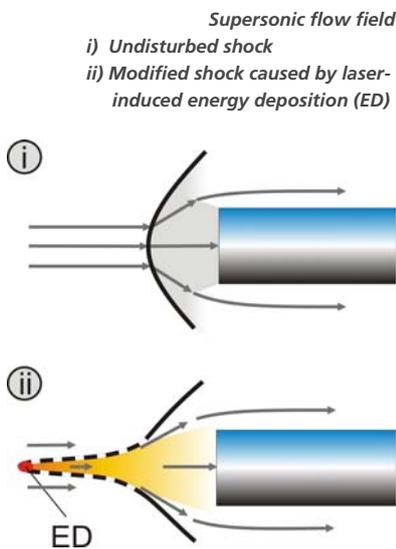


Überschall-Strömungskontrolle durch stabile, laser-geheizte Plasmen

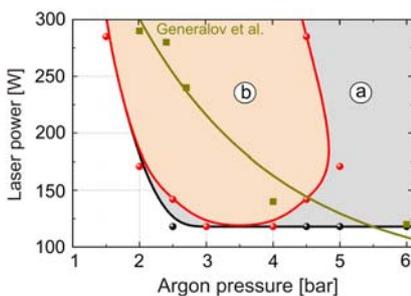
Supersonic Flow Control using Laser-sustained Plasma

- Strömungsfeld im Überschall
- i) Unbeeinflusste Stoßfront
 - ii) Laser-induzierte Energiedeposition (ED) modifiziert die Stoßkonfiguration



- Stabilitätsbereich der Plasmaerhaltung
- a) Instabile Energiechselwirkung (grau)
 - b) Stabiler Erhaltungsbereich (rot)

- Stability parameter of the sustained plasma
- a) *Temporal interaction (grey)*
 - b) *Continuous burning plasma (red)*



Die aktive Beeinflussung technischer Strömungen ist eine vielversprechende Technologie zur Reduzierung des aerodynamischen Widerstands. So ist es möglich durch eine Energiedeposition (ED) im Strömungsfeld eines Überschallflugkörpers eine Modifikation der Verdichtungsstöße herbeizuführen und den Widerstand damit zu reduzieren. Die experimentell und numerisch bestätigte Reduktion des Wellenwiderstands stellt sich hierbei durch das lokale Heizen der Strömung ein.

Ziel der Arbeiten am Institut für Technische Physik ist die Realisierung der Energiedeposition durch ein laserinduziertes Plasma. Dabei wird durch die Ionisation des Gases im Laserfokus eine effiziente Absorption der eingestrahelten Laserenergie erzielt, ein Plasma gebildet und das Gas mit hohem Wirkungsgrad lokal erhitzt.

Bisher beschränkten sich experimentelle Untersuchungen zur laserinduzierten Strömungsbeeinflussung auf eine durch gepulste Laser eingebrachte kurzzeitige Energiedeposition. Aktuelles Projektziel ist die Realisierung und Charakterisierung eines zeitlich konstanten, berührungslos erzeugten, stabilen Plasmas für Luftfahrtanwendungen.

Der kontinuierliche Energieeintrag erfordert zunächst eine Initiierung, eine Vorionisation mit Hilfe eines gepulsten Lasers. Der überlagerte kontinuierliche Hochenergie Gas- oder Festkörperlaser erhält dann den Ionisationszustand im Fokusbereich aufrecht. Da die Leistungsdichte zur Plasmaerhaltung nur einem Bruchteil der zu einer Neuionisation erforderlichen entspricht, kann durch den kontinuierlichen Betrieb die Effizienz der Energiedeposition erheblich gesteigert werden.

The active control of a technical flow is a promising technology for the reduction of aerodynamic drag. Laser-induced energy deposition (ED) into the flow field of a supersonic missile allows for a modification of the shock wave structures and hence to a mitigation of the wave drag. The drag reduction that has been proven by experimental investigations and numerical modeling is caused by local heating of the gas flow.

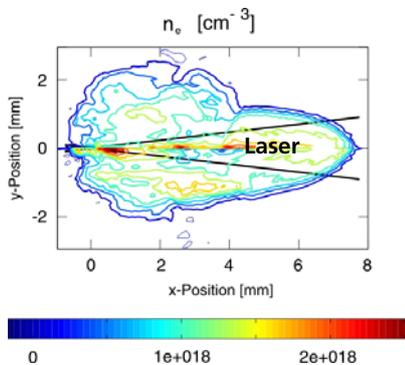
The objective of the investigations at the Institute of Technical Physics is the energy deposition by laser-induced plasma. The ionization of the gas in the focus of the laser beam induces an efficient absorption of the incoming laser radiation, creating plasma, and leading to an intense heating of the gas volume.

