

Strukturelle Belastung eines Lüfterrades während des Anlaufvorgangs

Co-Simulation - Kopplung von zwei Solvern: CFD (scFLOW von Cradle cfd) und FEM (Marc)

Einleitung

Die Firma induSim GmbH, Centrum für industrielle Simulationen, führt unter anderem Dienstleistungsprojekte für Strömungssimulationen (CFD), für strukturelle Simulation (FEM) und Mehrkörpersimulation (MKS) durch. Um komplexe Aufgabenstellungen ganzheitlich lösen zu können, wird die Kopplung der verschiedenen Solver immer wichtiger. Manche Fragenstellungen können sogar ausschließlich mit der Kopplung verschiedener Solver beantwortet werden. Beispielsweise wenn große Verformungen von Bauteilen aufgrund von Fluidbewegungen stattfinden, ist die Lösung mit einem Solver allein für belastbare Ergebnisse nicht möglich. Das Vorurteil, dass die Co-Simulation zwangsweise höhere Rechenzeiten nach sich zieht, ist nicht korrekt.

Im konkreten Beispiel wird in der Weiterentwicklung das Material eines Lüfterrads auf ABS umgestellt und zusätzlich die Wanddicke verändert. In einer Co-Simulation (hier im speziellen eine Fluid-Struktur-Interaktion) sollen nun die strukturellen Belastungen und Verformungen des Lüfterrades während des Anlaufprozessen untersucht und die Betriebsfestigkeit nachgewiesen werden.

Vorgehensweise

Im Beispiel mit dem Lüfterrad ist eine FSI (Fluid-Struktur-Interaktion) notwendig – also eine Kopplung von einer Strömungs- und eine Strukturberechnung. Es werden die Verformungen und die Spannungen am Lüfterrad untersucht, die aufgrund der Rotation des Motors und dem daraus resultierenden Ansaugen und Durchströmen der Luft entstehen. Die hierbei verwendeten Programme sind scFLOW von Cradle cfd [2] für die CFD- und Marc [3] für die FEM-Berechnung. Die eigentliche Kopplung der Solver wird mit der benutzerfreundlichen MSC CoSim Engine [4] umgesetzt.

Die Abbildung 1 stellt das Kopplungsprinzip vor und zeigt welche Daten zwischen den Solvern bei dieser Berechnung ausgetauscht werden.

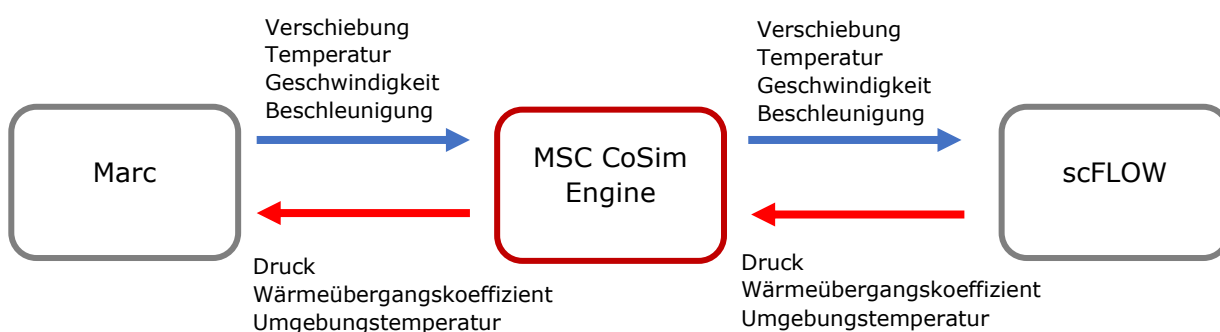


Abbildung 1: schematische Darstellung des Austauschs der Daten während der FSI nach [1]

Über die MSC CoSim Engine werden aus der FEM-Berechnung die ermittelten Verschiebungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen am Lüfterrad an die Strömungssimulation weitergegeben. Diese liefert den Druck zurück, der sich aus der Umströmung des Lüfterrades ergibt. Da die Wärme in diesem Beispiel nicht betrachtet wird, können die Temperatur, der Wärmeübergangskoeffizient und die Umgebungstemperatur vernachlässigt werden. Der Austausch der Daten erfolgt in jedem Zeitschritt.

Ergebnisse

Sowohl die Strömungs- als auch die FEM-Ergebnisse von Marc können gleichzeitig in dem Post-Prozessor scPOST von Cradle cfd dargestellt werden.

Die Berechnungszeit zum Lösen dieser Co-Simulation von einer physikalischen Zeit von 0,1s beträgt auf einem 6-Kern-Rechner ca. 40min. In diesem Zeitbereich ist der zu betrachtende Anlaufprozess inklusive des eingeschwungenen Zustands enthalten.

