Ein Harrier startbereit auf einem britischen Flugzeugträger, am Ende des Decks die Ski-Rampe ... MOD, Wikipedia

Harrier Jump Jet

Ein Senkrechtstarter auf der Roten Liste der bedrohten Arten – Teil 1 von 2

Der Harrier ist der einzige jemals in Dienst gestellte Senkrechtstarter, der ohne Computerunterstützung von Hand geflogen werden konnte. Nun ist er vom Aussterben bedroht. Wir folgen einem großartigen Luftfahrzeug von der ersten Konzeption bis zur letzten Evolution. Erfahren Sie, was das manuelle Fliegen des Harrier so anders macht als das Steuern Ihrer Bonanza. Und lesen Sie, warum es mit diesem Vogel zu Ende geht und wodurch er ersetzt werden wird ...

Erste Begegnung mit einer britischen Ikone

Es war reiner Zufall, dass ich Anfang der 1990er-Jahre erstmals einen Harrier live zu Gesicht bekommen habe. Wie jedes Jahr damals machten wir mit unseren Kindern Urlaub im Süden Englands. Bei einem Ausflug fuhren wir just in dem Moment an der Royal Naval Air Station Yeovilton vorbei, als ein Harrier im kurzen Endanflug reinschwebte. Er flog sehr langsam, kam in vielleicht 20 Metern Höhe zum Stehen, und sank dann zügig senkrecht bis zum Aufsetzen. Das Ganze war mit großem Getöse verbun-

den, mit ohrenbetäubendem Lärm. Dann nahm der Pilot das Gas raus und rollte zügig zum Vorfeld. Bis heute hat mich diese Landung tief beeindruckt und ich habe mich oft gefragt, wie das Ding wohl gesteuert wird. Dazu gab es aber damals noch sehr wenig Informationen. Erst nach dem Ende des Kalten Krieges wurde das Pilot's Manual des Harriers „declassified". Ein schlechtes Zeichen. Bedeutet es doch den Abgesang auf ein ganz besonderes Luftfahrzeug.
Für diesen Artikel habe ich ein paar Bücher über den Harrier neu gelesen und das Pilot's Manual studiert. Ich möchte Ihnen über die Entwicklung und die ersten Testflüge des Senkrechtstarters berichten, die wichtigsten Systeme beschreiben und vor allem erklären, wie er geflogen wurde.
Auch über den ersten Einsatz des Flugzeugtyps im Falklandkrieg möchte ich berichten, über die Entwicklung des Harriers der zweiten Generation in Zusammenarbeit mit den USA sowie über die Hintergründe, warum und durch welches Flugzeug er ersetzt werden wird.

Ein Senkrechtstarter muss her

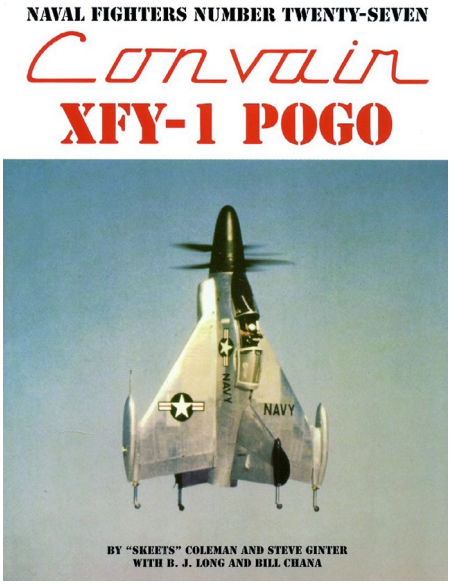
Die 1950er- und 1960er-Jahre waren die hohe Zeit der Versuche, einen Senkrechtstarter zu entwickeln. 16 Firmen aus verschiedenen Nationen versuchten sich an diesem Thema. Mit allen Irrungen, Wirrungen, Flugversuchen, Fehlschlägen und Abstürzen. Es gab die verschiedensten Ansätze, das Problem Senkrechtstarter zu lösen.