So far experimental investigations on laser-induced flow control were limited to short-time plasmas generated by pulsed laser sources. The goal of this project is the realization and characterization of a continuous, remote, and stable plasma for aeronautic applications.

The continuous energy deposition requires a preionisation that has to be ignited by a pulsed laser. A superimposed continuous wave high-energy gas- or solid state laser sustains the ionization of the focus volume. Since the power density required to maintain a permanent plasma is only a fraction of that needed to initiate an ionization, the continuous process promises a considerable increase of energy deposition efficiency.

Interferometrische Bestimmung der Elektronendichte n_e eines stabilen, lasergeheizten Argon-Plasmas (Leistung: 340 W, Druck: 5 bar)

Interferometrically determined electron density n_e of a stable, laser-sustained Argon plasma (optical power: 340 W, pressure: 5 bar)



Die bisherigen Untersuchungen dokumentieren unter nichtangeströmten Versuchsbedingungen einen stabilen plasmadynamischen Zustand im Medium Argon für einen Druckbereich von 1,5 bis 5 bar. Die maximale Leistungsdichte des genutzten CO₂-Lasers beträgt 8 MW/cm², bei einem Fokussdurchmesser von 80 µm. Der vermessene stabile Erhaltungsbereich wird gasdruckabhängig durch die Leistungsdichte und auftretende thermische Instabilitäten begrenzt. Zusätzlich zur Laserleistung beeinflussen die Laserwellenlänge, die Strahlqualität, die Fokussierung und Gaseigenschaften die Prozesse der Laser-Plasma-Wechselwirkung.

Die energetische und dynamische Charakterisierung der Energiedeposition erfolgt anhand optischer Diagnostik. Durch interferometrische Messungen können Dichteunterschiede im Messvolumen bestimmt werden, die Aufschluss geben über die Elektronendichte (n_e) im Plasma sowie den langsamen thermischen Wärmeleitungsprozess. Darüber hinaus eignet sich die Emissionsspektroskopie zur Bestimmung der Plasmatemperatur.

Erste Analysen zeigen, dass sich das Plasma ausgehend vom Volumen der Vorionisation räumlich zum kontinuierlichen Laser hin entwickelt. Die maximalen Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden nahe der Fokusslage des Lasers bei höchsten Leistungsdichten erreicht, überschreiten in den durchgeführten Messungen jedoch nicht 100 m/s. Diese Expansion endet in einem stabilen Gleichgewichtszustand bei dem der Energieeintrag durch Absorption den Verlusten durch Wärmeleitung und Abstrahlung entspricht.

Weitere Arbeiten mit dem Ziel der Aufrechterhaltung eines stabilen Plasmas in einer Strömung sind in Vorbereitung. Dazu muss in die Energiebilanz zusätzlich der Verlustterm der Konvektion einbezogen werden.

Experiments under non-streamed conditions show a stable plasmadynamic state in Argon atmosphere at a pressure range of 1.5 to 5 bar. The maximum power density of the continuous wave CO₂ laser, used in the experiments, is 8 MW/cm² calculated for a focal diameter of 80 µm.

The experimental analysis shows a stable plasma state for power densities above a gas specific threshold and limitations by upcoming thermal instabilities. Moreover the laser energy absorption processes are influenced by laser wavelength, beam quality, focus- and gas parameters.

Optical measurement techniques are applied to characterize the energetical and dynamical behavior of the energy deposition. Based on an interferometric setup, gaseous density gradients are measured to derive the plasma electron density (n_e) and slow thermal heat conduction processes. Furthermore plasma emission spectroscopy can be applied to determine the plasma temperature.

Preliminary analysis show that the spatial development of the plasma starts at the preionization volume and moves towards the continuous wave laser. In this process, the maximum propagation velocities are observed at the highest power densities close to the laser focus. However, all test runs determine a plasma dynamical motion in subsonic speeds below 100 m/s. The motion becomes energetically stable, if the absorbed energy is balanced with heat conduction and radiation losses.

Future work is dedicated to the maintenance of a stable plasma state in a flow field. In this case convective losses have to be included in the energy balance. Corresponding experiments are under preparation.



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Technische Physik
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 6862-773
Telefax: +49 (0)711 6862-788

www.DLR.de/tp