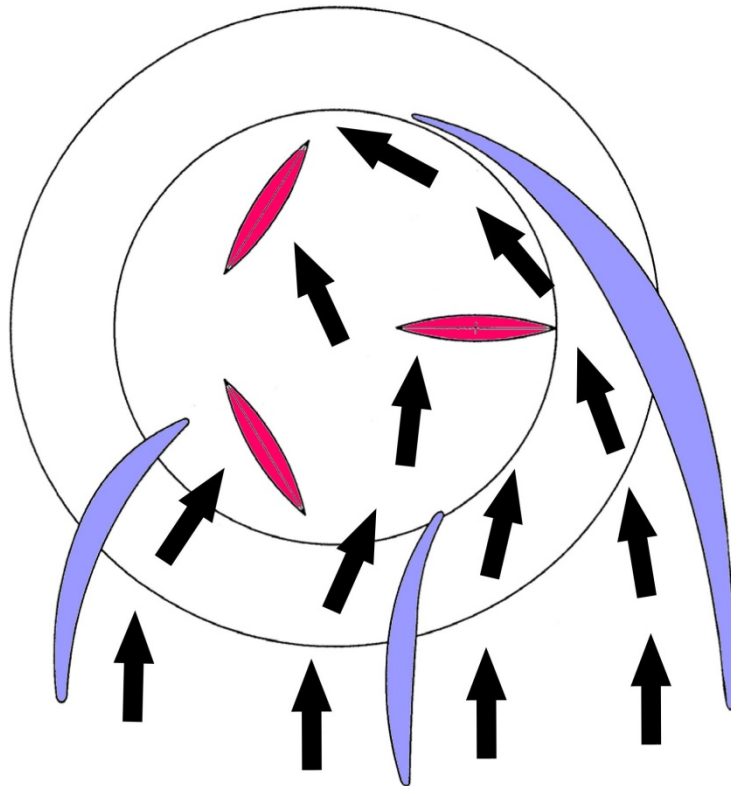
- **Draufsicht auf die rotierende Plattform und Schaufelquerschnitte**
- **16 m Sehnenlänge (L), 16 m Umlaufradius (R), in mittlerer Schaufelhöhe**
- **Plattformdrehzahl ist doppelte Drehzahl der Schaufeln um ihre eigene Achse**
- **Zusammenspiel von drei Leitschaufeln und drei in Zwangsbewegung laufenden Rotorschaukeln auf rotierender Plattform**



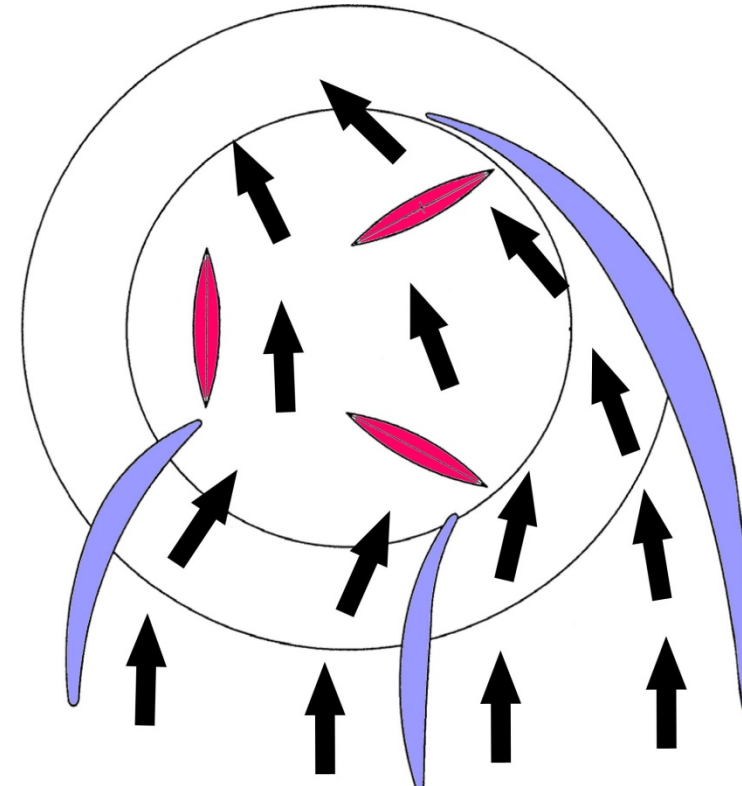
- **Auswärts geneigte Laufschaufeln (ca. 20°)**
- **Schaufellänge 37.2 m**
- **Sehnenlänge nimmt vom Fuß zur Spitze hin zu (Verhältnis 2.5) – rechte Schaufel im Bild unverzerrt**
- **Mechanismus der Schaufelbewegung sichtbar**



- Leitschaufeln lenken den Wind normal auf die Laufschaufeln (Breitseite) während eines großen Teils ihres Umlaufes
- Leitschaufeln werden Zusammen mit dem Tragring in den Wind gedreht