Ergebnisse CFD

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt das Drehmoment des Lüfterrads, das aus der Strömung auf die Lüfterradflächen entsteht. Nach 0,015s wird das größte Moment übertragen weshalb zu diesem Zeitpunkt die maximalen Belastungen auf den Lüfter erwartet werden. Ab ca. 0,06s ist der eingeschwungene Zustand erreicht.

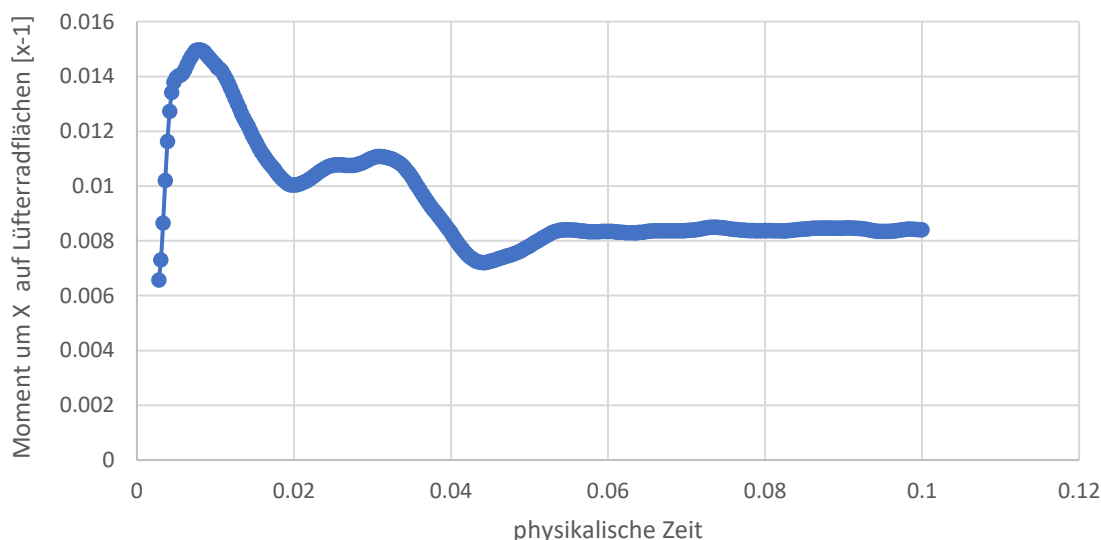


Abbildung 2: Moment um Drehachse auf Lüfterradflächen

Der sich aus der Umströmung ergebende Druck auf den Lüfterschaufeln wird als Randbedingung an die Strukturanalyse weitergegeben. Diese Druckverläufe sind in der Abbildung 3 zum Zeitpunkt der Maximalbelastung bei 0,015s und in Abbildung 4 zum eingeschwungenen Zustand nach 0,1s dargestellt. Die Druckverteilung in Abbildung 3 zeigt lokal starke Druckänderungen. Dies resultiert aus dem Anlaufprozess und verantwortet die höheren Lasten. Zum eingeschwungenen Zeitpunkt bei 0,1s hat sich eine gleichmäßige Druckverteilung eingestellt.

