

# Plasma zur Strömungskontrolle

Plasma – der vierte Zustand der Materie. Mit Hilfe von Hochspannung lässt sich Luft ionisieren und in einen hochenergetischen Zustand versetzen. Wie man damit Strömungen an Oberflächen beeinflussen und dadurch den Reibungswiderstand von Flugobjekten reduzieren kann, damit beschäftigt sich eine Forschergruppe am Center of Smart Interfaces der TU Darmstadt.

## ► Plasma – The Fourth State of Matter

*By means of high voltage, air can be ionized and shifted into this high-energy condition. How one can affect fluid boundaries to reduce frictional drag of bodies in flight is investigated by a group of researchers at the Center of Smart Interfaces at TU Darmstadt.*

Sven Grundmann, Alexander Duchmann, Katrin Barckmann und Armin Kurz • Aktuelle Untersuchungen am Windkanal der TU Darmstadt befassen sich mit der aktiven Beeinflussung so genannter Grenzschichten. Diese Grenzgebiete bilden sich immer dann aus, wenn ein fester Körper in einem Fluid bewegt wird. Da die Fluidteilchen direkt an der Wand über die Haftbedingung genauso wie die Wandmoleküle in Ruhe sein müssen, bildet sich zwischen der Wand und der freien Strömung eine schmale Zone aus, welche durch große Geschwindigkeitsunterschiede geprägt ist.

Die meisten strömungsmechanischen Probleme lassen sich auf Ereignisse in oder Eigenschaften der Grenzschicht zurückführen. Zum Beispiel sind der Widerstand und der Auftrieb, welche ein Körper im umströmenden Fluid erfährt, in starkem Maße von den Vorgängen in den Grenzschichten abhängig. Man unterscheidet laminare Grenzschichten, in welchen die Fluidmoleküle sich auf gleichförmigen, parallelen Bahnen bewegen, von so genannten turbulenten, in denen chaotische Bewegungen vorherrschen. Die damit verbundene Durchmischung des Fluids nahe der Wand erhöht die Reibung drastisch und führt zu einem gesteigerten Energie-

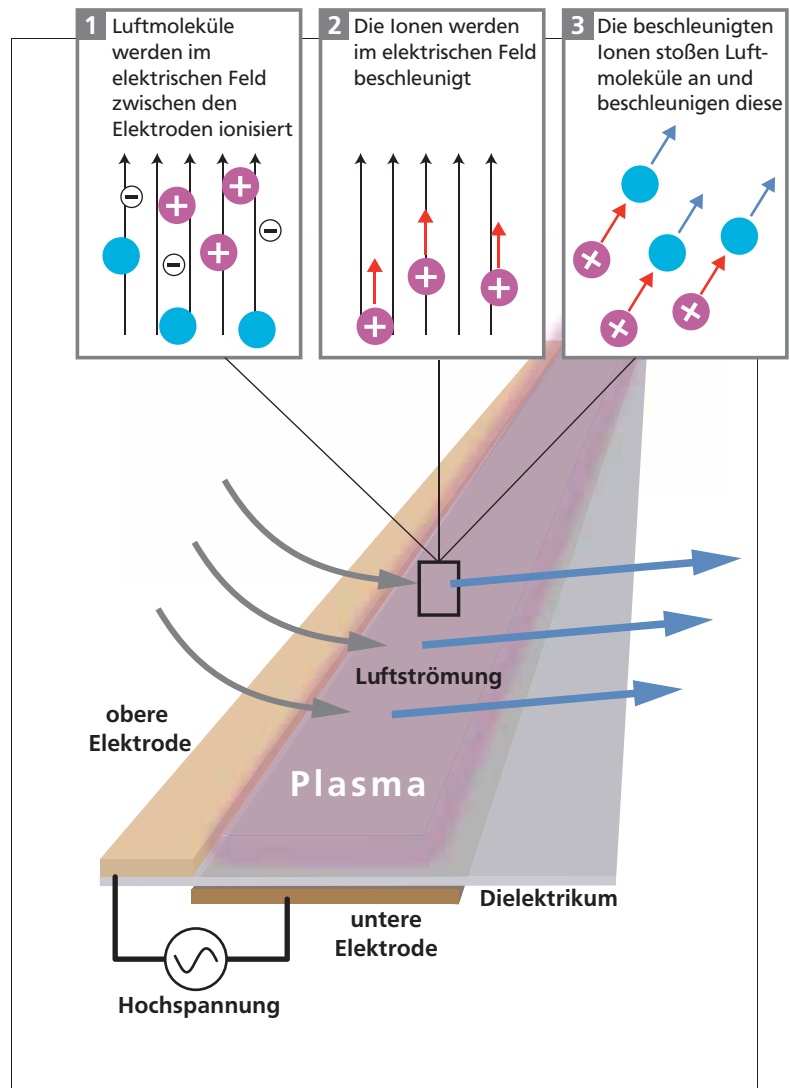


Abbildung 1  
Prinzipskizze  
Plasma-Aktuator.