„Zero Length Launch" (ZELL): Verschiedene Kampfflugzeuge in den USA und in der UDSSR wurden auf einem Startgestell im steilen Winkel aufgebaut und mit Triebwerk

F-104 „ZELL" Flugerprobung 1966. Start aus dem Stand – für eine Landung auf dem im Kriegsfall zerstörten Flugplatz war irgendwie nichts geplant …
Quelle: www.flugzeuglexikon.com (Seite mit Bericht des ZELL Testpiloten: https://tinyurl.com/yh6h8s38)

auf voller Leistung mithilfe eines gewaltigen Raketenbooster abgeschossen. Auch die Bundesluftwaffe war an einem solchen System für die F-104 interessiert und gab die Entwicklung bei Lockheed als „Zero Length Launch“ (ZELL) in Auftrag.

Ziel war es, in einem Nuklearkrieg (damals galt noch die NATO-Doktrin der „Massiven Vergeltung“) trotz zerstörter Basen noch mit Atomwaffen bestückte Starfighter starten zu können. Mit ZELL wäre das möglich gewesen, allerdings war nicht nur das Startgestell schwer zu handhaben. Es wäre auch sicher nicht so einfach, einen atomar bestückten Starfighter z.B. irgendwo in einer Scheune für den Ernstfall zu verstecken – mal abgesehen von der Unmöglichkeit einer sicheren Landung des Piloten nach dem Einsatz. Das System wurde nie eingeführt.



Convair XFY-1 Pogo Testflugzeug. Zum Glück ab ins Museum, bevor es kaputtging. Zu sehen im National Air and Space Museum in Washington, D.C. Sammlung des Autors

„Tail-Sitter“ Senkrechtstarter: Da gab es die abenteuerlichsten Konstruktionen, die in den USA erprobt worden sind. Das waren Flugzeuge, die zu Start und Landung auf ihrem Schwanz saßen – „tail-sitter“ eben. Ob diese Flugzeuge wirklich die Luftfahrt voranbringen sollten oder nur zum Quälen der Testpiloten entwickelt wurden, lässt sich heute nicht mehr feststellen. Jedenfalls konnte jeder einzelne Flug damit zum Alptraum des Piloten werden. Wie ich schon mal schrieb: „Was gefährlich aussieht, ist auch gefährlich.“ Und so wurden auch diese Versuche eingestellt.

Schwebegestelle: Schwebegestelle wurden in den USA, England, der UDSSR und Deutschland getestet. Sie dienten der Erprobung der Lagesteuerung von Senkrechtstartern und auch der Erprobung ganzer Flugzeugsysteme.

Die Briten verwendeten zwei Schwebegestelle für die Senkrechtstarter-Entwicklung mit der Bezeichnung „Rolls-Royce Thrust Measuring Rig“ (TMR, 1953). In der Presse wurde das Gerät wegen seines Aussehens „Fliegendes Bettgestell“ („Flying Bedstead“) genannt. Das TMR flog 31-mal bis in Höhen von 45 Metern. Die Versuche führten zur Entwicklung des ersten Triebwerks, das für den Einsatz in Senkrechtstartern konzipiert war, das Rolls-Royce RB.108. Dieses wurde später im Versuchsflugzeug Short SC.1 verwendet.

In Deutschland wurde u.a. das Schwebegestell SG 1262 ausgiebig getestet. Das SG 1262 war ein Erprobungsträger für die Steuerung des „VAK“ (Vertikalstartendes Aufklärungs- und Kampfflugzeug), das Anfang der

1960er-Jahre in Deutschland in Zusammenarbeit mit Großbritannien und Italien entwickelt wurde, aber nie zustande kam.

Senkrechtstarter mit separaten Hubtriebwerken: Auch da gab es verschiedene Studien und Prototypen, sowohl in den USA, in Großbritannien und auch in Deutschland.

