



Mit der Boeing X-51A untersuchte die U.S. Air Force eine mögliche Auslegung für Hyperschall-Flugkörper. Die geplante Geschwindigkeit wurde bei Flügen 2012/13 aber nicht erreicht.

Grafik: U.S. Air Force

RUSSLAND UND CHINA SIND VORREITER

Hyperschallwaffen und Raumgleiter

Ein neues Wettrüsten ist in Gang: die Entwicklung von Hyperschallwaffen. Die Erkenntnisse aus diesen Forschungen könnten auch die seit langem erträumten Raumgleiter zum Flug in den Orbit möglich machen.

Seit etwa 30 Jahren geistern von der Öffentlichkeit meist unbemerkt Projekte von sehr schnellen militärischen Flugkörpern, die mit mehr als Mach 5, also im Hyperschallbereich, fliegen können, durch die Fachpresse. Es gab dann dazu schicke Grafiken, Staatsgelder und Forschungsaufträge. Als einzige greifbare Ergebnisse blieben dann zum Schluss theoretische Doktorarbeiten, bevor die Projekte sang und klanglos eingestellt wurden. Die technischen Probleme waren mit den seinerzeit bereitgestellten Mitteln nicht zu lösen. Dies hat sich seit einigen Jahren geändert, jetzt fließt viel Geld. Die Supermächte USA, Russland und China

treiben heute das neue Wettrüsten um die Hyperschall-Technologie voran. Dabei haben Russland und China die Führung übernommen. Dies geschah aus der Notwendigkeit heraus, dem amerikanischen Übergewicht in militärischer Präsenz ein Gegengewicht durch technisch hochwertige Waffen entgegenzusetzen. Jetzt scheint sich jede größere Nation mit Hyperschall-Flugkörpern zu beschäftigen. Die USA versuchen gerade mit Russland und China gleichzuziehen, doch sind die Voraussetzungen für solch ein Fluggerät nur schwer zu schaffen. Dabei flog der erste Hyperschall-Flugkörper schon im Zweiten Weltkrieg – und zwar in Deutschland.

Kurze Geschichte des Hyperschallfluges

1936 schlug Dr. Wolf Trommsdorff dem deutschen Heer vor, Granaten durch einen Staustrahltrieb nachzubeschleunigen und so den Geschützen größere Reichweiten zu geben oder Flakgranaten schneller ins Ziel zu bringen. In Kummersdorf bei Berlin begannen die Versuche, anfangs ohne großen Erfolg, dann flogen die von Dr. Trommsdorff entwickelten Geschosse bis Mach 6 stabil. In der Raketen-Forschungsstelle Peenemünde untersuchte man die Trommsdorff-Triebwerke im Hochgeschwindigkeitswindkanal und sah in ihnen die Möglichkeit, der Fernrakete Aggregat A4 (V-2) zu-



Foto: U.S. Army

Der Flug eines modifizierten Aggregat A4 mit einer Hyperschall-Oberstufe schlug 1947 fehl.



Foto: U.S. Air Force

Die erste Attrappe für den Navaho-Flugkörper der USA zeigt noch die Ähnlichkeit mit der deutschen Rakete Aggregat A4 mit zwei Trommsdorff-Staustrahltriebwerken (die Attrappe zeigt nur eines).

sätzliche Reichweite zu verleihen. Nach Kriegsende untersuchten sowohl die Sowjets als auch die Amerikaner diesen Antrieb sehr genau und entwickelten damit in der Atmosphäre fliegende Überschall-Interkontinental-Flugkörper.

In den USA wurde eine von ehemaligen Peenemündern geplante Version einer A4-Rakete mit einem aufgesetzten Hyperschall-Flugkörper mit Staustrahlantrieb als „Hermes II“ im Mai 1947 verschossen. Der Versuch schlug fehl, als die Rakete vom Kurs abkam und in Mexiko landete. Den ersten Entwürfen des amerikanischen Interkontinental-Flugkörpers Navaho kann man die Entstehung aus einem A4 mit luftatmendem Zusatzantrieb aber noch ansehen. Wie auch das russische Gegenstück Burya sollte Navaho im hohen Überschallbereich fliegen. Als sich Interkontinentalraketen als die effektivere Waffe erwiesen, verschwanden diese Flugkörper wieder aus den Arsenalen und auch geforscht wurde daran nicht mehr intensiv.

In Vorbereitung auf bemannte Raumflüge flog in den USA das Raketenflugzeug North American X-15 von 1959 bis 1968 mit bis zu Mach 6,7 und einer Flughöhe von 108 km bei insgesamt 199 Flügen. Eine geplante Weiterentwicklung, die als Raumfähre Dyna Soar den Orbit erreichen sollte, wurde 1963 eingestellt.

Hyperschall

Als Hyperschall wird der Geschwindigkeitsbereich ab Mach 5 bezeichnet. Ab Mach 10 bis Mach 25 spricht die Wissenschaft vom Hohen Hyperschallbereich. Der Begriff Hyperschall deckt also einen Geschwindigkeitskorridor zwischen etwa 6100 und 12 300 km/h und dann als Hoher Überschall bis 30 800 km/h ab. Da sich der Luftwiderstand eines Körpers bei steigender Fluggeschwindigkeit sehr stark vergrößert, scheint das Erreichen von Hyperschallgeschwindigkeiten vor allem eine Frage der Antriebskraft zu sein. Doch weit gefehlt. Jenseits der sogenannten Schallmauer bei Mach 1 liegt die Hitzemauer ab etwa Mach 2,5. Oberhalb dieser Geschwindigkeit erhitzt sich die Oberfläche eines Flugkörpers durch die Luftreibung so stark, dass viele Baustoffe an ihre Festigkeitsgrenze kommen und bei noch höheren Geschwindigkeiten eine extra Hitzeschutzschicht benötigen.