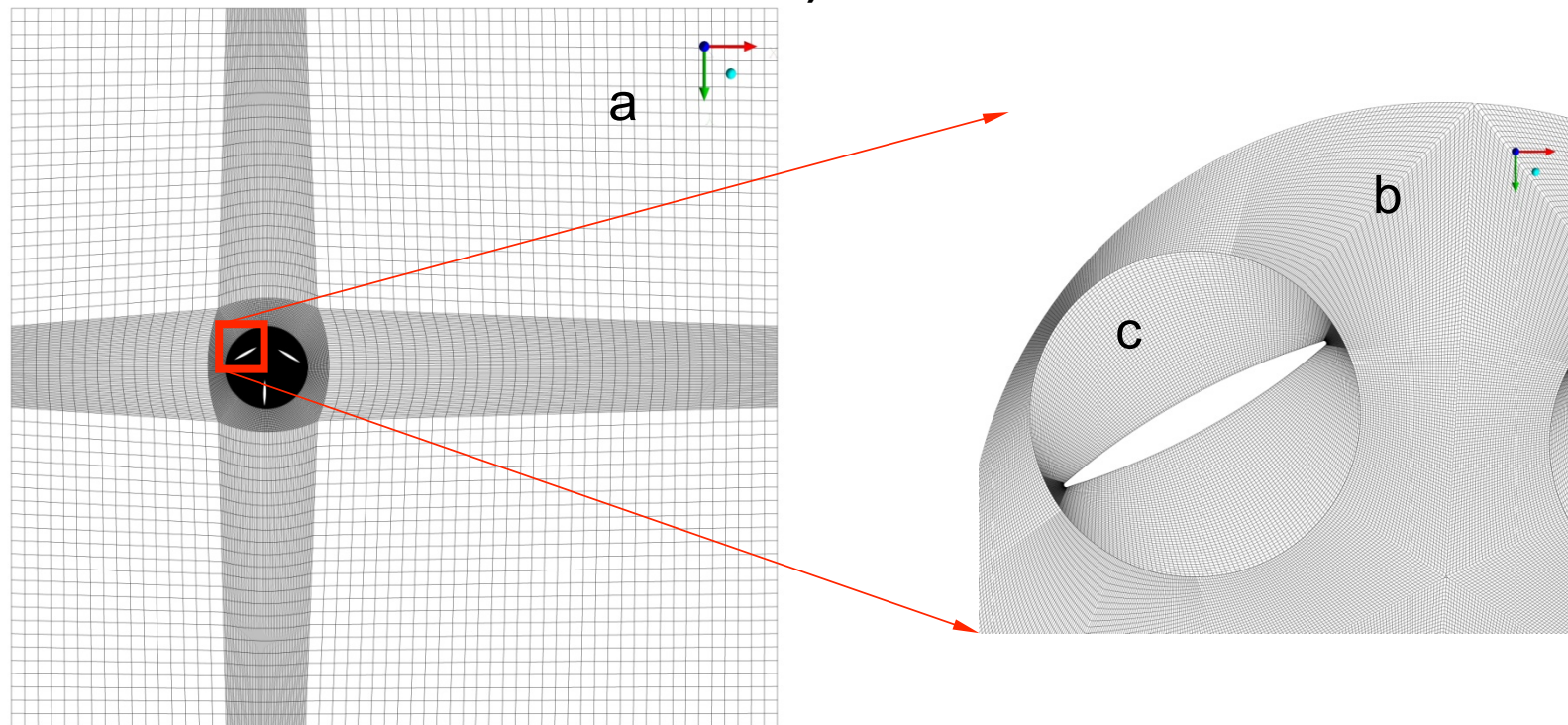


Alle drei Laufschaufeln werden vom Wind auf der Breitseite beaufschlagt

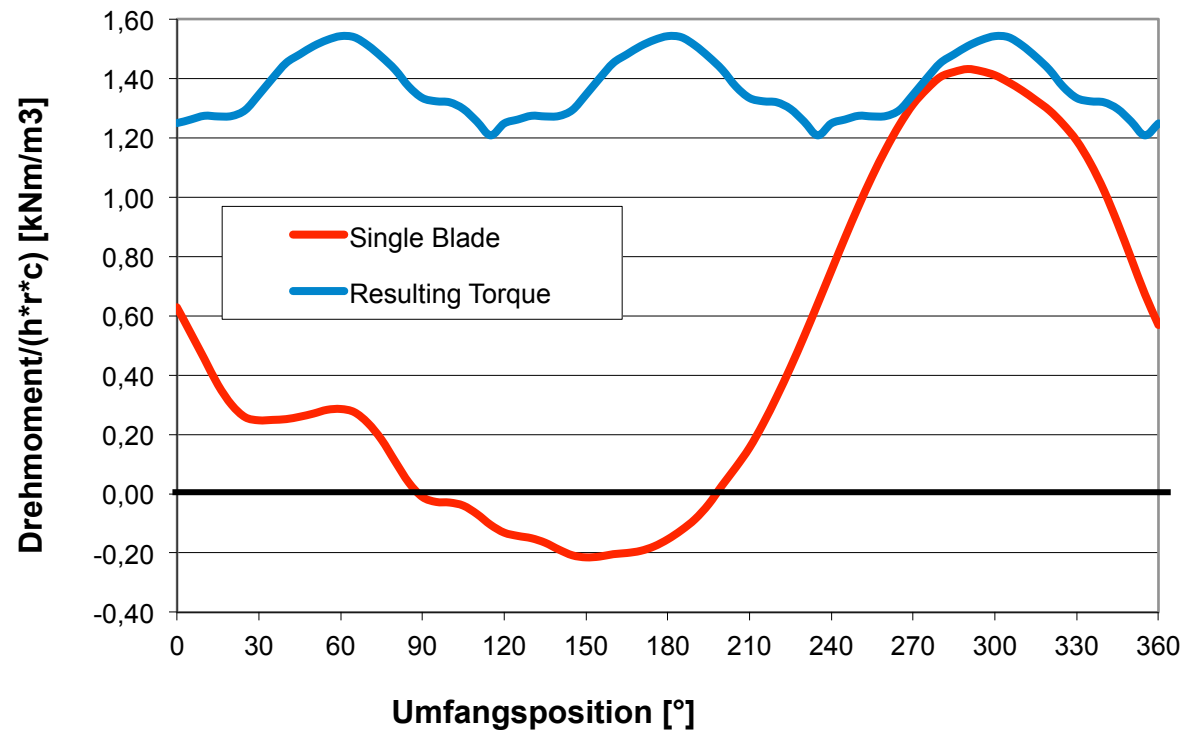


Zwei Schaufeln werden auf der Breitseite beaufschlagt, die rücklaufende befindet sich im Windschatten der linken Leitschaufel