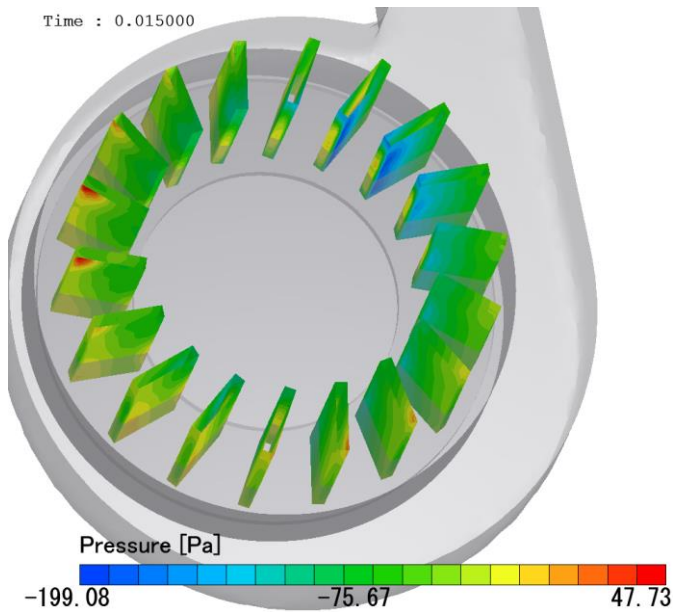


Abbildung 3: Druck auf den Schaufeln zum Zeitpunkt 0,015s

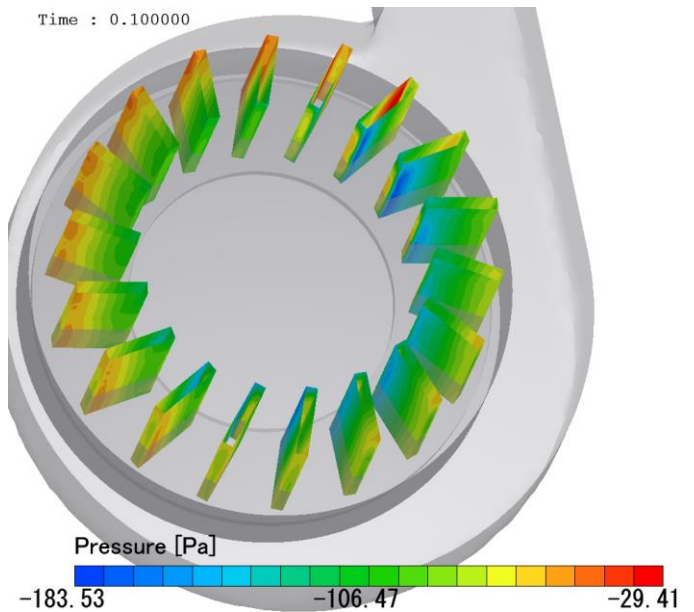


Abbildung 4: Druck auf den Schaufeln zum Zeitpunkt 0,1s

Ergebnisse FEM

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Verformungen des Lüfterrads zu den oben genannten Zeitpunkten. Zur besseren Sichtbarkeit sind diese mit einem Vergrößerungsfaktor von 400 dargestellt. Im Anlaufprozess ist noch ein Taumeln des Lüfterrads vorhanden. Die Verformung ist ungleichmäßig.

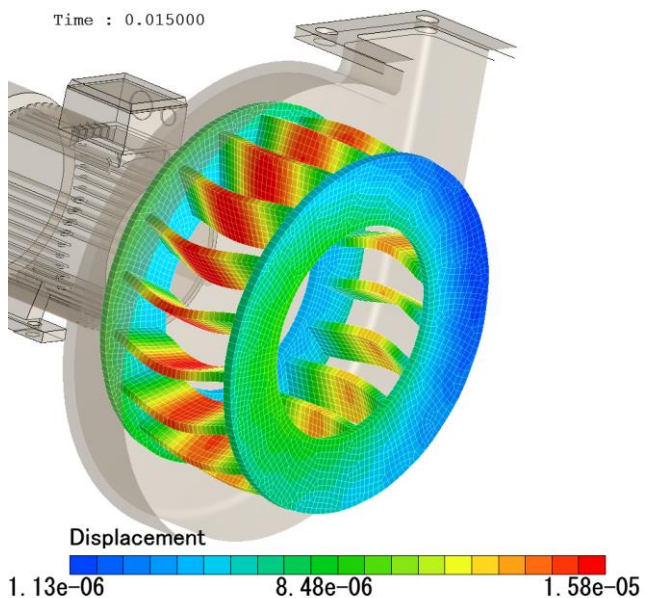


Abbildung 5: Verformung des Laufrads zum Zeitpunkt 0,015s

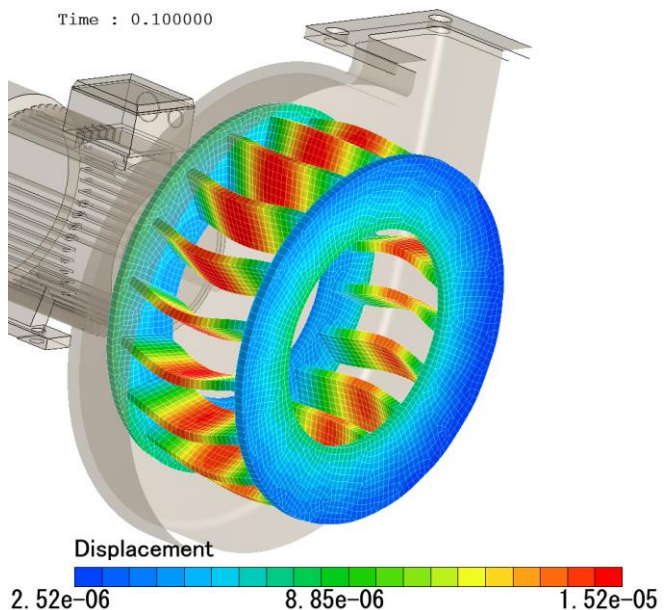


Abbildung 6: Verformung des Laufrads zum Zeitpunkt 0,1s

Die Ergebnisse der von-Mises-Spannung in den Abbildungen 7 und 8 zeigen, dass die Änderungen der Verformungen über den Anlaufprozess keinen großen Einfluss auf die Spannungen haben. Die Belastungen liegen deutlich unter den Materialgrenzwerten. Somit sind sowohl die Änderung des Materials als auch die der Wandstärke strukturell unbedenklich.