Foto: U.S. Air Force / Bobby Zapka



Die Boeing X-51A Waverider unter dem Trägerflugzeug Boeing B-52. Das Feststoffbooster ist deutlich zu sehen. Der Flugkörper erreichte nur knapp Mach 6 statt der erwarteten Mach 7.

Seitdem es Raumfahrt gibt, beschleunigen Raketen von Null auf 25 000 km/h, ihnen scheinen die Hyperschallphänomene nichts auszumachen. Das stimmt so nicht. Der Trick der Raketen ist, sie fliegen zuerst senkrecht nach oben. Etwa bei Mach 1 erreichen sie den Punkt höchster Belastung (Max-Q), kurz danach verlassen sie die dichte Atmosphäre und werden von aerodynamischen Kräften nur noch wenig beeinträchtigt, dann erst schwenken sie in eine Bahn parallel zur Erdoberfläche ein. Zurück aus dem Orbit geht es nicht so einfach. Raumkapseln, Raumfähren aber auch Atomsprenköpfe treten mit der Orbitalgeschwindigkeit in die Atmosphäre ein, dabei müssen sie die hohen Luftkräfte und die Reibungshitze aushalten. Deswegen gibt man ihnen einen schweren Hitzeschutz mit. Raumfahrttraketen können also nicht als Beispiel für gelungene Hyperschallflugkörper dienen.

Warum Hyperschall-Flugkörper?

Das brennende Interesse an militärischen Hyperschall-Flugkörpern kommt von der verbesserten Abwehrmöglichkeit gegen herkömmliche, meist

im hohen Unterschallbereich fliegende Waffensysteme. Als erstes Beispiel soll hier der Angriff auf ein großes Punktziel, etwa auf einen Zerstörer oder Flugzeugträger dienen. Heutige Marschflugkörper, die gegen solche Ziele eingesetzt werden, fliegen oft im Tiefflug etwa mit 900 bis 1100 km/h. Sie werden in der Regel in Entfernungen von 200 bis 30 Kilometern vom Ziel von Trägerflugzeugen abgesetzt. Ein langsamer Flugkörper braucht also zwischen 13 bis zwei Minuten für die Distanz, der schnellere von elf bis 1,7 Minuten (100 Sekunden). Bei guter Fernüberwachung gibt dies den Verteidigern Zeit, um die Nahbereichsverteidigung, die einen Kreis von acht bis zwei Kilometern um das Schiff sichert, zu aktivieren. Diese Verteidigung besteht in der Regel aus radargesteuerten Schnellfeuerkanonen oder Kurzstreckenraketen. Sie müssen das Ziel also erst erfassen, bevor sie feuern können.

Werden Hyperschallwaffen mit beispielsweise 8000 km/h gegen diese Schiffsziele eingesetzt, reduziert sich die Vorwarnzeit auf 90 bis 14 Sekunden. Der Hyperschall-Flugkörper durchdringt den Nahverteidigungsbereich bis zum Ein-

Grafik: US DoD



So stellt man sich einen manövrierfähigen Hyperschall-Sprengkopf in den USA vor.

Grafik: youtube.com



Der russische Lenkflugkörper 3M22 Zirkon wird von U-Booten gegen Schiffe gestartet. Sein Ziel kann er aus 500 km Entfernung mit Mach 8 bis 9 anfliegen.



Foto: youtube.com

Während der Militärparade zum 70. Jahrestag der Volksrepublik China am 1. Oktober 2019 zeigte China auch den Hyperschall-Lenkflugkörper DF-17. Der mit Booster elf Meter lange Flugkörper legt mit Mach 8 bis 10 bis zu 2500 km zurück.



Grafik: Stratolaunch

Stratolaunch stellt sein Trägerflugzeug für Tests von Hyperschall-Technik zur Verfügung.

erschlag in 3,6 bis 0,9 Sekunden. Das schafft keine Befehlskette. Der sogenannte OODA-Loop, der militärische Entscheidungsprozess Beobachtung–Orientierung–Entscheidung–Handlung, wird dabei ausgehebelt. Und die Abwehr-Waffensysteme auf einem Kriegsschiff können diesem Flugkörper mit den heutigen technischen Möglichkeiten nicht folgen und ihn bekämpfen.

Seit 2018 läuft ein deutsches Entwicklungsprogramm für einen Anti-Panzer-Flugkörper mit Mach 5. Deutsche Militärs reagieren seit dem Zweiten Weltkrieg sehr empfindlich auf russische Neuentwicklungen auf dem Panzersektor. Seit Februar 2018 hat Russland zwei Panzerbataillone mit dem neuen T-14 Armata ausgerüstet. Der Panzer hat etwa die Größe des Leopard II, ist aber wesentlich leichter als seine westlichen Gegenstücke und soll ohne Nachtanken 500 km sehr schnell zurücklegen können. Er verfügt über eine aktive (oder reaktive) Panzerung. Dies ist, vereinfacht gesagt, eine Außenhaut aus Sprengstoffplatten oberhalb der gewöhnlichen Metallpanzerung. Trifft ein Panzerabwehrgeschoss auf diese Platten, zündet der Sprengstoff der Platten extrem schnell. Die speziell geformten Köpfe von Hohlladungsgeschossen werden dabei verformt oder zerrissen, sodass sich der gefährliche heiße Metallstachel der Hohlladung nicht entwickeln kann. Harte Geschosse werden oft ebenfalls verformt, sie haben es dann schwerer,



Grafik: Raytheon/Northrop-Grumman

Ende April 2020 startete die U.S. Air Force eine Ausschreibung für eine bordgestützte Hyperschall-Abwehrrakete, die von automatisch fliegenden Stealth-Kampfflugzeugen aus eingesetzt werden soll.

die Metallpanzerung zu durchschlagen. Die Hoffnung ist nun, mit einem Hyperschallgeschoss schneller zu sein als die Reaktionsgeschwindigkeit des Sprengstoffs der Aktivpanzerung.

