

## 8. Workshop Kavitation – Vom Modell zur Anwendung

# Numerische Simulation ausgedehnter Spitzenwirbelkavitation eines Propellers mit einer Randelementmethode mit Relaxationszonen

Roland Gosda\*, Moustafa Abdel-Maksoud

\*roland.gosda@tuhh.de

Institut für Fluidodynamik und Schiffstheorie  
Technische Universität Hamburg

30. November 2021

# Anthropogene Lärmbelastung

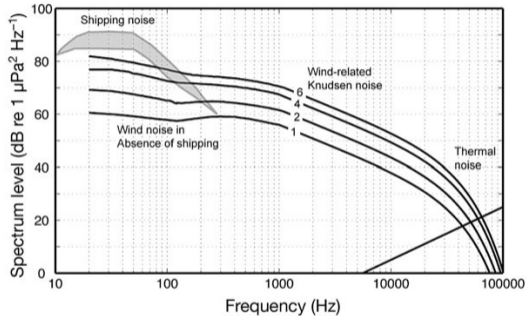


Abbildung: Hildebrand (2009)

- Schiffspropeller tragen zur Lärmbelastung im Wasser und in Küstennähe bei
- Kavitation dominiert den Lärm
- Spitzenwirbelkavitation tritt häufig als erste Kavitationsart auf
- Spitzenwirbelkavitation emittiert Druckschwankungen in den höheren Blattfrequenzen

# Spitzenwirbelkavitation



Abbildung: SVA Potsdam (2019)

- Die Vorhersage der nicht-linearen Dynamik der Spitzenwirbelkavitation ist schwierig
- Simulationen mit Finite-Volumen-Verfahren benötigen große Rechenkapazitäten
- Vereinfachte Modelle zur Simulation kontinuierlicher Kavitäten haben erstmal in (Kim u. a., 2020) axiale Wellenausbreitung berücksichtigt

# Modellierung der Spitzenwirbelkavitation

Randelementmethode für achsensymmetrische Geometrien basierend auf Choi u. a. (2003)

- Zerlegung in Hintergrundströmung und induziertes Geschwindigkeitspotential
- Der Einfluss der Kavität auf die Hintergrundströmung wird vernachlässigt
- Randelementverfahren für das induzierte Potential
- Lagrang'sche Verschiebung der Kavitationsoberfläche mit der Geschwindigkeit in der Flüssigkeit

- Zylindrisches Koordinatensystem mit achsensymmetrischen Kavitäten

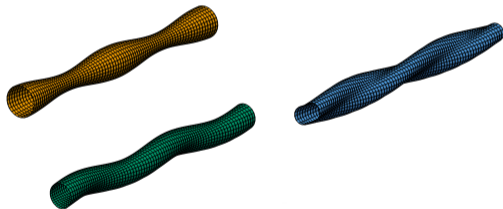
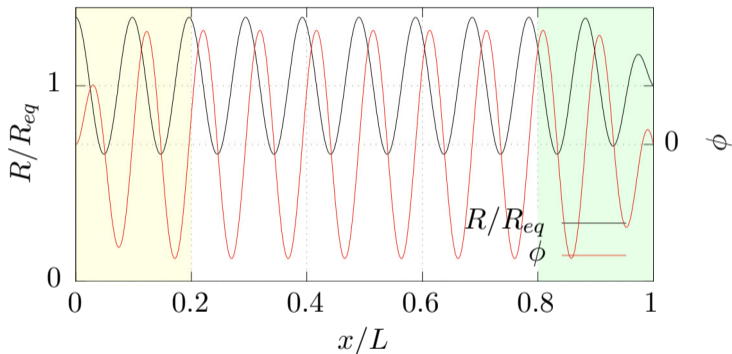


Abbildung: Berger, 2018

# Explizite Relaxationszonen zur Wellenerzeugung und -absorption



**Abbildung:** Kavitationsradius  $R$ , mittlerer Kavitationsradius  $R_{eq}$  und Geschwindigkeitspotential  $\phi$  als Funktion der axialen Koordinate  $x$  bezogen auf die Gesamtlänge  $L$ .