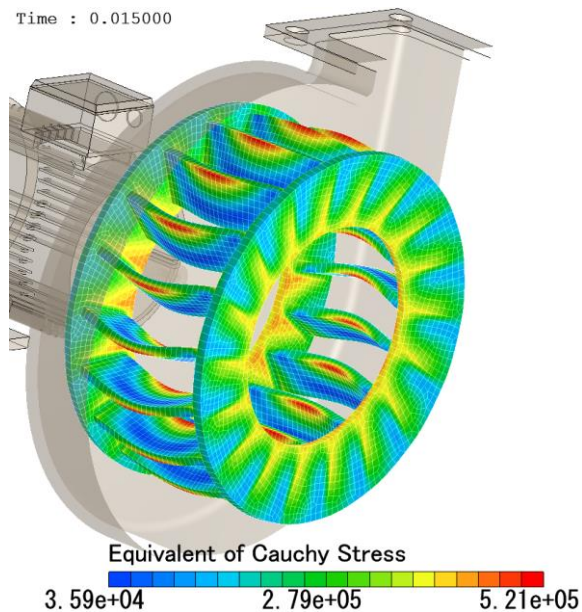


Abbildung 7: von-Mises-Spannung des Laufrads zum Zeitpunkt 0,015s

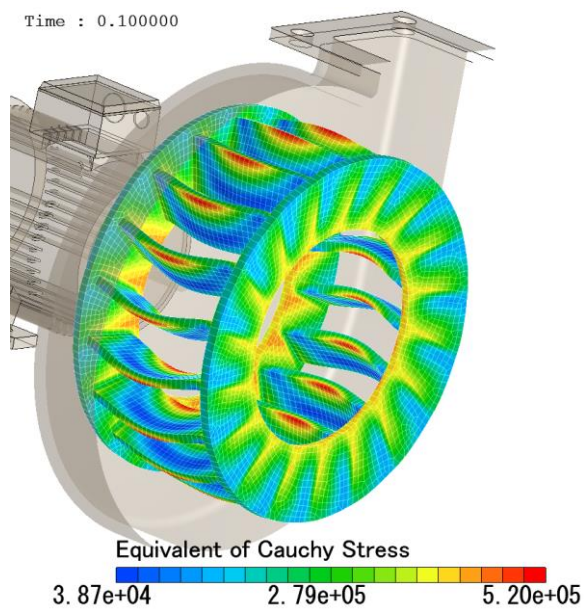


Abbildung 8: von-Mises-Spannung des Laufrads zum Zeitpunkt 0,1s

Zusammenfassung

Mit der Co-Simulation konnte der Einfluss des Anlaufprozesses am Lüfterrad ganzheitlich betrachtet werden. Der Mehrwert der Co-Simulation ist der detaillierte Verlauf der Belastungskurve (Drehmoment) des Lüfterrads unter Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Interaktion. Während des Anlaufprozesses werden höhere Belastungen und somit größere Spannungsbereiche durchlaufen. In Summe werden aber keine Grenzwerte des Materials überschritten. Der gewählte Berechnungszeitraum von 0,1s ist ausreichend. Innerhalb dieses Bereichs ist der eingeschwungene Zustand – Dauerbetrieb – erreicht.

Ausblick

Für den während der Simulation erreichten Dauerbetrieb sollte noch eine Lebensdaueruntersuchung durchgeführt werden. Hier können die Ergebnisse der Co-Simulation für geeignete Randbedingungen dienen. Mit wenig Aufwand kann auf Grundlage der vorliegenden Berechnung eine optimierte Wandstärke für das ABS-Laufrad ermittelt werden.

Zum Autor



Sophia Tetzner studierte an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg im Masterstudiengang Maschinenbau.

Sie ist seit 2014 Teammitglied der induSim GmbH und führt neben Simulationsdienstleistungen im Bereich CFD, FEM und Prozesssimulationen auch Schulungen zu verschiedenen Simulationsthemen durch.

Referenzen

- [1] MSC CoSim 2020 Demonstration Guide (cosim_2020_doc_demo.pdf)
- [2] Mehr Informationen zu scFLOW unter <https://www.cradle-cfd.com/product/scflow.html>
- [3] Mehr Informationen zu Marc unter <https://www.mscsoftware.com/de/marc>
- [4] Mehr Informationen zur MSC CoSim Engine unter <https://www.mscsoftware.com/product/co-simulation>

induSim GmbH

Benzstraße 15
89129 Langenau

Tel: +49 7345 / 929287-0
Fax: +49 7345 / 929287-50
Mail: info@indusim.de



Ein Unternehmen der SimPlan Gruppe
www.SimPlan.de