- **Erster Schritt: 2D instationäre Simulation ohne Leitschaufeln**
- **Einfache Modellierung der Laufschaufeln: a) großes rechteckiges Netz der Außenströmung, b) kreisförmiges Netz für Plattformbewegung, c) 3 kreisförmige Netze für Schaufelbewegung: insgesamt 233 000 Zellen**
- **ANSYS CFX mit SST $k-\omega$ Turbulenzmodell**
- **Windgeschwindigkeiten von 5 – 36 m/s, Geschwindigkeitsverhältnis 0.2 – 0.6 (Umfangsgeschw. : Windgeschw.)**

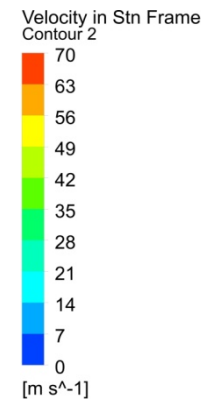
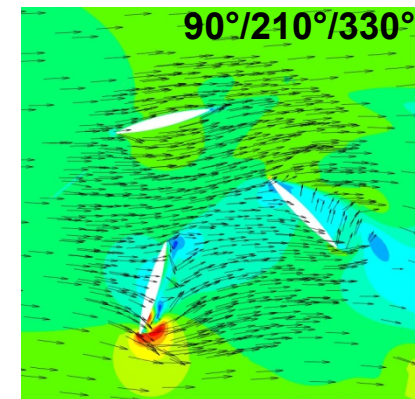
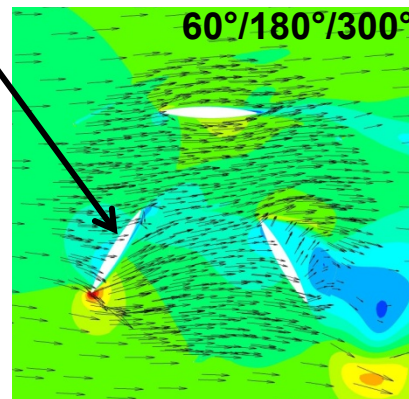
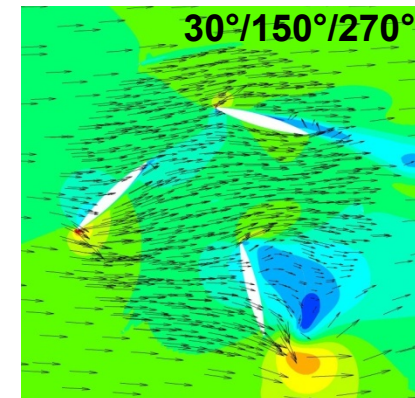
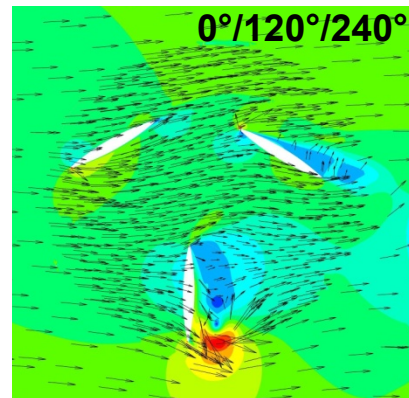
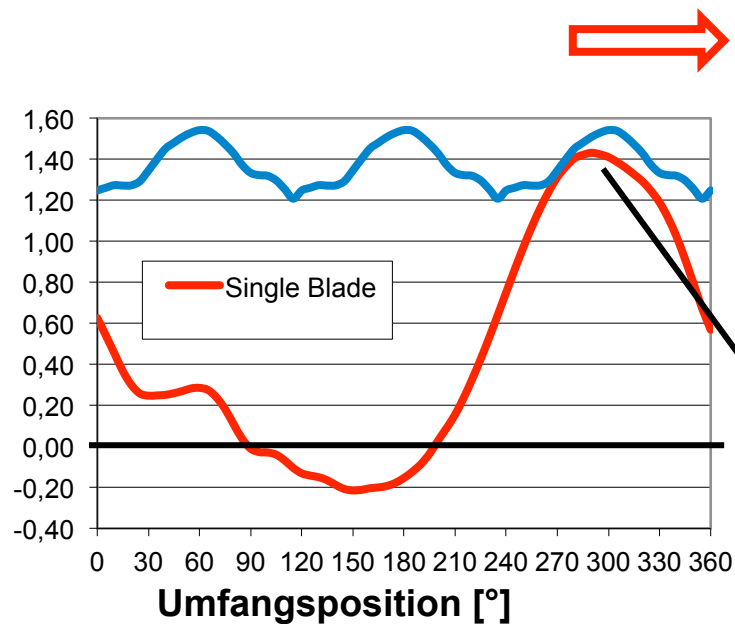


- Drehmoment von Einzelschaufel und Gesamtdrehmoment
- Windgeschwindigkeit: 36 m/s, Geschwindigkeitsverhältnis : 0.5
- Drehmoment bezogen auf (Sehnenlänge c x Umlaufradius r x Schaufelhöhe h)
- Durchschnitt der Einzelschaufel: 0.46 kNm/m^3 (vs. Maximum 1.43 kNm/m^3)
- Fast konstantes Drehmoment für alle Schaufeln