Luftatmende Antriebe

Um heute üblichen Flugkörpern schnell eine hohe Geschwindigkeit zu geben, ist ein Feststoff-Raketentriebwerk die übliche Wahl. Nachteilig ist die kurze Brenndauer solcher Raketentriebwerke. Auch eine Zerteilung des Treibsatzes in einen schnellbrennenden zum Start und einen langsambrennenden für den Flug hilft wenig. Mit solchen Tricks liegt die Gesamt-Antriebsdauer höchstens bei einigen Dutzend Sekunden. Daraus ergibt sich eine typische Reichweite von etwa 20 bis höchstens 80 Kilometern. Oft wird das letzte Wegstück ohne Antrieb zurückgelegt. Eine größere Reichweite mit Flugkörpern, die etwa mit Mach 0,9 fliegen, erreicht man durch Düsentriebwerke. Diese holen sich den Verbrennungssauerstoff aus der Luft, damit reicht der Treibstoff an Bord für eine längere Brenndauer.

Für Hyperschall-Flugkörper gilt dies prinzipiell ebenso. Sollte der Flugkörper auf Hyperschallgeschwindigkeit beschleunigt werden, wäre der Raketentreibstoff schnell verbraucht und nur eine unbedeutende Reichweite könnte erzielt werden. Das ist nur sinnvoll bei den sogenannten Sprintern, Abwehrraketen gegen andere Flugkörper, welche den Gegner in der letzten Flugphase, kurz vor dem Einschlag abfangen sollen. Beispielsweise wurde die sowjetische Abwehrrakete 53T6 der 1970er-Jahre innerhalb von vier Sekunden auf Mach 16 beschleunigt. Für größere Reichweiten wird der Flugkörper auf eine Startrakete gesetzt, die nach dem Ausbrennen abgeworfen wird. Damit wird das Gesamtgerät aber sehr groß und schwer.

Der Einsatz eines luftatmenden Triebwerks gestaltet sich aber im Hyperschallbereich sehr schwierig. Normale Strahltriebwerke arbeiten nur, wenn sich die angesaugte Luft im Unterschallbereich bewegt. Will man ein hyperschall-schnelles Fluggerät mit einem Triebwerk mit Verdichterschaukeln ausrüsten, so muss die Luft vor dem Einlauf auf Unterschallgeschwindigkeit abgebremst werden. Das Aufstauen der immens schnellen Luft erhitzt diese aber so stark, dass das Schaufelmateriale den Temperaturen nicht standhalten kann. Deswegen ist dies keine gangbare Lösung.

Ohne Schaufeln kommen Staustrahl- und Scramjet-Triebwerke aus. Ein Körper (Diffusor) im Lufteinlauf erzeugt Schockwellen, welche die Luft in der Triebwerksröhre verdichten und erhitzen. Beim Staustrahltriebwerk wird die Luft dabei auf Unterschallgeschwindigkeit abgebremst, Treibstoffzugemischt und bei unter Mach 1 Strömungsgeschwindigkeit verbrannt. Diese Art Triebwerk kann ab einer Fluggeschwindigkeit von etwa Mach 2 eingesetzt werden und funktioniert bis höchstens Mach 7. Beim Scramjet bleibt die Strömung im Triebwerk im Überschallbereich. Der Lufteinlauf enthält auch einen Diffusor, der aber vergleichsweise weniger Volumen hat als beim Staustrahltriebwerk. Scramjets können ab etwa Mach 5 arbeiten, dann ist der Staudruck am Ein-



Die britische Firma Reaction Engines zielte mit ihrer Triebwerksentwicklung ursprünglich auf einen reinen Raumtransporter ab, wie hier in der aktuellen Grafik. Mittlerweile werden aber auch militärische Flugkörper entwickelt.

lauf hoch genug. Theoretisch sollten Scramjets bis Mach 15 arbeiten, praktisch nachgewiesen wurde dies bisher nicht. Beide Triebwerksarten müssen erst auf ihre Arbeitsgeschwindigkeit beschleunigt werden, dies geschieht meist durch Feststoffraketen. Viele Entwürfe, vor allen für schnelle Passagiertransporter oder Raumgleiter werden mit Kombinationstriebwerken geplant, bei denen der Flugbereich zwischen Mach 2 und Mach 12 bis 15 durch ein Staustrahl-/Scramjet-Wandeltriebwerk abgedeckt wird.