aufwand. Jedoch findet früher oder später an jeder Körper/Fluid-Grenzfläche der als Transition bezeichnete Übergang vom laminaren zum turbulenten Zustand statt. Gelingt es aber, die Grenzschicht länger laminar zu halten, so kann dadurch der Reibungswiderstand reduziert werden. Für viele technische Anwendungen ist dies interessant, da so z. B. eine Einsparung von Kraftstoff erreicht werden kann.

Die Transition kann über verschiedene Mechanismen ablaufen. Bei der sogenannten natürlichen Transition verfällt die Grenzschicht zunächst in eine Oszillationsbewegung. Diese kann durch die

Oberflächeneigenschaften des Körpers selbst oder durch Störungen in der freien Anströmung initiiert werden. Unter ungünstigen Bedingungen wird diese Schwingung verstärkt. Werden die Amplituden zu groß, wird die Bewegung zunehmend ungeordnet und die Transition zur Turbulenz findet statt. Um diesen Mechanismus zu stoppen müssen die wandnahen Oszillationen unterdrückt werden. Eine Methode hierzu ist die aktive Wellendämpfung, bei der mit Hilfe von gepulst arbeitenden Aktuatoren die Störungen in der Grenzschicht gezielt ausgelöscht werden. Die Eigenschaften der Schwingungen müssen in sehr kurzer Zeit sensorisch erfasst und in elektronischen bzw. computerbasierten Regelkreisen verarbeitet werden, um schließlich mit dem Aktuator präzise gegenwirken zu können. Ist die Dämpfung erfolgreich kann die Grenzschicht über einen größeren Bereich des Körpers laminar gehalten werden. Im Bereich Drag and Circulation Control des CSI werden hierzu Plasma-Aktuatoren eingesetzt. Ihre speziellen Eigenschaften, wie ihre Fähigkeit einen Impuls in die Grenzschicht ohne bewegte mechanische Teile einzubringen oder der geringe Einbauraum, machen sie zu einem idealen Werkzeug für diese Aufgabe.

Eine andere Methode, den Aktuator zur Transitionsverzögerung zu verwenden, besteht darin, einen kontinuierlichen Impulseintrag in die unteren, langsamen Bereiche der Grenzschicht zu leisten. Dadurch wird die Geschwindigkeitsverteilung der Grenzschicht verändert und sie kann dadurch stabilisiert werden, so dass die wellenartigen Störungen nicht mehr angefacht und sogar gedämpft werden. Auch hierdurch kann eine längere, laminare Lauflänge der Grenzschicht erzielt werden.

Mit Hilfe moderner Messmethoden lassen sich diese Vorgänge mit hoher zeitlicher Auflösung visualisieren und der Einfluss des Plasma-Aktuators bestimmen. Die Untersuchungen sollen es ermöglichen, den Plasma-Aktuator für die verschiedenen Anwendungszwecke zu optimieren und ihn genau an die jeweiligen Erfordernisse anzupassen. Bislang wurden die Untersuchungen der Einfachheit halber bei niedrigen Geschwindigkeiten durchgeführt. In aktuellen Experimenten werden die Geschwindigkeiten schrittweise erhöht um Plasma-Aktuatoren auch bei größeren Geschwindigkeiten gewinnbringend einzusetzen. Das langfristige Ziel ist es, die Aktuatoren in Flugversuchen zu erproben

### Plasma-Aktuator

Plasma-Aktuatoren sind verhältnismäßig einfach aufgebaut. Mit zwei Elektroden und einer dazwischenliegenden, nichtleitenden Schicht können sie bequem an fast beliebiger Stelle angebracht werden. Wird zwischen den Elektroden eine Hochspannung angelegt, so bildet sich ein starkes elektrisches Feld aus. Durch dieses Feld werden die umgebenden Luftmoleküle ionisiert und es bildet sich ein schwach geladenes Plasma aus. Die geladenen Teilchen werden durch das elektrische Feld beschleunigt. Sie kollidieren mit den neutralen Luftmolekülen, wodurch diese wiederum beschleunigt werden. Diese Kraft wird vielseitig zur Modifikation wandnaher Strömungen verwendet.

und ihre Praxistauglichkeit unter Beweis zu stellen. Ein weiteres großes Forschungsgebiet am CSI ist es die Ablösung der Grenzschicht von z.B. Tragflächen zu verhindern.