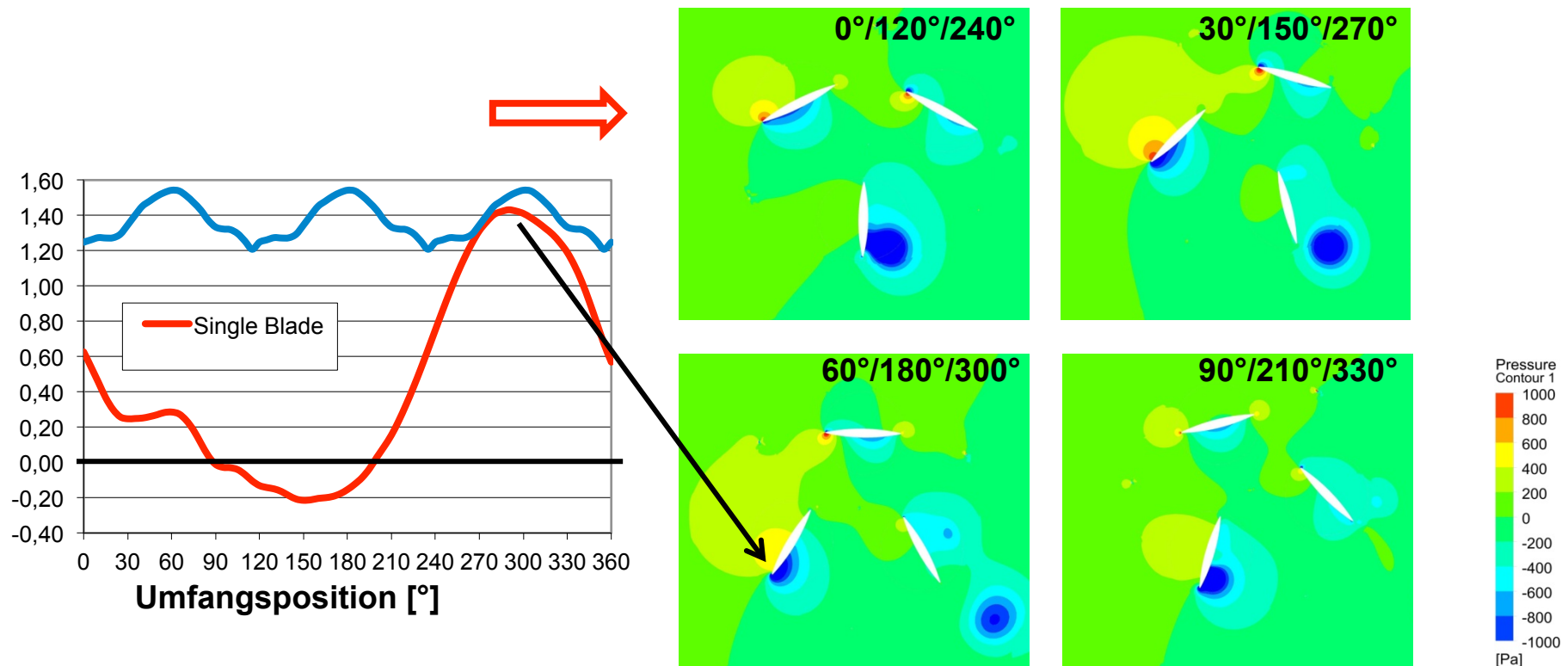
- **Maximalmoment nicht bei 0° (Ablösung), sondern bei 290°**
- **Negatives Moment zwischen 90° und 195° (neg. Auftrieb im hinteren Bereich)**
- **Höchstes Moment in der vordersten Position mit optimaler Relativgeschw.**

Instationäre Geschwindigkeitsverteilung (Konturplot und Vektoren)



- **Maximalmoment nicht bei 0° (Ablösung), sondern bei 290°**
- **Negatives Moment zwischen 90° und 195° (neg. Auftrieb im hinteren Bereich)**
- **Höchstes Moment in der vordersten Position mit optimaler Relativgeschw.**

Instationäre Druckverteilung



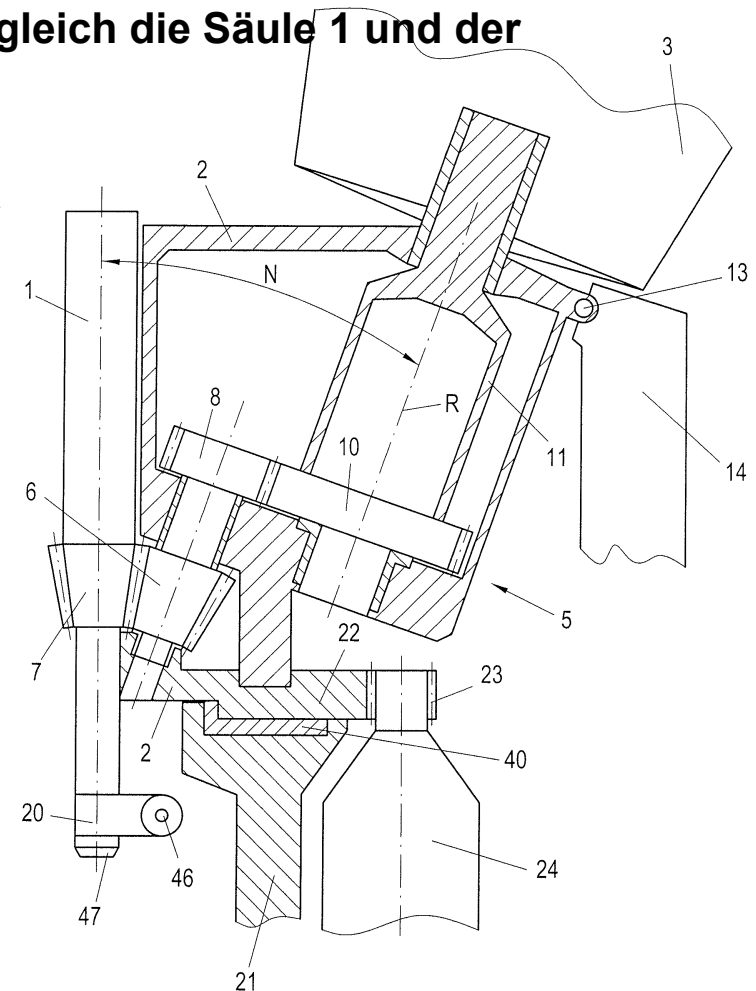
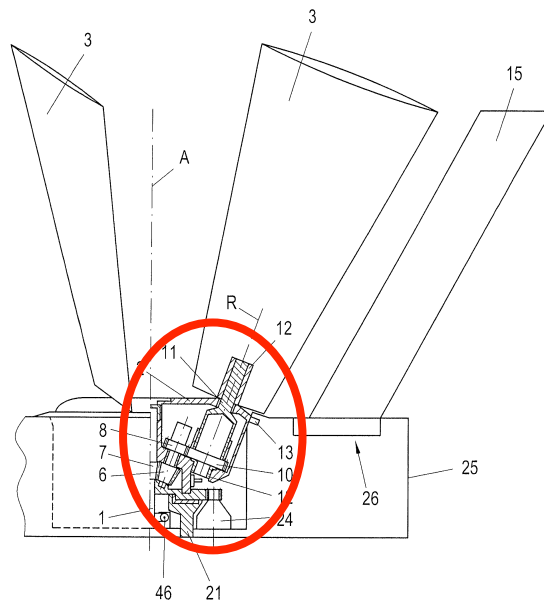