Andere Aerodynamik im Hyperschall

Bei der Auslegung von Fluggeräten für Hyperschallgeschwindigkeiten können die Konstrukteure getrost ihr Wissen aus der herkömmlichen Luftfahrt vergessen. An jeder Kante oder jedem Knick staut sich die Luft und erhitzt sich bei hohen Machzahlen, bis Metalle weißglühend werden. Auftrieb kann nicht mehr über ein Flügelprofil erzeugt werden. Deswegen haben die meisten Entwürfe flache Unterseiten, sie „reiten“ gewissermaßen auf der angeströmten Luft. Da es sich bei der Hyperschalltechnologie um militärisch brisante Forschung handelt, gibt es nur wenige echte Fotos von wirklichen Fluggeräten oder handfeste Informationen von Entwürfen oder Testflügen. Den schönen Grafiken sollte man nicht immer trauen. Oft haben solche Flugkörper sehr spitze Rumpfnasen, was von der Theorie her mit herkömmlichen Baustoffen nicht umsetzbar ist. Alle wirklich fliegenden Raumtransporter, ob bemannt oder unbemannt, die ja die hohen Geschwindigkeitsbereiche durchqueren müssen, haben stumpfe Nasen. Auch dünne Flügel sind oft auf solchen Grafiken zu sehen. Weit jenseits der Hitzemauer wird es wohl schwer, diese nicht im Flug schmelzen zu lassen.

Wenn jetzt viel Geld in die Hyperschall-Forschung investiert wird, gibt es dabei auch viel zu verdienen. So wundert es nicht, dass die riesige amerikanische Trägermaschine Strato-launch, die nach nur einem Flug 2019 zum Ver-

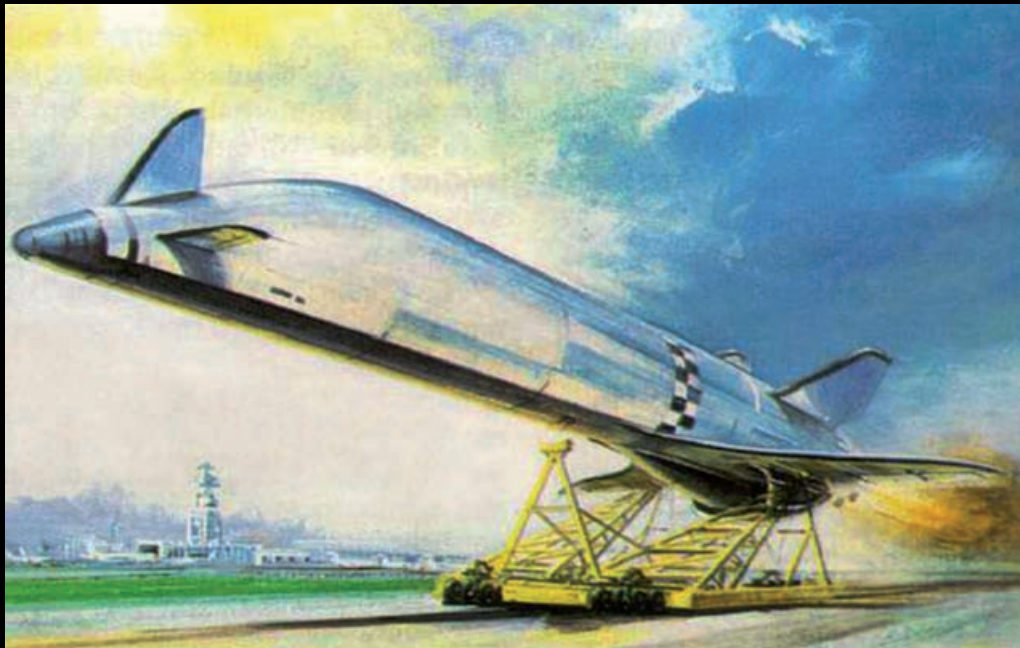
kauf stand, von einer Firma erworben wurde, die damit Dienstleistungen für die Entwicklung von Hyperschall-Flugkörpern anbietet.

Welcher militärzweck steckt dahinter?

Die schon weiter vorn angesprochenen Argumente sprechen für einen Einsatz von Hyperschall-Flugkörpern zur Bekämpfung von Punktzielen zu Lande und zu Wasser. Hyperschnelle Flugabwehrgeschosse können auch die Fähigkeit von Sensornetzwerken in Verbänden von Kampfflugzeugen zur Einleitung von Gegenmaßnahmen überfordern und einen Luftangriff auf so gesicherte Areale unmöglich machen. Die USA meldeten am 28. April 2020 den Beginn der Entwicklung eines luftgestützten Hyperschall-Abfanggeschosses. Es soll von Flugzeugen aus mit einem Feststoffbooster gestartet werden und dann, mit einem Staustrahl-

triebwerk oder Scramjet fliegend, gegnerische Flugzeuge abfangen.

Russlands Präsident Wladimir Putin gab im Dezember 2019 bekannt, Russland verfüge über einen, mit einer Rakete gestarteten interkontinentalen Hyperschall-Nuklearträger namens Avangard. Anstelle der bisher verwendeten Atomsprengeköpfe kann Avangard mit Mach 20 bis 27 in der Atmosphäre manövrieren und so Abwehr raketen ausweichen. Testflüge zwischen 2015 und 2018 verliefen erfolgreich. Nach westlichen Analysen verfügt Avangard über kein eigenes Antriebssystem. Dennoch erreichen diese Sprengköpfe von Raketen jetzt ein neues Bedrohungsniveau. Diese Hyperschallgleiter fliegen keine ballistische, daher vorhersagbare, Kurve, wie normale Sprengköpfe. Der Aufwand zur Abwehr wird bedeutend größer und viel teurer.



Auf seinem Startwagen rast der ursprüngliche Entwurf des britischen Raumtransporters HOTOL die Startbahn auf einem normalen Flughafen entlang.



Grafik: NASA

Nach dem Wellenreiter-Prinzip flogen drei Hyperschallgleiter Boeing X-43A von 2001 bis 2003. Erreicht wurden Mach 9,66 und eine Flughöhe von 34 Kilometern.

