



BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN

University of Applied Sciences

Fachbereich II Mathematik – Physik – Chemie

Masterarbeit

von

Tobias Stüppardt, B.Eng.

zur Erlangung
des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

im Studiengang
Mathematik – Computational Engineering

Thema:

Untersuchung der Fluid-Struktur-Interaktion stark flexibler Strukturen
am Beispiel eines Segels

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Bartsch

Gutachter: Prof. Dr. Haußer

Eingereicht: 3. Februar 2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	12
1.1 Bedeutung des Themas	12
1.2 Stand der Forschung.....	13
1.3 Ziel und Aufbau der Arbeit.....	14
2 Theoretische Grundlagen	16
2.1 Strukturmechanik.....	16
2.2 Fluiddynamik	18
2.3 Spezielle Aspekte der Fluid-Struktur-Interaktion	19
2.3.1 Kopplungsstrategien und Lösungsansätze.....	19
2.3.2 Die ALE-Betrachtungsweise.....	20
2.3.3 Der <i>artificial added mass</i> -Effekt.....	20
2.3.4 Verfahren zur Netzverformung	21
3 <i>Intrinsic FSI in Fluent</i>	24
3.1 Vorstellung des <i>Intrinsic FSI</i> -Moduls in <i>Fluent</i>	24
3.2 Beispiel-Anwendung: Tutorial „Two-Way FSI“	25
3.2.1 Modellbeschreibung.....	25
3.2.2 Stationäre CFD-Simulation	26
3.2.3 Setup der instationären FSI-Simulation	27
3.2.4 Rechnung und Postprocessing.....	29
3.2.5 Zusammenfassung und Bewertung des Tutorials	31
4 Der Turek-Benchmark	34
4.1 Modellbeschreibung	34
4.2 CFD-Rechnungen	37
4.2.1 CFD-Netzstudie	38
4.2.2 CFD1-Rechnung	40
4.2.3 CFD2-Rechnung	41

4.2.4	CFD3-Rechnung.....	42
4.3	CSM-Rechnungen.....	46
4.3.1	CSM-Netzstudie.....	47
4.3.2	CSM1-Rechnungen.....	48
4.3.3	CSM2-Rechnungen.....	49
4.3.4	CSM3-Rechnungen.....	50
4.4	FSI1-Rechnungen.....	52
4.4.1	Setup.....	52
4.4.2	FSI1-Rechnung.....	56
4.4.3	FSI2-Rechnung.....	58
4.4.4	FSI3-Rechnung.....	59
5	FSI am Beispiel eines Segels.....	62
5.1	Physikalische Verhältnisse am Segel.....	62
5.1.1	Aufbau und Begriffe.....	62
5.1.2	Entstehung der Kräfte.....	64
5.1.3	FSI am Segel.....	65
5.2	2D-Modell eines Segels.....	68
5.2.1	Vereinfachungen.....	69
5.2.2	Geometrie, Materialeigenschaften und Randbedingungen.....	70
5.3	Vorbereitende Studien.....	74
5.3.1	Abfolge der vorbereitenden Studien.....	74
5.3.2	Gebietsstudie.....	75
5.3.3	Winkelstudie.....	78
5.3.4	CFD-Netzstudie.....	83
5.3.5	CSM-Netzstudie.....	86
5.4	FSI-Rechnungen.....	87
5.4.1	FSI-Setup.....	88
5.4.2	Simulation und Auswertung.....	90
6	Diskussion der Ergebnisse und Bewertung der Methoden.....	97
7	Zusammenfassung.....	99
7.1	Wesentliche Erkenntnisse.....	99
7.2	Ausblick.....	99
	Literaturverzeichnis.....	100

7 Zusammenfassung

7.1 Wesentliche Erkenntnisse

Im Rahmen dieser Arbeit hat sich gezeigt, dass die FSI-Simulation über die *ANSYS Workbench*, bei der *Mechanical* und *Fluent* über *System Coupling* verbunden werden, eine bewährte und vielseitig einsetzbare Methode ist. Insbesondere der Struktur-Löser in *Mechanical* ist zumindest seitens der Randbedingungen dem in *Fluent* integrierten Struktur-Löser überlegen. Dennoch spielt die *Intrinsic FSI* in *Fluent* ihre Stärken bei einfacheren Anwendungen aus, die weder komplizierte Lagerungen noch nichtlineare Materialgesetze erfordern. Aufgrund ihrer Übersichtlichkeit und Integrität kann die Bedienung des Programms effizienter erfolgen.

Generell lässt sich feststellen, dass die FSI-Simulation besonders hinsichtlich stark flexibler Strukturen eine Herausforderung für die Stabilität der Rechnung ist. Je nach Anwendungsfall lohnt es sich häufig, systematische und aufwändige Studien zur Ermittlung der optimalen Parameter durchzuführen. Andernfalls sind einige Rechnungen unter schwierigen Umgebungsbedingungen überhaupt nicht realisierbar.

7.2 Ausblick

Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit ist auf Seiten der Software die weitere Entwicklung des *Intrinsic FSI* interessant. Hier wären zusätzliche Einstellmöglichkeiten hinsichtlich der Strukturrandbedingungen sowie nichtlineare Rechnungen ein deutlicher Vorteil.

Die Simulation der FSI eines Segels könnte in einem nächsten Schritt dreidimensional aufgebaut werden, um die gesamten Bewegungen samt Dehnungen und Spannungen realistisch nachzubilden.