- Plattformgeschwindigkeit variiert für Windgeschwindigkeit von 36 m/s
- Drehmoment nimmt mit sinkender Drehzahl zu
- Leistung (Moment x Winkelgeschwindigkeit) maximal bei Geschw.verh. 0.5

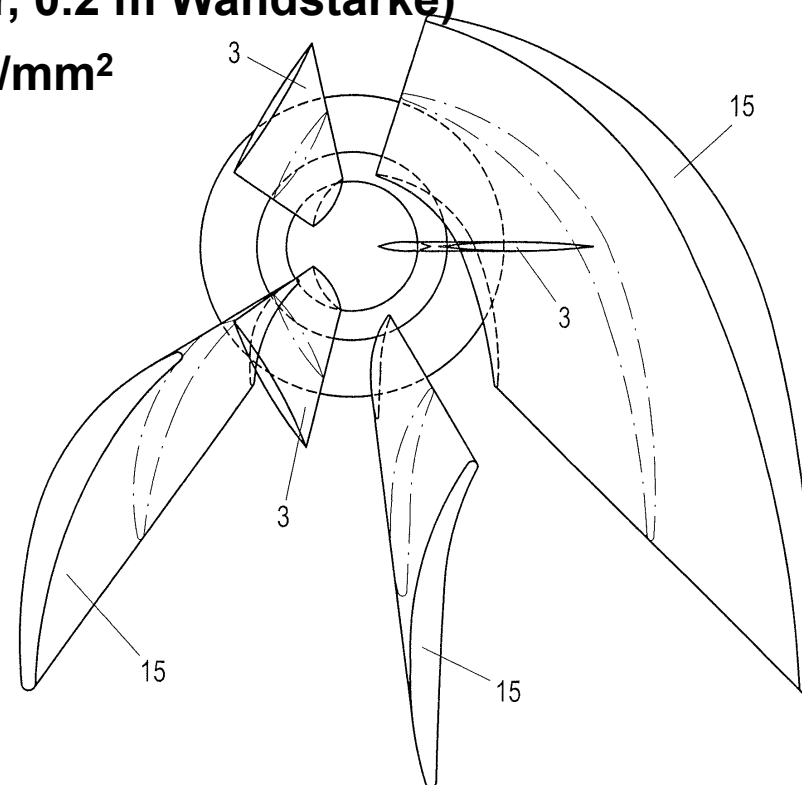
Geschw.verh. (v_{rot}/v_{wind})	Drehmoment [kNm/m ³]	Leistung [kW/ m ²]
0.2	2.52	18.2
0.3	2.17	23.5
0.4	1.70	24.4
0.5	1.37	24.7
0.6	1.06	22.9

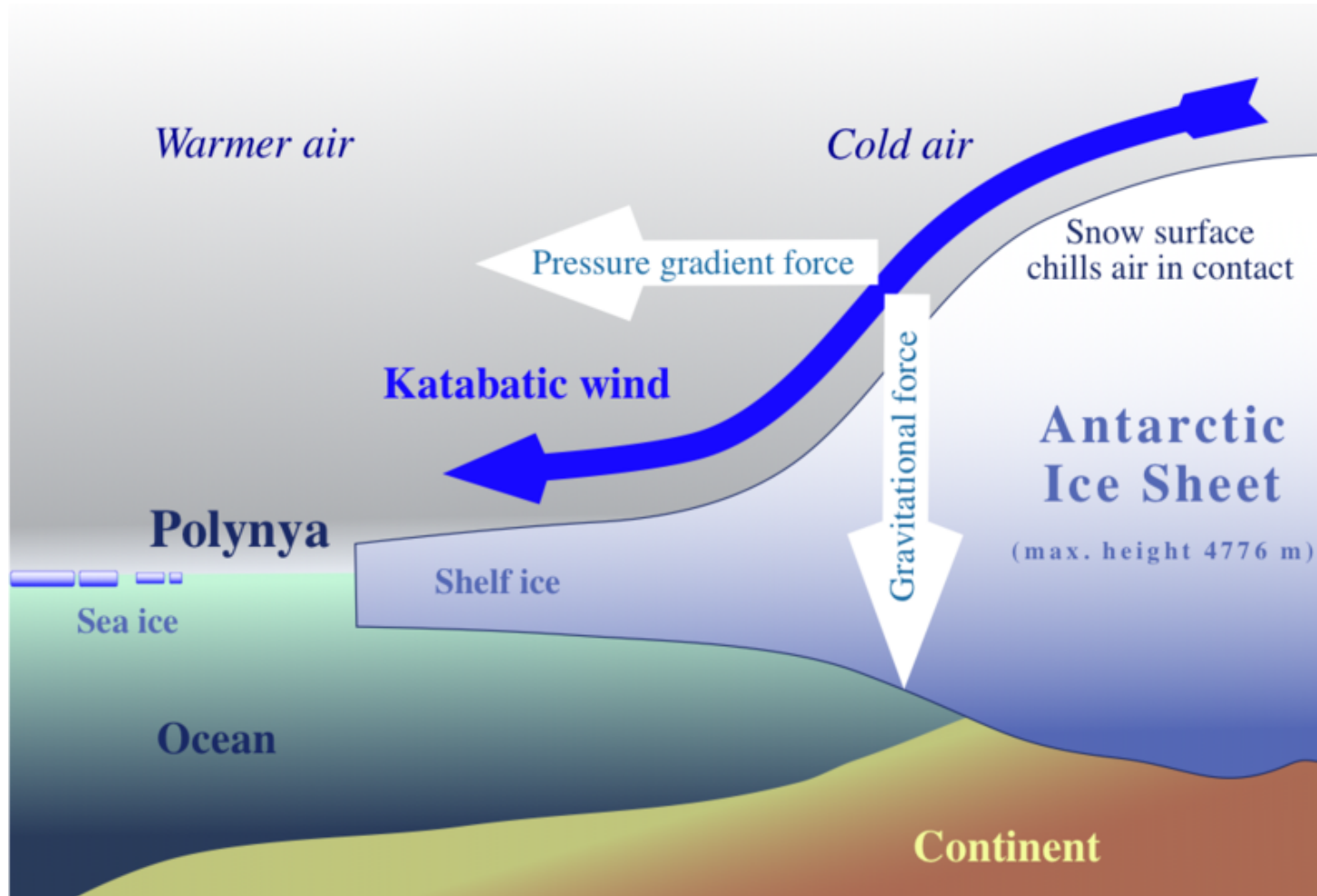
- Leistung proportional zum Quadrat der Windgeschwindigkeit
- Leistung für Windgeschw. 36 m/s: 14.7 MW (ohne Leitschaufeln)
(Sehnenlänge: 16 m, Schaufelhöhe: 37.2 m)
- Betzkoeffizient (bezogen auf durchströmte Fläche): 0.36