Um Auftrieb erzeugen zu können, muss der Druck auf der Oberseite eines Tragflügels niedriger sein, als der Druck an der Unterseite. Jedoch muss der niedrige Druck zur Hinterkante des Flügels hin wieder

**Abbildung 2**  
Unbemanntes  
Versuchsflugzeug.



auf den Umgebungsdruck ansteigen. Die unteren, langsamen Bereiche der Grenzschicht haben nicht genügend Energie um gegen diesen Druckanstieg anzulaufen. Sie löst irgendwann vor dem Erreichen der Hinterkante ab und es kommt zu einer Rückströmung. Je nach Flugsituation kann so ein Strömungsabriss weit vor der Hinterkante oder direkt an der Vorderkante passieren und so die Auftriebs-erzeugung beeinträchtigen oder ganz verhindern. Aktive Kontrollmethoden schaffen es, das Einsetzen

• **Drag and Circulation Control**  
**Center of Smart Interfaces**

Dr.-Ing. Sven Grundmann, Tel.: 06151/16-6212  
E-Mail: grundmann@csi.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Alexander Duchmann, Tel.: 06151/16-6204  
E-Mail: duchmann@csi.tu-darmstadt.de

Armin Kurz, M.Sc., Tel.: 06151/16-6204  
E-Mail: kurz@csi.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Katrin Barckmann, Tel.: 06151/16-6204  
E-Mail: barckmann@csi.tu-darmstadt.de  
[www.csi.tu-darmstadt.de](http://www.csi.tu-darmstadt.de)

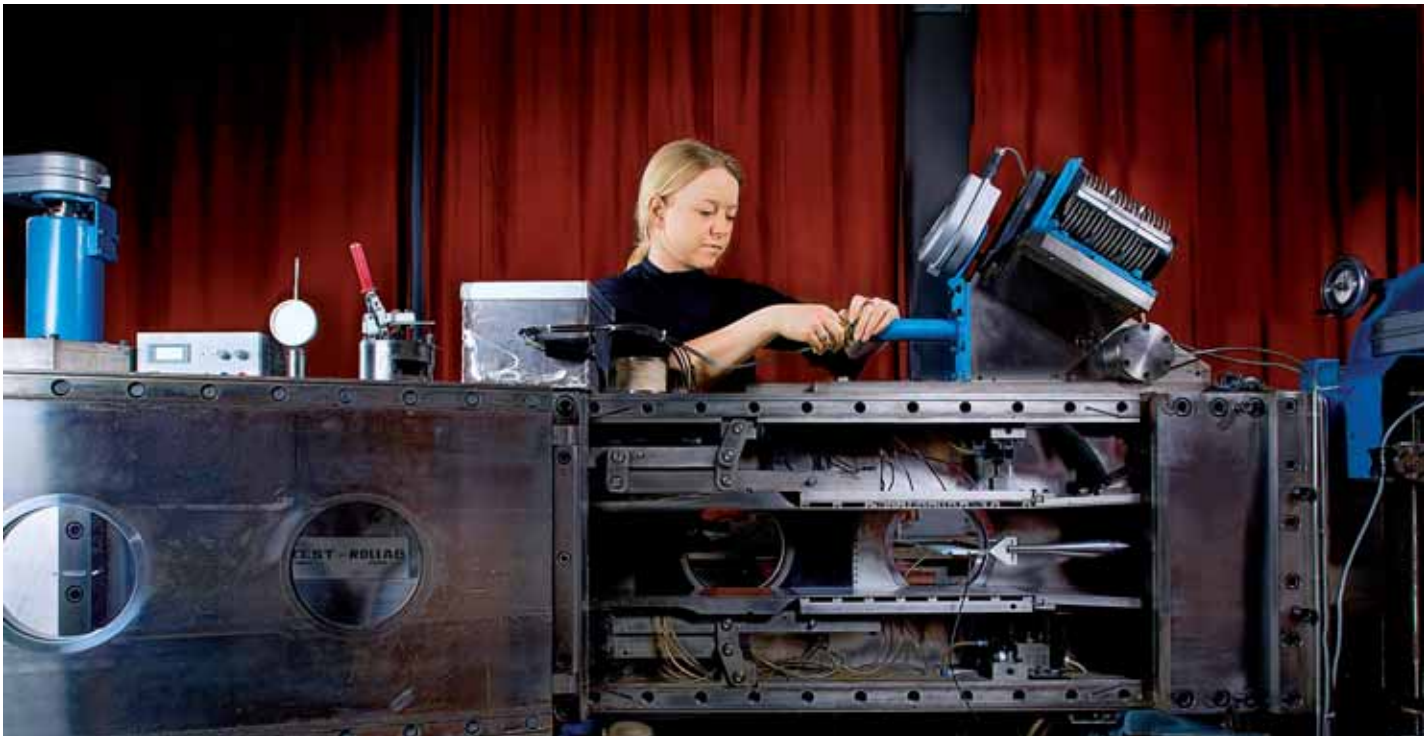
einer solchen Strömungsablösung zu verzögern, bzw. zu vermeiden, indem den langsamen Bereichen der Grenzschicht Energie zugeführt wird.