Die Hyperschalltechnologie erhöht den Druck, Waffensysteme unter die Kontrolle von Computern mit künstlicher Intelligenz zu geben und damit den Einfluss von Menschen auf die Kriegsführung zu mindern. Damit stehen wir wieder dort, wo uns der Kalte Krieg schon einmal gesehen hat: Am Beginn einer neuen Rüstungsrunde, die den Gegner durch eigene Errungenschaften militärisch und wirtschaftlich schwächen soll.

Hyperschall in der i illuftfahrt

Als Ende der 1960er-Jahre die Concorde und Tupolew Tu-144 erstmals flogen und auch in den USA an Überschallverkehrsflugzeugen gearbeitet wurde, spielten die Konstrukteure schon mit Gedanken an die nächste Generation, die Hyperschallflugzeuge. Der Luftverkehr entwickelte sich seitdem jedoch nicht in die Richtung, wenige, aber zahlungskräftige Business-Reisende superschnell zu ihren Zielen zu bringen, sondern dahin, Massen von Normalverdienern mit eher mäßigem Komfort an die Strände der Welt zu befördern. Dennoch ist die Idee vom Hyperschall-Airliner nicht begraben

worden. Auf den ersten Blick hat es etwas Faszinierendes, eine Schlagzeile, wie „Von Los Angeles nach Tokio unter zwei Stunden“ zu lesen. Da kommt ein Berliner im Berufsverkehr gerade von einem Ende seiner Stadt zum anderen.

Flüge mit Hyperschallgeschwindigkeit erfordern, wie auch die Militärs festgestellt haben, spezielle Antriebe. Seriös durchgerechnete Projekte stützten sich daher bisher hauptsächlich auf den Raketenantrieb. Unzählige Varianten von Flugkörperentwürfen sind in den letzten Jahrzehnten entstanden: zweistufige Konzepte mit reinem Raketenantrieb oder gemischt mit Strahltriebwerken. Einstufige Flugzeuge, gestartet von Schienenbahnen oder Startfahrzeugen sowie hinter oder unter riesigen Schleppflugzeugen in die Luft getragen. Es gibt Projekte von Flugzeugen mit Mischantrieben von Düsen-/Staustrahl-/Raketentriebwerken für eine Handvoll Insassen oder aber für 300 Passagiere.

Bei derartigen Gedankenspielen werden oft die Umfeldbedingungen für einen Passagierbetrieb mit Hyperschall vernachlässigt. Die Sicherheit der Insassen hat auch hier oberste Pri-

orität. Beim Space Shuttle wurde wegen der Komplexität und Belastung der Maschine ein Sicherheitsfaktor von 99 Prozent prognostiziert – alle 100 Missionen könnte ein Unglück eintreten. Dies hat sich leider bewahrheitet, bei 135 Flügen gab es zwei Totalverluste. Für einen Linienbetrieb mit raketentriebenen Airlinern muss die entsprechende Sicherheitsmarge im Vergleich zum Space Shuttle um mehrere Größenordnungen erhöht werden. Raketenantriebe entwickeln zudem einen Höllenlärm. Einige Prozent der erzeugten Energie werden als Schall abgestrahlt. Dies hieß bei der Saturn-Rakete, bis etwa 1000 Meter im Umkreis tötete der Schalldruck jedes Lebewesen. Auch wenn die raketentriebenen Hyperschall-Airliner mit weniger Schubkraft auskommen als eine Mondrakete, sind Starts von herkömmlichen Flughäfen eher unwahrscheinlich.

Interessant sind dagegen Konzepte, mit normalen Düsentriebwerken zu starten und dann im Flug auf Staustrahltriebwerke umzuschalten und schließlich erst in großer Höhe Raketen- oder Scramjet-Antriebe zu nutzen. Die für die Leermasse sehr ungünstige Mitführung von drei verschiedenen Triebwerken wird bei Kombinationsantrieben umgangen. Zum Abheben werden normale Düsentriebwerke verwendet. Wird der Staudruck durch die Geschwindigkeitszunahme zu hoch für den Betrieb von Verdichtern, verschließen Abdeckungen den Zugang zum Verdichter. Das Triebwerk wird dadurch zu einem Staustrahltriebwerk. Idealerweise fahren die Abdeckungen ab Machzahlen oberhalb von 5 in eine Position, in der das Triebwerk zum Scramjet wird. Etwa bei Mach 8 bis 10 und in 30 km Höhe wird der Reiseflug durchgeführt. Einziger Nachteil: Solch ein Triebwerk gibt es nur auf dem Papier.

Es gehört nicht viel dazu, vorherzusagen, dass die für den Hyperschallflug benötigte Technik, wie seinerzeit beim Düsentriebwerk, ihre Brauchbarkeit erst bei militärischen Anwendungen beweisen muss. Es ist also noch etwas früh, ein Ticket für einen Vier-Stunden-Flug nach Australien zu kaufen, den eine britische Firma ab 2030 realisieren will.



Grafik: Stratofly

Ein gegenwärtiges europäisches Flugzeugprojekt ist Stratofly. 300 Passagiere sollen mit Mach 8 in 30 km Höhe transportiert werden. Die Schlüsseltechnologien sollen bis 2035 erarbeitet werden.



Das deutsche Projekt Sänger II wurde 1995 eingestellt. Die Oberstufe sollte eine bemannte oder unbemannte Raumfähre oder aber ein Frachtbehälter sein.

