Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen berichtet über neue Technologien

Hyperschall-Antriebe

Von Hyperschall-Strömungen spricht man, wenn sich Fluggeräte mit fünffacher Schallgeschwindigkeit (Machzahl (Ma) 5) oder schneller durch die Erdatmosphäre bewegen. Antriebe, mit denen solche Fluggeschwindigkeiten erzielt werden können, werden als Hyperschall-Antriebe bezeichnet. Die dafür benötigte Vortriebsleistung können nur Strahltriebwerke erzeugen. Stand der Technik sind sie bereits auf der Basis von Raketen, die allerdings den Oxidator an Bord mitführen müssen. Luftatmende Hyperschall-Antriebe, die den Sauerstoff aus der Umgebungsluft verbrennen, befinden sich trotz jahrzehntelanger Bemühungen immer noch weitgehend im Stadium der Grundlagenforschung.

Das ungebrochen große Interesse an derartigen Systemen erklärt sich damit, dass sie im Vergleich mit Raketen zwar eine geringere Schubkraft hätten, aber wesentlich höhere Reichweiten erlauben würden. Das würde z.B. die Wirksamkeit verschiedener Waffensysteme, vor allem von Marsch- und Lenkflugkörpern, signifikant erhöhen. Die Erschließung des Hyperschall-Flugbereichs durch luftatmende Antriebe würde außerdem einen wichtigen Fortschritt für die Raumfahrt bedeuten, da diese z.B. als erste Stufe wiederverwendbarer Raumtransportsysteme den Zugang zum Weltraum vereinfachen und verbilligen würden. Aber auch der zivile Luftverkehr könnte von einer erfolgreichen Entwicklung geeigneter Hyperschall-Antriebe profitieren.

Konventionelle Turbojetantriebe mit rotierenden Kompressoren, welche den Oxidator Luft mechanisch verdichten, erreichen maximal etwa Ma 3. Größere Geschwindigkeiten sind mit Staustrahltriebwerken mit Unterschallverbrennung (Ramjets) möglich, die z.B. in Flugabwehrsystemen bereits vereinzelt realisiert sind, sich aber unter realen Bedingungen jenseits von Ma 5 nicht eignen. Noch höhere Geschwindigkeiten wären mit Staustrahltriebwerken mit Überschallverbrennung (Supersonic Combustion Ramjet = Scramjet) erreichbar.

Staustrahltriebwerke besitzen keine mechanischen Komponenten zur Verdichtung der anströmenden Luft. Allein durch das sehr hohe Tempo staut und verdichtet sich die Luft in der Brennkammer. Deshalb funktionieren sie nicht vom Start weg, sondern erst ab einer gewissen Mindestgeschwindigkeit. Bei Ramjets entsteht schließlich ein vertikaler Verdichtungsstoß am Triebwerkseinlauf, hinter dem die Luft mit Unterschallgeschwindigkeit strömt. Bei Scramjets wird die Strömung bis zum Eintritt in die Brennkammer durch mehrere schräge Verdichtungsstöße auf etwa 30-50 Prozent der Flugmachzahl abgebremst und damit verdichtet. Bei realen Brennkammerlängen ergeben sich damit Verweilzeiten im Bereich von ein bis zwei Millisekunden, in denen der Verbrennungsvorgang abgewickelt sein muss. Außerdem entstehen beim Aufstau der Luft im Triebwerk enorme Temperaturen und Drücke.

Unter diesen Bedingungen kommen als Treibstoffe Kohlenwasserstoffe oder Wasserstoff infrage. Kohlenwasserstoffe (z.B. Kerosin) liefern eine wesentlich geringere Antriebsleistung als Wasserstoff, da letzterer eine mehr als dreimal höhere massebezogene Energiedichte aufweist. Im Vergleich zu Kohlenwasserstoffen beträgt die Dichte von flüssigem Wasserstoff aber nur etwa zehn Prozent, sodass er in etwa das Vierfache an Tankvolumen benötigt. Wegen dieses und anderer Aspekte ist man bestrebt, die Nutzung von Wasserstoff zu vermeiden. Jenseits von Ma 8 wird sein Einsatz jedoch unumgänglich.

Insgesamt ergeben sich aus dem bisher Gesagten zwei Notwendigkeiten: Erstens müssen für die Überwindung des Geschwindigkeitsbereichs von Null bis zum Zünden des Hyperschalltriebwerks andere Triebwerke eingesetzt werden, und zwar entweder Raketen-Booster oder verschiedene Kombinationen von Turbojet und Ramjet. Zweitens muss die Gestaltung des ganzen Fluggeräts auf die Integration des Triebwerks ausgerichtet werden, um die erforderlichen (schrägen) Verdichtungsstöße bis zum Einlauf und im Triebwerk bei Hyperschallgeschwindigkeit zu erreichen.

Einen alternativen Entwicklungsweg stellen sogenannte Detonations-Triebwerke dar. In konventionellen Brennkammern wird der Kraftstoff in einem kontinuierlichen Prozess mit Unterschall-Abbrandgeschwindigkeit verbrannt – als Deflagration. Wesentlich höhere Abbrandgeschwindigkeiten sind mit detonativer Verbrennung erreichbar. Hier geschieht die Ausbreitung der Flammenfront in Form einer Stoßwelle mit Überschallgeschwindigkeit. Jede Detonation erzeugt also eine Überschall-Schockwelle, die nach dem Rückstoßprinzip für Schub sorgt. Die Entwicklungsbemühungen richten sich hierbei auf die Erzeugung eines kontinuierlich ablaufenden Prozesses. Die Möglichkeit eines Starts mit einem solchen Triebwerk von Geschwindigkeit Null bis zum Hyperschall wird erwartet, allerdings wird eine Limitierung auf den Flugbereich bis zu etwa Ma 6 bis 7 gesehen. Ob Detonations-Antriebe langfristig im hohen Hyperschall-Bereich einsetzbar sein werden, ist noch unklar.

Bis heute existiert kein einsatzbereiter Antrieb für den luftatmenden Flug im Hyperschall-Bereich. Einzelne Testflüge von Scramjets für Sekunden bis Minuten erfordern derzeit noch hohen Aufwand und jahrelange Vorbereitung. Die Testflüge dienen dabei primär dem Sammeln grundlegender Erkenntnisse. Der iterative Prozess des naturwissenschaftlich-technischen Erkenntnisgewinns verläuft hier langsamer als in vielen anderen Forschungsgebieten. Quasi als Zwischenlösung existieren daher zivile wie militärische Konzepte, Fluggeräte mithilfe von Raketen auf Hyperschall zu beschleunigen und nach Abtrennung von der ausgebrannten Rakete im Gleitflug mit hoher Hyperschall-Geschwindigkeit antriebslos zum Zielort zu führen (Boost-Glide).

Insgesamt ist aber davon auszugehen, dass es langfristig luftatmende Gesamtkonzepte geben wird, die den Flugbereich von Ma 0 bis 12 abdecken können. Die bisherige Entwicklungsdynamik und die noch zu lösenden Herausforderungen neben der Realisierung eines gesamten Fluggeräts legen allerdings nahe, dass die Entwicklung technisch ausgereifter Scramjet-Triebwerke noch mehr als ein Jahrzehnt benötigen wird. Wiederverwendbare Hyperschall-Flugzeuge oder Raumtransporter wird es somit erst nach 2030 und vermutlich nicht vor 2040 geben können.

Wolfgang Nätzker