Der Strömungsabriss an den Tragflächen eines unbemannten Versuchsflugzeugs konnte bei niedrigen Geschwindigkeiten, durch direktes Einkoppeln von Energie in die Grenzschicht, bereits erfolgreich zu höheren Anstellwinkeln verschoben werden. Dies bedeutet in der Praxis, dass das Flugzeug z.B. mit geringerer Geschwindigkeit starten und landen könnte, damit Start- und Landestrecken und die Lärmbelastung reduziert werden können. Das ferngesteuerte Versuchsflugzeug dient als Plattform für Experimente unter Freiflugbedingungen, die im Windkanal nicht reproduzierbar sind. Zudem steht am Institut ein mit modernster Messtechnik ausgestatteter zweisitziger Motorsegler vom Typ G109 zur Verfügung, mit dem auch bei höheren Fluggeschwindigkeiten Versuche geplant sind.

Die Anwendbarkeit von Plasma-Aktuatoren zur Strömungskontrolle ist momentan auf niedrige Strömungsgeschwindigkeiten und Reynoldszahlen begrenzt. Um diese Grenze zu verschieben und um



**Abbildung 3**  
Flügel-Profil mit  
Plasma-Aktuator  
Array.



festzustellen bei welchen Geschwindigkeiten noch eine brauchbare Strömungskontrolle erzielt werden kann, werden Experimente im trisonischen Windkanal der TU Darmstadt durchgeführt. Dieser Windkanal kann einen Geschwindigkeitsbereich von 0,4- bis 4-facher Schallgeschwindigkeit und somit Bereiche des hohen Unter-, Trans- und Überschalls abdecken. Die von Plasma-Aktuatoren er-

zeugte Kraft ist vergleichsweise gering gegenüber diesen hohen Geschwindigkeiten. Um dennoch ausreichend Einfluss auf die Strömung nehmen zu können müssen Konzepte zur Strömungskontrolle entwickelt werden, die nicht auf große induzierte Kräfte angewiesen sind, sondern durch kleine Krafteinkopplungen das natürliche Verhalten der Strömung ausnutzen.

Auch bei höheren Geschwindigkeiten ist die Ursache der Grenzschichtablösung ein Druckanstieg. Dieser kann jedoch unterschiedliche Ursachen haben: Den Druckanstieg zur Hinterkante des Profils aber auch ein weiterer Effekt. Ist die Anströmgeschwindigkeit nahe der Schallgeschwindigkeit, treten auf Tragflügeln lokale Überschallgebiete auf, die durch einen starken, stoßartigen Druckanstieg wieder in den Unterschall übergehen. Diese Druckanstiege können eine Grenzschichtablösung bewirken. Im Vergleich zu den Versuchen mit dem unbemannten Versuchsflugzeugs ist durch ein direktes Zuführen von Energie in die Grenzschicht keine Strömungskontrolle zu erzielen. Hier muss das natürliche Verhalten der Strömung genutzt werden und Wirbel erzeugt oder Oszillationen angeregt werden, die ihrerseits energiereiches Fluid aus der freien Strömung in die wandnahen Bereiche transportieren, um die Grenzschichten zu beeinflussen.

Plasma-Aktuatoren haben das Potential, das Gebiet der Strömungskontrolle zu revolutionieren. Ob dies für mannigfaltige Anwendungen realisierbar ist, werden neben vielen Arbeiten in aller Welt auch die Projekte an der TU Darmstadt in der Zukunft zeigen.

**Abbildung 4**  
Katrin Barckmann bei der Arbeit am trisonischen Windkanal der TU Darmstadt.



**Sven Grundmann** arbeitet am Center oft Smart Interfaces als Arbeitsgruppenleiter im Bereich Drag and Circulation Control.



**Alexander Duchmann** erforscht die Grenzschichtstabilisierung und Transitionskontrolle mit Hilfe von DBD Plasma-Aktuatoren im Bereich Drag and Circulation Control.



**Armin Kurz** arbeitet an der aktiven Wellendämpfung zur Transitionsverzögerung mit Hilfe von DBD Plasma-Aktuatoren im Bereich Drag and Circulation Control.



**Katrin Barckmann** untersucht die Kontrollautorität von DBD Plasma-Aktuatoren bei höheren Geschwindigkeiten im Bereich Drag and Circulation Control.