Lockheed entwarf 1960 eine VTOL Version des F-104 Starfighters, das Projekt „Model CL-521“. Diese F-104 sollte in zwei Wingtip-Pods insgesamt 16 Lift-Engines haben und im Reiseflug immer noch Mach 2.0 erreichen. Bei oberflächlicher Anwendung der Grundrechenarten ließ sich sicher schon 1960 leicht errechnen, wie viel Nutzlast und Treibstoff an Bord noch übrigblieb, wenn zusätzlich zum Haupttriebwerk noch die 16 Hubtriebwerke dazu kamen – und das System zur Lagekontrolle im Schwebeflug. Außerdem: Ein Alptraum für einen Piloten, vor dem Flug insgesamt 17 Strahltriebwerke anzulassen. Das Flugzeug wurde nie gebaut. Lockheed hat keinen Interessenten für sein Projekt gefunden.

Short SC.1: Der erste „fixed wing“ Senkrechtstarter, der in Großbritannien flog, hatte fünf Rolls-Royce RB.108 Triebwerke. Eines für Vorwärtsschub und vier als Hubtriebwerke. Die Short SC.1 war auch der erste Senkrechtstarter, mit dem die Transition zwischen Schwebe- und Horizontalflug und zurück gelang. Das Flugzeug wurde ab 1957 getestet. Die SC.1 das erste VTOL-Flugzeug mit einer Fly-by-Wire Steuerung. Letzteres wurde jedoch 1963 dem Testpiloten J.R. Green in Belfast zum Verhängnis. Nach Ausfall eines, und dann in rascher Folge aller drei Gyros in der Fly-by-Wire-Steuerung verlor er trotz sofortigem Umschalten auf die manuelle Steuerung die Kontrolle und sein Leben. Das verunglückte Flugzeug wurde wiederaufgebaut und mit einem modifizierten Fly-by-Wire-System bis 1967 weiter getestet. Das SC.1 Programm war trotz des Unfalls von 1963 ein Erfolg und half am Ende der Entwicklung des Harriers.

Dornier Do-31: Mit den Vorarbeiten zur Do-31 wurde bereits 1959 begonnen, zwei Prototypen begannen 1967 die Flugerprobung. Die Do-31 hatte acht Rolls-Royce RB.162-4D Hubtriebwerke in abnehmbaren Wingtip-Pods (die ersten Testflüge starten konventionell ohne diese Pods). Dazu kamen die beiden Bristol Siddeley Pegasus 5-2[1] Triebwerke unter den Flügeln. Leider wurde das Do-31 Projekt viel zu früh eingestellt. 1969 lief der Vertrag mit Dornier aus, 1970

1) Die Pegasus 5-2 Engines wurden zuerst in die Hawker P.1127 / Kestrel eingebaut, Testflugzeuge zur Entwicklung des Harrier.

Short SC.1 Senkrechtstarter auf der Farnborough Air Show **Wikipedia**

flog das Flugzeug ein letztes Mal auf der Luftfahrtschau in Hannover.

Am Anfang standen eine Innovation und ein fliegendes Pferd

In den 1950er- und den 1960er-Jahren führten nahezu alle Tests und Entwicklungen zum Senkrechtstart in eine Sackgasse: Mangels Ideen und mangels starker Strahltriebwerke lief alles darauf hinaus, für den Senkrechtstart und die Senkrechtlandung vom eigentlichen Antrieb unabhängige Hubtriebwerke zu verwenden. Das machte ein zukünftiges Kampfflugzeug – und nur darum ging es bei allen Versuchen – viel zu schwer. Jede Menge Triebwerke, 16 Stück z.B. beim Lockheed Entwurf Model CL-521, wurden für nur wenige Minuten des Fluges benötigt, mussten dann aber während des gesamten Einsatzes als toter Ballast mitgeschleppt werden. Das verringerte die Reichweite und/oder die Nutzlast der projektierten Flugzeuge.

