

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Forschung	3
1.1.1	Hydrodynamik von Propellern	3
1.1.2	Kohärente Strömungsstrukturen	8
1.1.3	Akustik von Strömungsmaschinen	11
1.2	Zielstellung und Aufbau der Arbeit	13
2	Grundlagen der Strömungsmechanik und Hydroakustik	15
2.1	Erhaltungsgleichungen der Strömungsmechanik	15
2.2	(Unsteady)-Reynolds-Averaged-Navier-Stokes ((U)RANS) Gleichungen	17
2.3	Large-Eddy Simulation (LES)	19
2.4	Hybride LES Modelle	20
2.4.1	Detached-Eddy Simulation (DES)	21
2.4.2	Delayed-Detached-Eddy Simulation (DDES)	21
2.4.3	Shielded-Detached-Eddy Simulation (SDES)	22
2.4.4	Stress-Blended-Eddy Simulation (SBES)	22
2.4.5	Diskretisierung der hybriden LES	23
2.5	Berechnung der Hydroakustik	24
2.5.1	Grundgleichungen der Akustik	25
2.5.2	Modellierung der Hydroakustik	26
2.5.3	Expansion-About-Inkompressible-Flow (EIF) Ansatz	26
3	Analyseverfahren	28
3.1	Berechnung der integralen Kenngrößen	28
3.2	Berechnung der Messunsicherheiten	29
3.3	Gitter-Konvergenzstudien der Strömungssimulationen	31
3.3.1	Richardson Extrapolation und Grid Convergence Index (GCI)	32
3.3.2	Power Loss Analysis (PLA)	34
3.4	Proper-Orthogonal-Decomposition (POD)	35
3.4.1	Mathematische Grundlagen der POD	36
3.4.2	Implementierung der POD-Moden und -Zeitkoeffizienten in die EIF-Gleichungen	38
4	Experimentelle und Numerische Untersuchungen	40
4.1	Aufbau des nabenlosen Propellers	40
4.2	Messaufbau	42
4.3	Konfiguration der Strömungssimulationen	43
4.3.1	Modellaufbau sowie Anfangs- und Randbedingungen	44
4.3.2	Aufbau des Rechengitters	45

4.4	Konfiguration der Akustiksimulationen	47
5	Ergebnisse und Diskussion	49
5.1	Qualität der numerischen Rechengitter	49
5.1.1	Ergebnisse der Richardson Extrapolation sowie des GCI	49
5.1.2	Ergebnisse der PLA	50
5.1.3	Spektrum der turbulenten kinetischen Energie	52
5.2	Analyse der Hydrodynamik	53
5.2.1	Freifahrt- und Standschubverhalten	53
5.2.2	Analyse und Vergleich der Wanddruckfluktuationen	54
5.2.3	Analyse des Propellernachlaufs	56
5.3	POD-Analysen	67
5.3.1	POD-Analyse der Wanddruckfluktuationen	67
5.3.2	POD-Analyse der Profilmströmung	71
5.3.3	POD-Analyse des gesamten Strömungsfeldes	71
5.4	Analyse der Hydroakustik	79
5.4.1	Messergebnisse sowie Vergleich der Wand- und Schalldrücke	79
5.4.2	Analyse der EIF Simulation	82
6	Zusammenfassung	88
A	Hydrodynamische sowie hydroakustische Analyse um einen Teilausschnitt eines einzelnen Propellerblattes	100
B	Ordnungsanalyse des statischen Drucks im Vor- und Nachlauf	103