- Abschneiden der Spitzenwirbelkavitat in axialer Richtung
- Angleichen des Kavitationsradius  $R$  und der Verteilung des Potentials  $\phi$  zu einer Referenzlösung
- Wellen dämpfen ●●
- Wellen erzeugen; Einlassbedingung der Schichtkavitation ●



## Erweiterung für gekrümmte Wirbelachsen

Die Lösung des Problems erfolgt in zylindrischen Koordinaten, während

- die Randbedingungen von den gekrümmten Koordinaten in zylindrische Koordinaten überführt werden
- die Geometrie von der geraden auf die gekrümmte Wirbelachse abgebildet wird

Es wird angenommen, dass der Krümmungsradius deutlich größer als die relevanten Skalen der Kavitation ist, z.B.  $1/\kappa \gg R$ .

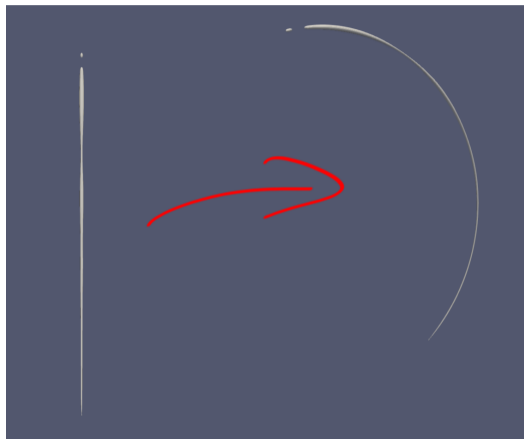
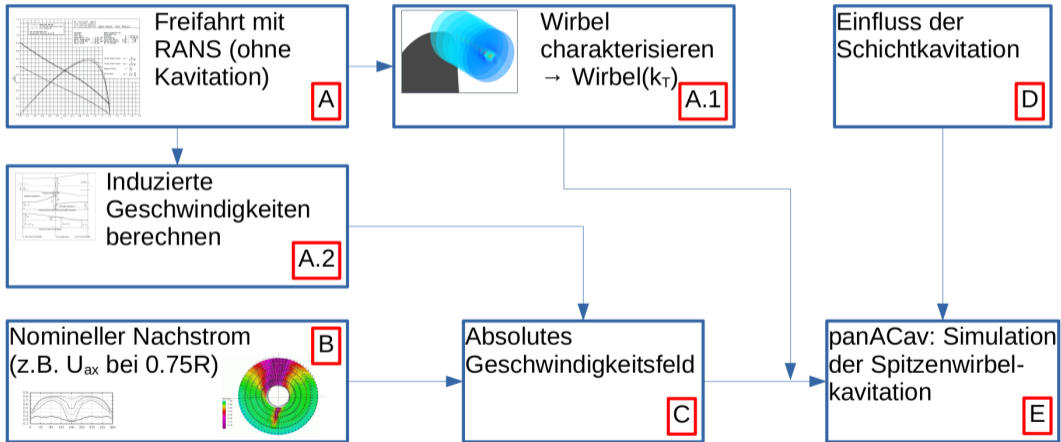


Abbildung: Abbildung von einer geraden auf eine gekrümmte Wirbelachse.

# Hybrides Simulationsverfahren zur effizienten Prognose der Druckschwankungen





# Spitzenwirbelkavitation hinter einem Propeller

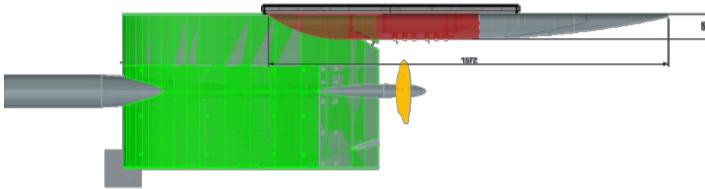
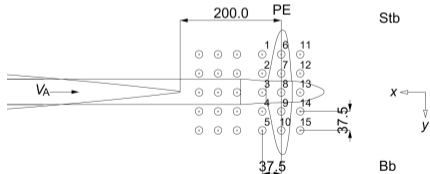