Da kam jemand auf eine geniale Idee. Das war Michel Wibault (1897–1963), ein französischer Flugzeugdesigner, der in den 1930er-Jahren den Metallflugzeugbau in Frankreich vorangebracht hatte. Im Zweiten Weltkrieg ging Wilbault nach England, später in die USA. Überall wo er hinkam, mischte er im Flugzeugbau mit. Früh interessierte sich Wibault für VTOL-Themen und hatte die letztlich geniale Idee des „vectored thrust“, also der Schubumlenkung eines Triebwerks für vertikalen Auftrieb. Ab 1954 arbeitete er an einem Projekt für einen Ground-Attack „Gyropter“, für das er das damals stärkste Turboprop-Triebwerk in Entwicklung, den Bristol Orion Aero Engine, verwenden wollte. Vier schwenkbare Rotoren sollten über Wellen von dem Triebwerk angetrieben werden. Das wurde sein Patent. Aber niemand interessierte sich in Frankreich dafür. Also reichte Wibault sein Konzept bei der NATO ein. Er wurde an Stanley Hooker verwiesen, damals Technischer Direktor bei Bristol Engines. Es dauerte nicht lange und Wibault arbeitete bei Bristol mit Hookers Assistent Gordon Lewis (1924–2010) daran, das Design zu vereinfachen und leichter zu machen. Lewis kam auf die Idee, statt schwenkbarer Rotoren schwenkbare „Nozzles“ für den kalten und für den heißen Luftstrom zu verwenden. So musste nur der Gasstrom umgelenkt werden, nicht aber die Fans selbst. Im Triebwerk sollte dazu ein Axialkompressor verwendet werden. Gemeinsam erlangten Wibault und Lewis 1956 ein neues Patent für dieses Design. Am 2. September 1959 lief der erste Prototyp des Triebwerks BE53/2 mit allen Eigenschaften dieses Patents.

Das neue Triebwerk erhielt den Namen „Pegasus“. In der griechischen Mythologie war Pegasus – das Kind des Meeresgottes Poseidon und der Medusa – ein geflügeltes Pferd. Eine gute Namenswahl: Wie die Flügel des Pegasus konnte der neue Motor ein eigentlich flugunfähiges Wesen, wie es ein bewegungsloses Flugzeug war, in die Lüfte erheben. Die Bristol Siddeley Pegasus-Triebwerke (später Rolls-Royce Pegasus) wurden ein großer Erfolg für ihre Hersteller. Sie wurde in alle Prototypen und Serienmaschinen des Harriers eingebaut. Außerdem wurden sie für einige nicht realisierte Projekte vorgesehen und in der Do-31 verwendet. Bei den US-Marines fliegen die Pegasus-Triebwerke noch heute im Sea Harrier II. Insgesamt wurden etwa 1.200 Exemplare gebaut.

Triebwerkshersteller trifft Flugzeugbauer ...

Dass der Harrier überhaupt gebaut werden konnte, ist nur der engen Zusammenarbeit des Triebwerkshersteller Bristol Engines mit dem Flugzeughersteller Hawker Aircraft zu verdanken. Der bereits erwähnte Stanley Hooker – Technischer Direktor bei Bristol Engines – informierte 1957 den Hawker-Ingenieur Sydney Camm[2], bei Bristol habe man ein ganz heißes Eisen im Feuer: Ein Triebwerk mit beweglichen Nozzles, mit dem man den Schub umlenken könne.

1957 war man bei Hawker mit einem Nachfolger für den Hawker Hunter Jet beschäftigt. Das Projekt fiel aber einer britischen Policy Änderung zum Opfer, dem 1957 Defence White Paper. Was also tun? Man entschied sich bei Hawker dafür, unabhängig von den Erfordernissen der RAF ein neues Flugzeug nach NATO-Spezifikationen zu entwickeln, das das Erdkampfflugzeug Fiat G.91 ersetzen sollte. Und dafür wollte man sich erstmals an ein V/STOL[3]-Projekt wagen mit dem neuen Bristol Pegasus-Triebwerk als Antrieb.