Vom Hyperschall ins Weltall

Die technische und personelle Verquickung zwischen Hyperschall-Forschung und Raumfahrt ist sehr eng. Die zu lösenden Probleme gleichen sich. Daher ist es wenig verwunderlich, wenn es immer wieder Überlegungen gibt, aus Hyperschall-Flugzeugen Raumtransporter zu entwickeln. Das Fluggerät etwas vergrößern, mehr Treibstoff und dafür weniger Nutzlast an Bord nehmen, und schon ist es oft möglich, Orbitalgeschwindigkeit zu erreichen. Von Flugplätzen starten, in den Weltraum fliegen und dann wieder auf einem Flugplatz landen ist ein alter Traum der Raumfahrtingenieure. Der Traum ist sogar wesentlich älter als die Raumfahrt selbst. Er entstand Ende der 1920er-Jahre in Deutschland. Der in München lebende Tiroler Max Valier propagierte die Idee, Flugzeuge mit Raketenantrieb auszurüsten und immer höher und schneller zu entwickeln, bis daraus schließlich eine Art Raumtransporter geworden wäre.

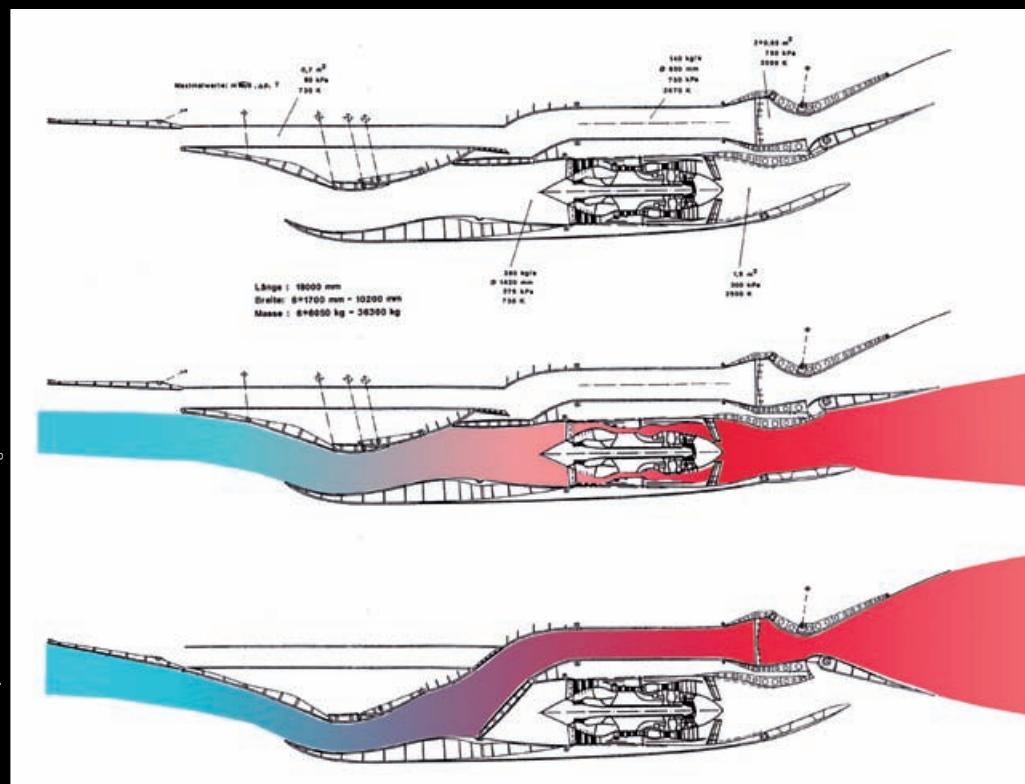
Der Österreicher Eugen Sänger nahm die Idee auf und setzte sie auf eine wissenschaftlich tragfähige Basis. Er schuf ab Anfang der 1930er-Jahre theoretisch den Raumgleiter. Sein Projekt von 1939 eines von einer Schiene startenden Raketenflugzeugs, welches unter günstigen Bedingungen sogar die Erde einmal umfliegen könnte, ist als Silbervogel weltberühmt und als Amerika- oder Weltraumbomber von den Nazis gefördert worden. Seitdem gibt es zwei Strömungen in der Raumfahrt: Einerseits die Raketenlobby, die heute klar die Nase vorn hat. Andererseits geben die Verfechter des flugzeugähnlichen Starts nicht auf. Kleine Erfolge, wie die erfolgreichen 39 Flüge des Satelliten-trägers Northrop Grumman Pegasus mit Flügeln, lassen Hoffnung aufkeimen. Das Hauptargument der Raumgleiterlobby ist die Nutzung des Sauerstoffs der Atmosphäre für die Triebwerke, anstelle diesen Sauerstoff verflüssigt in Tanks mitzuführen. Mit luftatmenden Triebwerken soll sich die Massenbilanz des Fahrzeugs wesentlich verbessern. Hier können nicht alle Argumente für und wider Raumgleiter aufgeführt werden. Viel Geschwindigkeit in der At-

mosphäre zu erzeugen heißt natürlich auch, eine Menge Luftwiderstand überwinden zu müssen, der auch Treibstoff kostet. In diesem Bereich werden sehr viele Annahmen zu Struktur-gewichten, optimalen Flugbahnen und Triebwerkswirksamkeiten gemacht und wieder verworfen – es ist ein Wettkampf der Computersimulationen.

Sänger II, HOTOL, Skylon und Co.

Zwei Projekte, in die viel Geld gesteckt wurde, sollen hier beispielhaft für die Entwicklung von Hyperschall-Flugzeugen und Raumgleitern stehen. Beide Projekte wurden etwa zur selben Zeit gestartet: in den 1980er-Jahren.