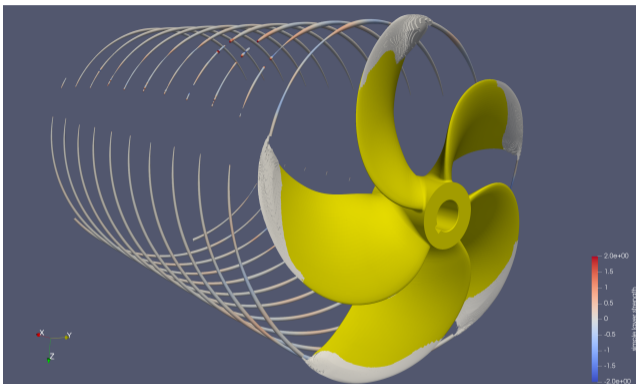
Abbildung: Anordnung in der Messstrecke (Heinke, 2020)



Schubbeiwert	0.1963
Kavitationszahlen bei $0.8R$	{1.35, 1.71, 2.45}
Durchmesser	0.25m
Drehzahl	26/s

Abbildung: Lage der Drucksensoren (Heinke, 2019)

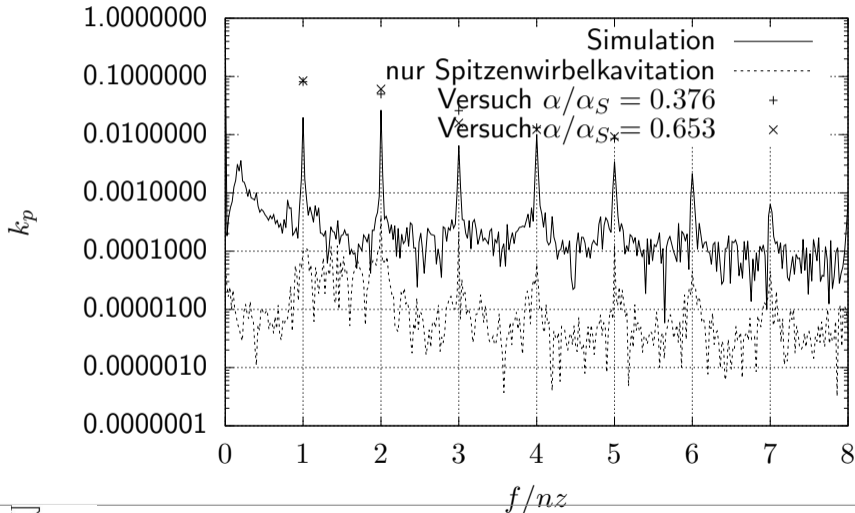
# Spitzenwirbelkavitation hinter einem Propeller



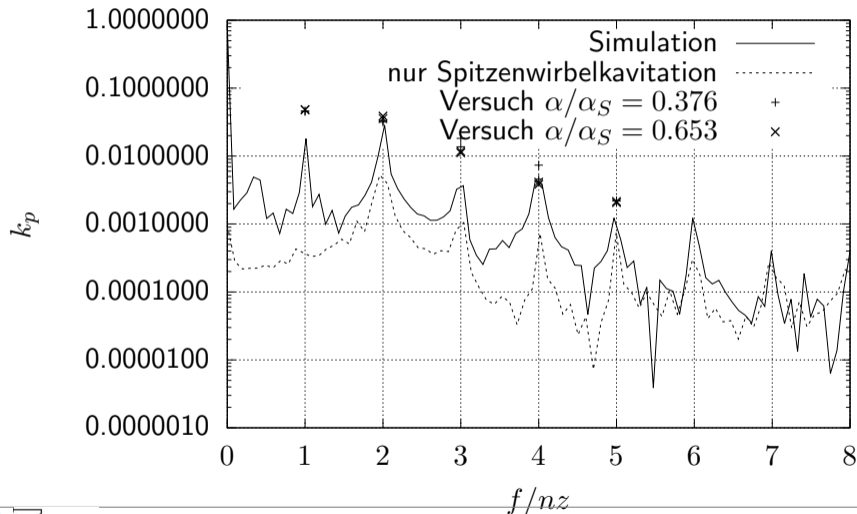
**Abbildung:** Spitzenwirbelkavitation hinter einem Propeller. Die Farben zeigen die induzierte Geschwindigkeit in Normalenrichtung: rot ist nach außen und blau nach innen.