Testflugzeug Hawker P.1127

Die Entwicklung des neuen Flugzeugs begann 1957 mit dem Entwurf eines Prototyps, dem Hawker P.1127. Sehr viele Leute bei Hawker waren mit dem Projekt beschäftigt. Damals gab es noch keine digitalen Computer und alles musste von Hand berechnet und durchkonstruiert werden. Für den Entwurf wurden viele Modelle gefertigt, auch von Konstruktionsdetails. Jedes einzelne Bauteil entstand anschließend zuerst auf den Zeichentischen in den Konstruktionsbüros. Anfang 1958 wurde das Layout noch einmal geändert. Bis dahin war mit einer zentralen, beweglichen Nozzle für die heißen Abgase geplant worden, dann wechselte man zu den zwei getrennten, schwenkbaren Nozzles für die Hot Section, wie sie heute im Harrier verbaut ist. Allein um herauszufinden, wie sich der kalte und der heiße Abgasstrahl im Bodeneffekt auswirken würde, wurden unzählige praktische Tests durchgeführt.

Dazu kam das Problem der Steuerung im Schwebeflug ohne jede Strömung um die konventionellen Steuerflächen. Es wurde ein „Control Response Simulator“ gebaut, verbunden mit einem analogen Computer. Damit wurde die wahrscheinliche Reaktion des Flugzeugs auf Steuersignale des Lagekontrollsystems getestet. Während das Layout der P.1127 Ende 1958 nahezu fertig war, dauerte es noch bis April 1959, bis auch das Lagekontrollsystem fertig entwickelt war.

Dass am Ende der Harrier auch komplett ohne Computer-Unterstützung von Hand geflogen werden konnte, lag an Sydney Camm. Dieser hatte die Parole rausgegeben „keep it simple“. Er meinte dazu:

> *„Sophistication means complication, then in turn escalation, cancellation, and finally ruination.“*

Die Hawker P.1127 wurde quasi maßgeschneidert um das Pegasus-Triebwerk

2) Sydney Camm (1893-1966) war ein britischer Ingenieur, der während seiner Zeit bei Hawker für den Entwurf von 54 verschiedenen Flugzeugtypen verantwortlich. Zu seinen Entwürfen gehörte auch das im Zweiten Weltkrieg erfolgreiche Jagdflugzeug Hawker Hurricane. Es gab eine Zeit in den 1930ern, in der 84% aller Flugzeuge der Royal Air Force von Sydney Camm entworfen worden waren.

3) V/STOL – Vertical- / Short Takeoff or Landing

herum entworfen. Entwickelten die ersten beiden Pegasus 1 Prototypen auf dem Teststand noch 9.000 Pfund Schub (4,1 Tonnen), so lieferte die Version Pegasus 2, die in den ersten Prototypen P.1127 eingebaut wurde, bereits 11.500 Pfund Schub (5,2 Tonnen).
Bis Anfang 1959 hatte Hawker die Entwicklungsarbeiten vollständig aus eigenen Mitteln bezahlt. Da mit britischen staatlichen Mitteln erst mal nicht zu rechnen war, hatte sich Hawker in den USA nach Unterstützung umgesehen und die auch von der NASA bekommen. Im Windkanal des NASA Langley Research Center konnte in einer Serie von Modell-Versuchen bestätigt werden, dass die P.1127 akzeptable Flugeigenschaften haben würde. Und in Vorbereitung auf das Hawker Flight Test Programm durfte ein Hawker-Testpilot in den USA die Bell X-14 fliegen, ein amerikanische VSTOL-Testflugzeug. Hawker Aircraft war so von seinem neuen Entwurf überzeugt, dass die Unternehmensführung im März 1959 beschloss, zwei Prototypen der P.1127 aus eigenen Mitteln zu finanzieren. Endlich, im April 1959, gelang es Hawker doch noch, einen Vertrag mit dem Ministry of Supply zum Bau dieser beiden Flugzeuge zu unterzeichnen. Es gab noch ein wenig verzögerndes Hick-Hack darum, dass das Flugzeug „subsonic“, also als Unterschallflugzeug, konzipiert war, aber dann – im Juli 1959 – ordnete Hawker „maximum effort“ zum Bau der Maschinen an.
Der Bau der beiden Prototypen wurde in einer heute unvorstellbaren Rekordzeit erledigt. Bereits im Herbst 1960 machten sich die ersten Testpiloten mit dem ersten Prototyp im gefesselten Modus mit den Steuereigenschaften im Schwebeflug vertraut. Vor dem ersten freien Flug soll der Hawker-Chef bei Sydney Camm nachgefragt haben: „Du wirst doch zuerst einen konventionellen Testflug machen lassen, oder?“ Camm meinte nur: „Nothing wrong with a Hawker aeroplane [...] Vertical first time.“ Und tatsächlich, am 19. November 1960 machte die P.1127 ihren ersten freien Flug: Im Schwebemodus!

Die RAF hatte inzwischen großes Interesse und bestellte im selben Monat vier weitere Prototypen, um aus dem Experimentalflugzeug eine Serienmaschine zu entwickeln. Daher sah jede weitere Maschine etwas anders aus. Der fünfte Prototyp der P.1127 hatte bereits das endgültige Leitwerk, wie es später im Harrier verbaut war. Der sechste Prototyp bekam die typischen pfeilförmigen Tragflächen, wie sie auch der Harrier bekam. In diese Maschine wurde das bis dahin stärkste Pegasus 5 Triebwerk eingebaut mit 15.000 Pfund Schub (6,8 Tonnen). Das Flugzeug diente als Prototyp für die nächste Entwicklungsstufe, die Kestrel.

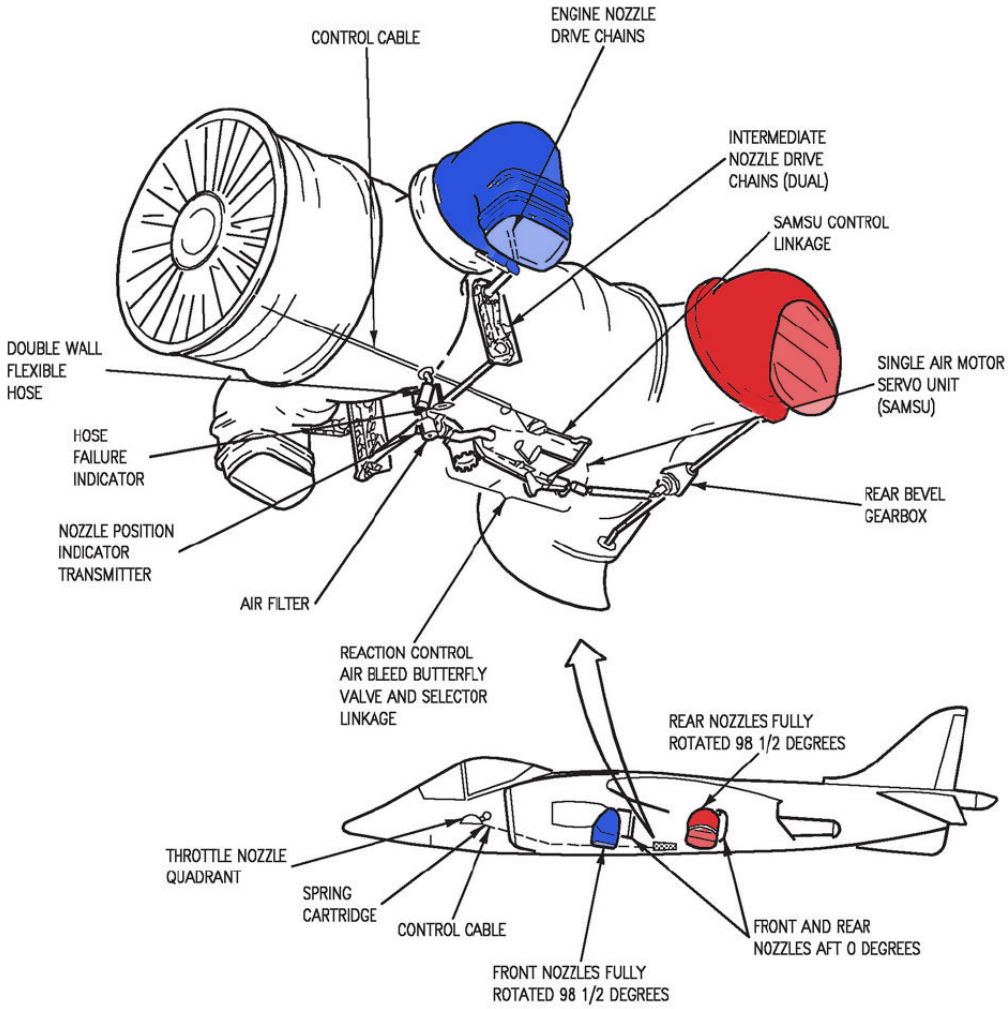
Testfliegerei war schon immer mit Risiken verbunden. Die ersten drei P.1127 Testflugzeuge verunglückten, zum Glück ohne Todesopfer. Zwei Maschinen hatte Unfälle im Testprogramm, eine stürzte vor Publikum bei der Paris Air Show aus etwa 5 Metern Höhe ab: Ein Fremdkörper hatte den Nozzle-Antrieb blockiert.