- Jede Schaufel besitzt eigenes Getriebe, welches in der Plattform integriert ist.
- Fundament (25) trägt Plattformsupport (21) und die Leitschaufeln (15)
- Zentralsäule (1) ist über Kegelrad (7) mit Zahnrädern 6, 8 mit dem Großrad 10 verbunden, das die Laufschaufel verdreht
- Im Falle einer Änderung der Windrichtung wird zugleich die Säule 1 und der Tragering 26 der Leitschaufeln verdreht.
- Hauptlager (40) stützt die Plattform
- Getriebe (22, 23) treibt den elektrischen Generator

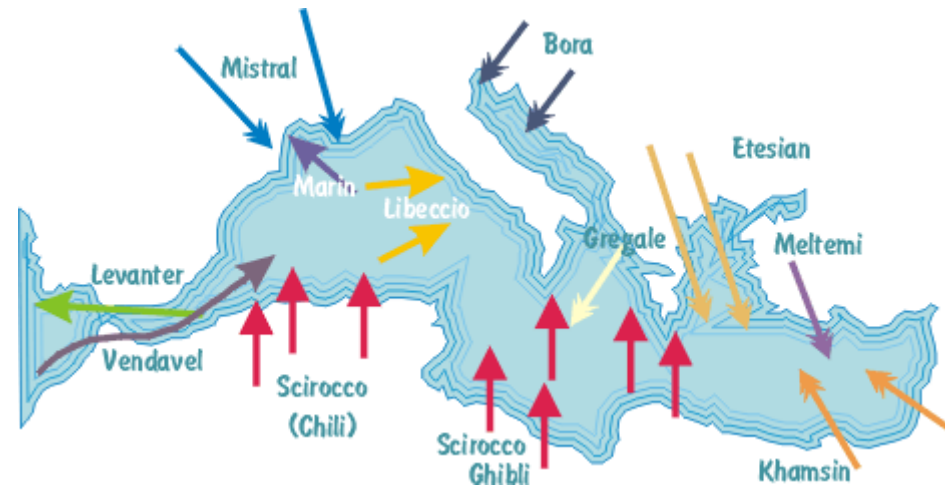


- **Laufschaufeln sind nach außen geneigt und somit an die steigende Windgeschwindigkeit mit der Höhe angepasst.**
- **Zunehmende Profildicke hin zum Fuß ist notwendig aufgrund des steigenden Biegemoments**
- **Laufschaufelwelle ist aufgrund des günstigen Flächenträgheitsmomentes als Hohlwelle ausgeführt in der direkten Beziehung von Laufschaufel zu Antriebsplatte (1.6 m Durchmesser, 0.2 m Wandstärke)**
- **Spannungen in der Höhe von 20 N/mm²**





„katabatikos“ = bergab gehen



Lokale mediterrane Winde

- Hurricangeschwindigkeiten
- an vielen Küsten
- große Stärke, hohe Geschwindigkeiten und starke Turbulenz