- Keine Berücksichtigung der Interaktion zwischen Schicht- und Spitzenwirbelkavitation
- RANS-Simulation des Propellers im Nachstromfeld zur Bestimmung der Druckschwankungen auf Grund der Verdrängung und der Schichtkavitation
- Simulation der Spitzenwirbelkavitation mit dem Randelementeverfahren

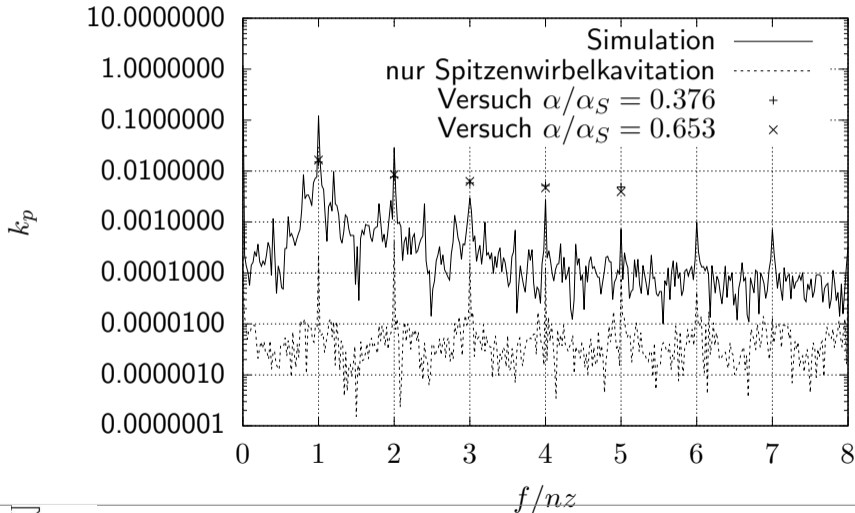
# Validierung der Druckschwankungen $\sigma = 1.35$



# Validierung der Druckschwankungen $\sigma = 1.71$



# Validierung der Druckschwankungen $\sigma = 2.45$



## Zusammenfassung

- Die Amplituden der Druckschwankungen werden gut getroffen
- Der Anteil der Druckschwankungen der Spitzenwirbelkavitation in den gezeigten Fällen ist gering

## Ausblick

- Quantitative statistische Validierung des Kavitationsvolumens
- Simulation weiterer Fälle mit anderem Verhältnis von Schicht- zu Spitzenwirbelkavitation
- Methodische Untersuchung der Modellierungsfehler

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

## Danksagung

Die Autoren danken dem BMWi für die Unterstützung im Rahmen des Projekts HiO<sub>cav</sub>-HiO<sub>sim</sub>.










Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Literatur

-  Berger, S. (2018). “Numerical analysis of propeller-induced higher-order pressure fluctuations on the ship hull”. Diss. Hamburg University of Technology.
-  Choi, J. und G.L. Chahine (Dez. 2003). “Non-spherical bubble behavior in vortex flow fields”. In: *Computational Mechanics* 32.4-6, S. 281–290. DOI: 10.1007/s00466-003-0485-5.
-  Heinke, H.-J. (2019). *Kavitationsversuche und Druckschwankungsmessungen mit dem Propeller P1724 im Nachstrom eines NACA0010 Profils*. Techn. Ber. 4823. Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH.
-  — (2020). *Kennwerte des Propeller P1724 im Nachstrom eines NACA0010 Profils in den Messungen der Universität Rostock (IAE, INT)*. Techn. Ber. 4921. Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH.
-  Hildebrand, JA (Dez. 2009). “Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean”. In: *Marine Ecology Progress Series* 395, S. 5–20. DOI: 10.3354/meps08353.
-  Kim, Seungnam und Spyros A. Kinnas (Feb. 2020). “Prediction of Unsteady Developed Tip Vortex Cavitation and Its Effect on the Induced Hull Pressures”. In: *Journal of Marine Science and Engineering* 8.2, S. 114. DOI: 10.3390/jmse8020114.
-  SVA Potsdam (2019). *Kavitationsversuche P1724 hinter dem Profil NACA0010,  $x_p = 200\text{mm}$* . Techn. Ber. Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH.