

Mitteilung

Projektgruppe/Fachkreis: Hyperschall/Numerische Simulation

Ansprechpartner: Carmen Böttcher, José M. Longo

Institution: Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
DLR Braunschweig

Adresse: Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Telefon: 0531/295-2831
e-mail: carmen.boettcher@dlr.de

Thema: Simulation magnetohydrodynamischer Strömungen in Argon unter Verwendung des DLR TAU-Codes

Ausgangssituation: Bei hypersonischen Flügen treten Stöße auf, hinter denen extrem hohe Temperaturen eine natürliche Ionisation zwischen Stoß und Körper bewirken. Dies führte bereits um 1958 zu der Idee, die ionisierte Strömung mithilfe von mitgeführten Magneten in günstiger Weise zu beeinflussen. Der DLR TAU-Code ist ein Verfahren zur Lösung der Euler-Gleichungen bzw. der reynoldsgemittelten Navier-Stokes-Gleichungen. Zur Simulation magnetohydrodynamischer Effekte auf die Strömung wurde der Code um die sogenannte Quelltermformulierung erweitert und eine erste Validierung mit einem Testfall in Luft durchgeführt [1].

Ziel: Simulation und Analyse des Testfalls eines Kegel-Zylinders in einer Argon-Strömung. Das Magnetfeld besteht aus dem überlagerten Feld dreier Permanentmagneten und ist als Datensatz einzulesen.

Lösungsweg: Als Gas-Modell wurde perfektes Gas gewählt und mit dem Argon-spezifischen Sutherland-Modell ergänzt. Der Datensatz des Magnetfelds wurde von einem kartesischen Netz auf ein optimiertes hybrides Netz interpoliert (siehe Abbildung 1) und in NetCDF-Format konvertiert, um punktweise von dem TAU-Code ausgelesen zu werden. Die elektrische Leitfähigkeit σ wurde als konstant angenommen und Simulationen mit unterschiedlichen Werten für σ durchgeführt.

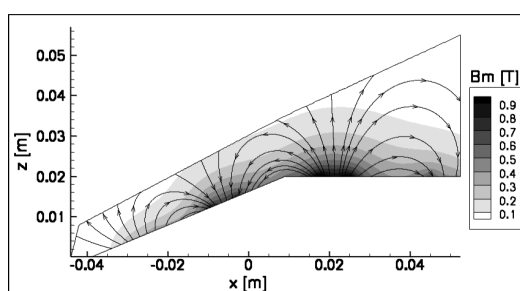


Abbildung 1: Magnetfeldlinien und Magnetfeldstärke

Ergebnis: Als Referenz wurde zunächst eine Rechnung ohne Magnetfeld durchgeführt. Die resultierenden Druckkonturen sind in Abbildung 2 zu sehen. Im Bereich des Kegels ergeben sich etwa 1000 Pa, im Bereich des Zylinders liegen die Werte bei ca. 200 Pa. Nun wird das Magnetfeld hinzugenommen und Simulationen mit $\sigma=20$ S/m sowie mit $\sigma=135$ S/m durchgeführt. Bereits bei $\sigma=20$ S/m ist ein Effekt auf die Strömung festzustellen, der bei $\sigma=135$ S/m (siehe Abbildung 3) noch deutlicher wird: Im Bereich des Kegels bei $x=-0,02$ m ist ein geringer Anstieg über 1000 Pa zu beobachten, während stromabwärts bei $x=0$ Druckwerte über 1100 Pa auftreten. Ein entsprechender Anstieg des Stoßabstands ist zu beobachten. Die größte Wirkung der magnetohydrodynamischen Quellterme tritt im zylindrischen Teil des Setups auf: Bei $x=0,02$ m steigt der Druck von zuvor 200 Pa auf ca. 600 Pa und wächst damit um den Faktor 3.

Datum: 09.04.2009

STAB

Die genannten Veränderungen der Druckkonturen sind auf die Interaktion der ankommenden Strömung mit dem Magnetfeld zurückzuführen. Es wird eine elektrische Stromdichte j erzeugt, die ihrerseits mit dem Magnetfeld interagiert. Die betragsmäßig höchsten Werte für j sind in Bereichen zu erwarten, in denen die Magnetfeldlinien senkrecht auf dem Vektor der Strömungsgeschwindigkeit stehen. Des Weiteren ist in Bereichen mit einer hohen Magnetfeldstärke eine starke magnetohydrodynamische Wirkung zu erwarten.