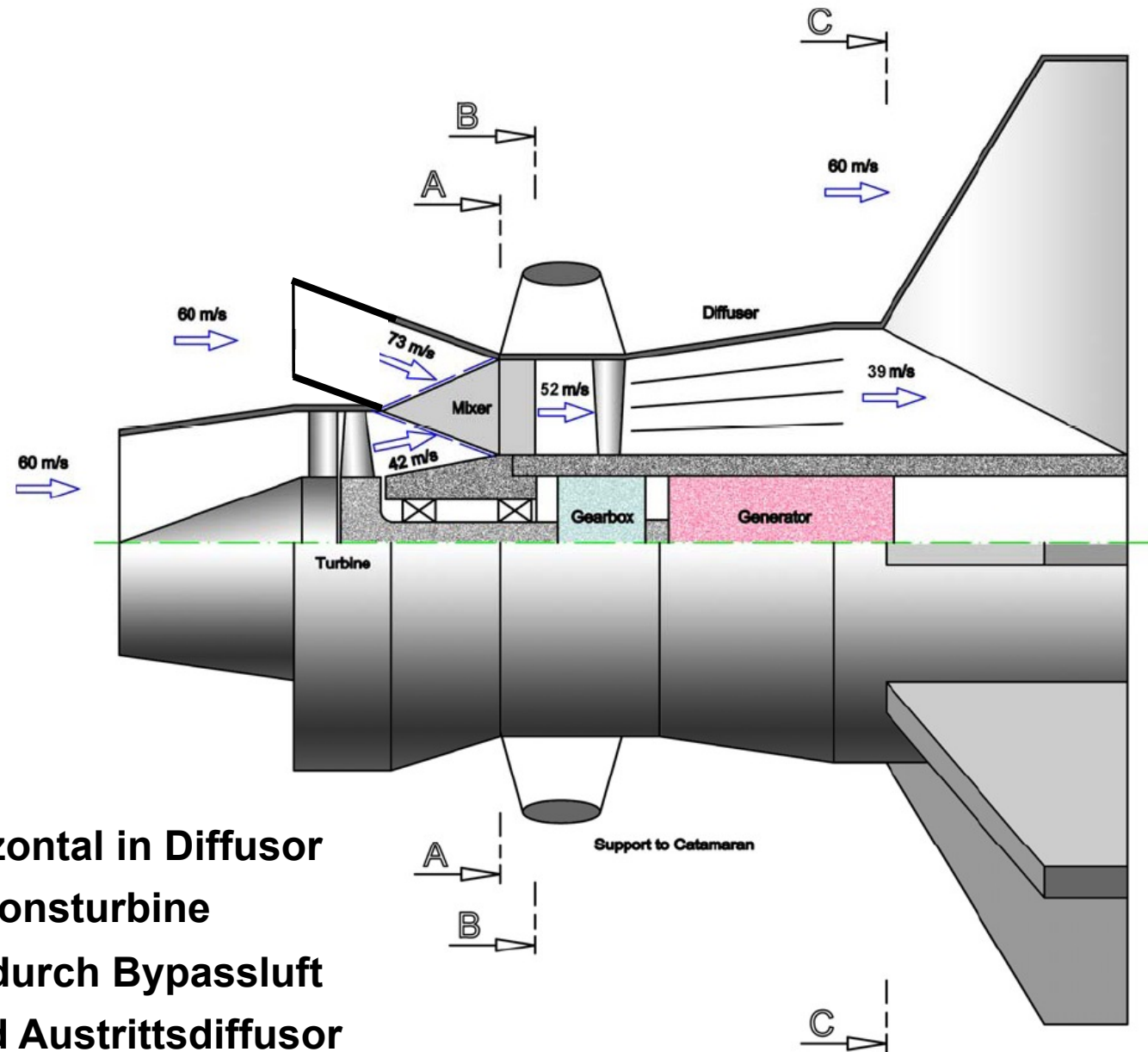
State-of-the-art Windturbinen können diese Winde nicht verarbeiten und müssen außer Betrieb gesetzt werden, um nicht beschädigt zu werden.

- **Windturbine für Katabatische Winde**
- **Leistungsbereich 10 MW**
- **Trotzdem transportierbar in verschiedene Regionen**

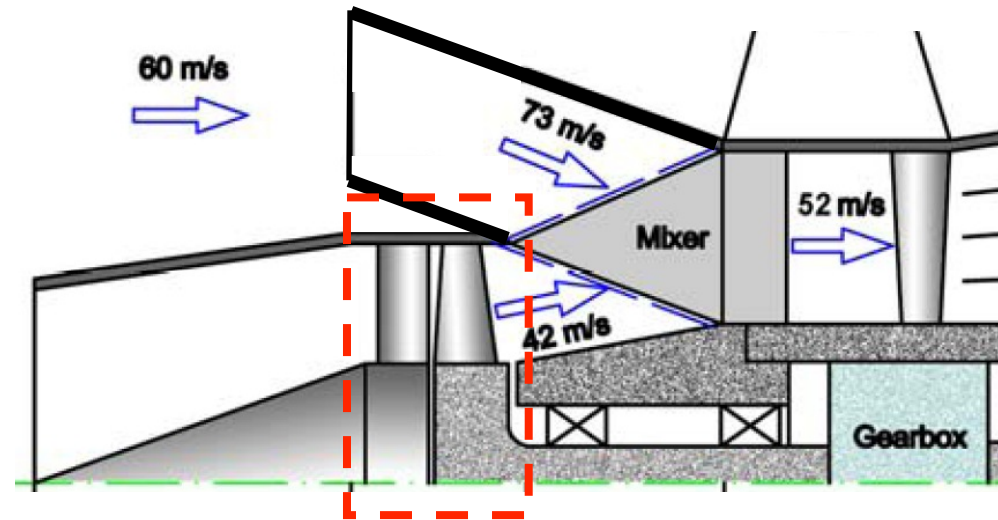
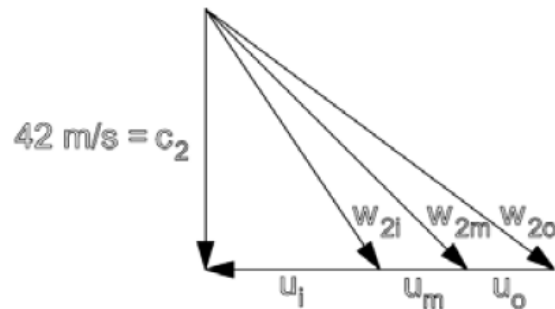
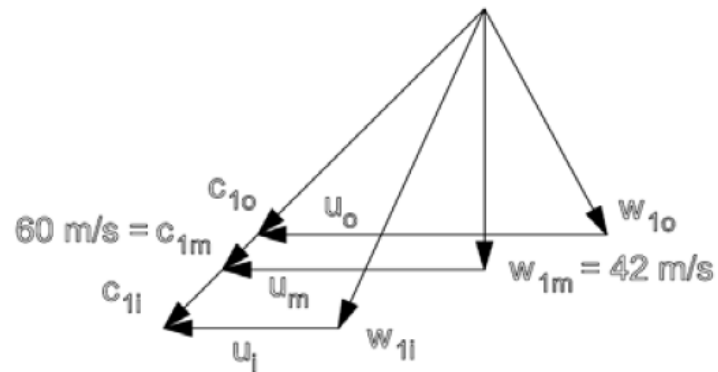


Windturbine befindet sich auf einem Katamaran, der durch Seile nahe an der Küste befestigt ist => Dies erlaubt ein automatisches Ausrichten der Maschine in den Wind

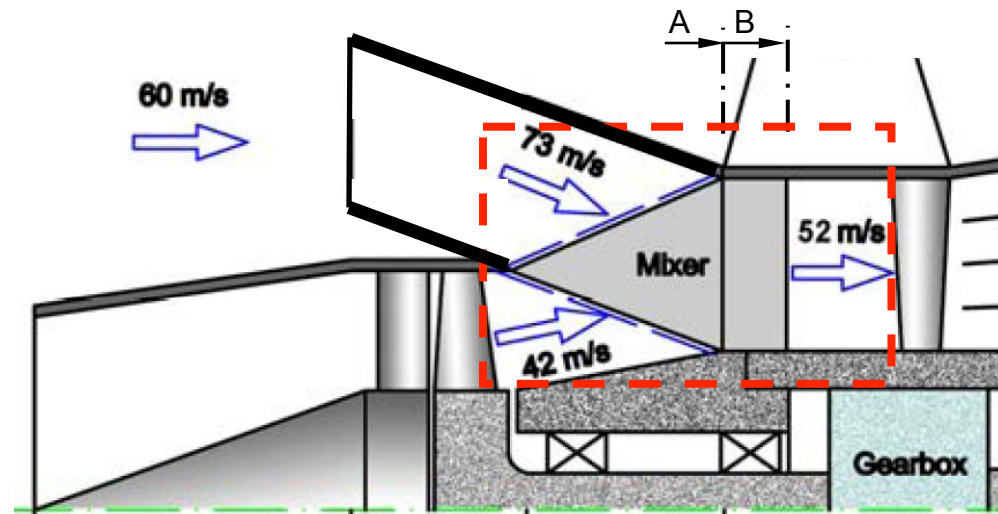
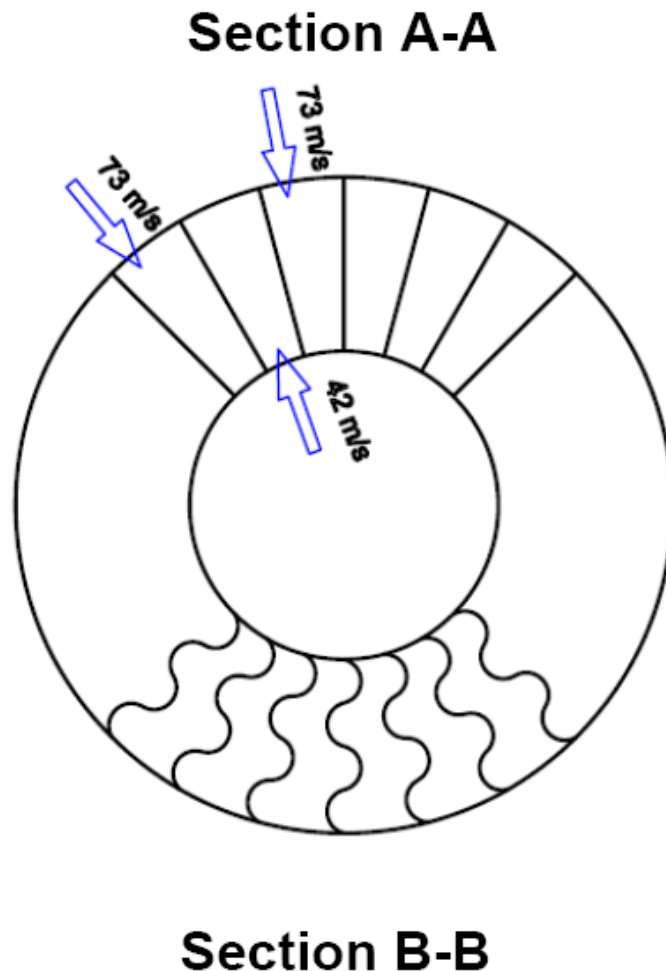
Gewonnene elektrische Energie kann auch zur Speisung von Hochdruckelektrolysatoren verwendet werden => Wasser aufgespalten in H_2 und O_2 , gespeichert in Drucktanks und zu Kraftwerken transportiert



- **Windeintritt horizontal in Diffusor**
- **einstufige Reaktionsturbine**
- **Injektorwirkung durch Bypassluft**
- **Gleichrichter und Austrittsdiffusor**



- Leitschaufeln mit fixer Geometrie, $Ri/Ra=0.5$
- 45° konstanter Leitschaufelwinkel für größtmöglichen Massenstrom
- Steigende Sehnenlänge der Schaufel von innen nach außen
- Verwundene Laufschaufel, Länge 3 m
- Scheibendurchmesser 6 m , Spitzendurchmesser 12 m



- Defizit an Strömungsenergie stromab der Turbine
- Energie der Umgebungsströmung wird verwendet, um die Turbinenabströmung zu energetisieren durch das Zumischen von Bypassluft nach dem Rotor mithilfe des Mixers



- **Beide gezeigten Maschinen stellen einen Beitrag zur CO₂-freien Energiegewinnung dar.**
- **Die Idee dahinter war, auch starke Winde in bisher schwer erschließbaren Landstrichen zu nutzen. Lediglich die Zuführung der gewonnen elektrischen Energie zu den gegebenen Netzen ist durchzuführen.**
- **Wenn dies nicht direkt möglich ist, so könnte auch eine anschließende Elektrolyse zur Herstellung von H₂ als Energiespeicher dienen.**
- **Während die erste vorgestellte und bereits patentierte Variante eine stationäre Anlage von kleinen bis auch großen Leistungen repräsentiert, stellt die zweite Variante ein transportables System mittlerer bis großer Leistung dar.**
- **Das Institut möchte mit diesen unkonventionellen und innovativen Maschinen zur Diskussion und Erweiterung des Standes der Technik beitragen.**