In Großbritannien wurde 1984 das Projekt des einstufigen Raumtransporters HOTOL, der von Flughäfen aus starten sollte, veröffentlicht. Als Antrieb schlug der damals 40-jährige Rolls-Royce-Ingenieur Alan Bond einen neuartigen Antrieb vor. Es sollte ein luftatmendes Raketenantrieb sein, damit das HOTOL nur einen kleinen Sauerstofftank benötigen würde. Bond warb damit, HOTOL hätte ein sensationell niedriges Verhältnis von Schub zu Startgewicht von 0,45, während es beim Space Shuttle bei 1,57 liegt. Dies wäre der klare Beweis für die Überlegenheit von flugzeugähnlichen Startverfahren für Raumfahrzeuge. Die Idee für sein Triebwerk skizzierte er der Fama nach 1982



Die Unterstufe von Sänger II sollte über fünf Wandeltriebwerke verfügen. Bis etwa Mach 3,5 sollte das Strahltriebwerk mit Verdichter arbeiten (Mitte). Dann sollten Klappen den Luftfluss verändern und bis Mach 6,8 arbeitete das Triebwerk im Staustrahlmodus (unten).

in



Grafik: Reaction Engines

Hyperschall-Airliner werden entwicklungstechnisch oft als Zwischenstufe vor einen Raumtransporter geschaltet. Hier das Passagierprojekt von Reaction Engines. Das dafür notwendige Triebwerk wurde 1982 konzipiert und bis jetzt gibt es noch keinen Prototyp.

einer Bar auf einer Serviette. Im mittlerweile Sabre genannten Triebwerk soll die zugeführte Luft durch versprühten flüssigen Wasserstoff stark abgekühlt und ebenfalls verflüssigt werden. Das Luft/Wasserstoff-Gemisch würde dann in einen Auffangbehälter strömen und von dort über Pumpen in ein Raketentriebwerk befördert und verbrannt werden. Das Unglaubliche an diesem Verfahren ist, dass Bond glaubt, es könnte gelingen, die mit Überschallgeschwindigkeit einströmende und sich stark erheizende Luft im Bruchteil einer Sekunde um 1000 Grad abzukühlen und zu verflüssigen.

Alan Bond gründete bald eine eigene Firma, Reaction Engines, die nach verschiedenen, wechselnden Kooperationspartnern, auch aus Russland und Deutschland, bis heute existiert und immer noch am Sabre arbeitet. Seit über 20 Jahren wird auf Veranstaltungen angekündigt, in zwei Jahren werde ein Prototyp des Sabre laufen. Dabei hat sich das Design sowohl des Triebwerks, als auch des Raumgleiters mehrfach grundlegend geändert, und der Name von

HOTOL zu Skylon und jetzt Lapcat. Im Jahr 2019 soll die Kühleinheit (der Precooler) auf einem Teststand erfolgreich gelaufen sein. Aber genaue Angaben dazu gibt es nicht. Die Firma bietet das Sabre-Triebwerk derzeit für militärische Hyperschall-Flugkörper, für ein Hyperschall-Verkehrsflugzeug und für einen Raumgleiter an. Egal, ob Skylon je abhebt, mit dem Konzept vom ursprünglichen HOTOL und dem Sabre-Triebwerk hat Alan Bond bewiesen, dass sich für Probleme der Luft- und Raumfahrt neue Lösungen anbieten, wenn man die Sache unkonventionell betrachtet.

Die britische Presse machte sich für das Projekt HOTOL ungewohnt stark. Ein deutscher Insider erklärte dies dem Autor etwa so: Kurz zuvor hatte die europäische Raumfahrtorganisation ESA in der Zukunftsplanung den französischen Raumtransporter Hermes und die dafür notwendige, aber für sonstige europäische Zwecke völlig überdimensionierte, von Frankreich entwickelte Trägerrakete Ariane 5 ins Auge gefasst. Das frustrierte besonders die Engländer. Viele Mitglieder der ESA waren der Meinung, bei den eu-

ropäischen Luft- und Raumfahrtprojekten landet das Wissen immer in Frankreich und die Rechnungen in Deutschland und in England. Man wollte nun sicher gehen, dass die nächste Generation von Raumfahrtträgern keine französische Rakete mit französischer Nutzlast sein würde. Da kam das Projekt HOTOL gerade recht, um den Anspruch Englands auf eine führende Rolle bei der nächsten Raumfahrt-Generation anzumelden. HOTOL stand und fiel mit dem Triebwerkskonzept von Alan Bond. Also erklärte England dieses Konzept sehr schlau schnell zum Staatsgeheimnis, damit niemand genaues darüber erfuhre und es kritisieren konnte.

Nun war es an der deutschen Industrie, frustriert zu sein. Sollte HOTOL wirklich fliegen, wäre Deutschland mindestens für die nächsten vier Jahrzehnte nur der Zahlmeister. Mit Billigung von Forschungsminister Riesenhuber wurde das Projekt eines fortschrittlichen Raumtransporters propagiert. Damit meldete Deutschland eine Führungsrolle für die Zeit nach 2030 an. Dabei war dieses Projekt, genau wie HOTOL, bis dahin nur ein Gedankenspiel.