Die Analyse des Magnet- bzw. des Strömungsfeldes bestätigt, dass eine Beeinflussung der Druckkonturen bzw. des Stoßabstandes gerade in Bereichen mit den genannten Bedingungen zu beobachten sind. Insbesondere der Anstieg des Drucks um den Faktor 3 im zylindrischen Teil liegt in einem Bereich, in dem die Feldlinien nahezu senkrecht auf dem Geschwindigkeitsvektor stehen und die Magnetfeldstärke besonders groß ausfällt.

Das Verhalten der Druckkonturen ist mit Simulationen aus der Literatur [2] vergleichbar. In [3] sind gemessene Werte des Drucks im Bereich des Kegels angegeben: ohne Magnetfeld wurden 1031 Pa gemessen, mit Magnetfeld und unbekannter elektrischer Leitfähigkeit 1168 Pa. In den genannten Berechnungen mit dem erweiterten TAU-Code wurden ohne Magnetfeld ein Wert von 1042 Pa an der Lage des Sensors ermittelt. Mit Anwendung der magnetohydrodynamischen Quellterme ergaben sich 1070 Pa für $\sigma=20$ S/m sowie 1351 Pa für $\sigma=135$ S/m an der Lage des Sensors. Damit liegen die berechneten Werte im Bereich der im Experiment gemessenen.

Diese Resultate befürworten die weitere Erforschung der Anwendung magnetohydrodynamischer Effekte in der Strömungskontrolle sowie die Nutzung und Weiterentwicklung des magnetohydrodynamisch erweiterten TAU-Codes.

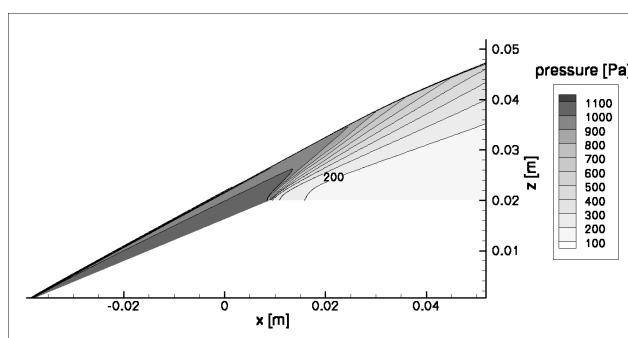


Abbildung 2: Druckkonturen ohne Magnetfeld

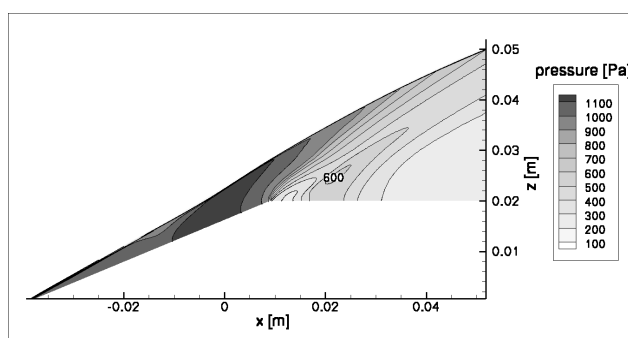


Abbildung 3: Druckkonturen mit Magnetfeld und $\sigma=135$ S/m

Literatur:

[1] Böttcher, C.; Hannemann, V.; Lüdeke, H.: *Simulation of Magnetohydrodynamic Effects on an Ionised Hypersonic Flow by Using the TAU Code*, Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Vol. 96, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007)

[2] Cristofolini, A.; Borghi, C.A. et al: *MHD Interaction on Sharp Bodies in Hypersonic Flows*, AIAA 2007-4136, Miami, FL, June 2007.

[3] Häuser, J.; Paap, H.-G.: *Alta Small Cone Experiment – Simulation Results*, HPF Report 15/06/2007, Salzgitter, June 2007.