Im Sommer 1985 stellte Deutschland auf einem europäischen Weltraumforum sein Projekt eines zweistufigen Raumgleitersystems vor. Es wurde „Sänger II“ genannt, nach Eugen Sänger, der 1939 den Silbervogel konzipiert und in den 1960er-Jahren bei Junkers an einem Raumgleiter gearbeitet hatte. Eugen Sänger war 1964 verstorben. Eine großes Hyperschall-Flugzeug sollte auf dem Rücken einen kleinen Raumtransporter in große Höhen befördern, dort ausklinken, damit dieser allein in den Orbit fliegen kann. Die Unterstufe sollte als Weiterentwicklung auch als Hyperschall-Verkehrsflugzeug einsetzbar sein. Sie würde durch ein Wandeltriebwerk angetrieben werden, welches als Düsentriebwerk den Start von einem Flughafen durchführt und dann zum Staustrahltriebwerk wird. Die Abtrennung der mit Raketentriebwerken ausgerüsteten Oberstufe sollte bei etwa



Fotomontage: OHB

1988/89 propagierte die kleine Firma Otto Hydraulik Bremen das Projekt des Hyperschall-Versuchsflugkörpers Diana. Heute ist daraus als OHB eine der renommiertesten Raumfahrtfirmen der Welt geworden.



Auf der ILA 2016 und 2018 präsentierte das DLR sein Projekt des Passagier-Transporters SART, das eigentlich noch aus den 1990er-Jahren stammt. Dieses zweistufige Raketen-Monster soll von Flughäfen aus starten und Reisende nach Australien bringen.

Mach 7 in 30 km Höhe erfolgen. Fünf Tonnen Nutzlast hätten so mit jedem Flug in den Orbit transportiert werden können.

Wie alle ähnlichen Projekte sollte Sänger II die Transportkosten ins Weltall dramatisch senken. Immer sind es dieselben Argumente für Raumgleiter: Wiederverwendbarkeit, Start von normalen Flughäfen ohne eigene Start-Infrastruktur für den Raumgleiter, moderate Wartungskosten, schneller Start-Landung-Start-Zyklus und Einsatz auch als schnelles Verkehrsflugzeug. Wie haltbar solche Planungen oft sind, hat das amerikanische Space Shuttle gezeigt. Bis 1978 ging die Flugplanung der NASA und der U.S. Air Force fest davon aus, dass Wartung und Startvorbereitung sehr einfach gestaltet sind und daher mit dem Space Shuttle pro Jahr 50 Flüge durchgeführt werden würden.

Bei Sänger II zeigte sich die typische Entwicklung von Flugzeug- und Raketenentwürfen. Im Laufe der Konstruktionsarbeiten wächst die Startmasse. Die ersten Schätzungen sind generell zu optimistisch, aber es können dann in den Präsentationen sensationell niedrige Transportkosten vorhergesagt werden. Die Startmasse von Sänger II wuchs von ursprünglich 340 Tonnen innerhalb von fünf Jahren auf 410 Tonnen an. Dabei wurde die Nutzlast von sieben auf fünf Tonnen reduziert. Beim HOTOL stieg die Startmasse für sieben Tonnen Nutzlast binnen sieben Jahren von 196 auf 275 Tonnen.

Da die Erststufe von Sänger II mit Wasserstoff betrieben werden sollte, mussten die Tanks für die nötigen 120 Tonnen relativ groß ausfallen. Dieses Hyperschall-Flugzeug wäre immerhin 82,50 m lang geworden, das ist etwa die Länge der riesigen Antonow An-225. Ein interessantes technisches Detail der Bauweise ist die Verwendung von Wellblech für die Tragfläche, welches dann außen mit Glatblech abgedeckt wird. Diese Bauweise wurde erst-

mals von Junkers im Jahr 1914 angewendet. Als Hitzeschutz sollte für die Unterstufe von Sänger II an den weniger belasteten Flächen bis 500 Grad Titanblech und an den höher belasteten Stellen (bis 900 Grad) eine metallische Mehrschichtstruktur zum Einsatz kommen. Dieses Verfahren war von Eugen Sänger für seinen Raumgleiter-Entwurf in den 1960er-Jahren entwickelt worden. Die hochbelasteten Flügelvorderkanten und die Bugnase sollten, wie beim Space Shuttle aus Karbon bestehen.

Als nach der deutschen Wiedervereinigung die Forschungsgelder auf neue Prioritäten verteilt wurden, wurde Sänger II im Jahr 1995 eingestellt. Gewissermaßen als Nachwehen gab es in den Folgejahren noch einige Projekte für Hyperschall-Forschungsflugzeuge, die alle nicht realisiert wurden. Jetzt ist dieser Bereich nur noch beliebt für Forschungsprojekte an Universitäten. Dies könnte sich jedoch bald ändern.

Neue Hoffnung für Raumgleiter

Neue Materialien und eine andere Fluggestaltung könnten die Schaffung von Raumgleitern in greifbare Nähe rücken. Verbundwerkstoffe und neue Konstruktionsphilosophien ermöglichen den Bau leichter Zellen. Wandlungstriebwerke werden den flugzeugähnlichen Start verwirklichen helfen. Anders als beim Space Shuttle gewählte Wiedereintrittsbahnen mit langsamerer Abbremsung oder mehreren wellenförmigen Eintauchphasen könnten die thermische Belastung der Flugkörper senken und damit das Gesamtgewicht durch leichteren Hitzeschutz reduzieren.

Der Traum von einem Flugzeug, das in den Weltraum fliegen kann, infiziert heute immer mehr Menschen. Es wird vermutlich wie bei allen technischen Durchbrüchen sein: Hat es einen geschafft, werden überall auf der Welt die Arbeiten an Hyperschall-Flugzeugen und Raumgleitern beginnen. ■ UWE W. JACK



Lockheed Martin arbeitet als SR-72 an einem Hyperschall-Aufklärer. Bei diesem Projekt sollen Erfahrungen für große militärische und zivile Flugzeuge geschöpft werden.