Testflugzeug Hawker Siddeley Kestrel FGA.1

Die Militärs, die an dem neuen Senkrechtstarter interessiert waren, wollten das Teil selber testen. Daher wurden von den Briten auch andere Nationen eingeladen, sich an dem Programm und natürlich an den Kosten

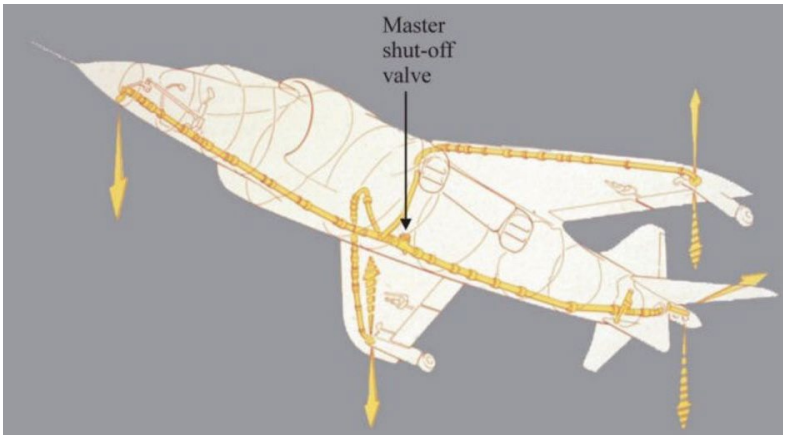
zu beteiligen. Im Mai 1962 erhielt Hawker[4] den Auftrag zum Bau von neun „production-standard“ Senkrechtstartern, die von den Briten, der USA und Deutschland finanziert wurden. Die Flugzeuge wurden als verbesserte Versionen der P.1127 gebaut und erhielten den Namen Hawker Siddeley Kestrel FGA.1. Militärische Testpiloten aus England, den USA und aus Deutschland überprüften das Flugzeug auf militärische Eignung und entwickelten verschiedene Methoden für Starts und Landungen. Dabei stellten sich der Short Take-off und die Vertical Landing (STOVL) als guter Standard heraus. So wird bis heute der Harrier geflogen. Die Testeinheit, die in England stationiert war, entwickelte auch die Normal Procedures für das Flugzeug. Eine Maschine ging bei den Tests verloren, als ein Pilot einen Short Take-off

4) Aus „Hawker Aircraft“ wurde 1963 im Rahmen einer Neuorganisation der Luftfahrt in UK „Hawker Siddeley“



Harrier II Engine-Nozzle-Antrieb über einen Bleed-Air-Motor. Rot: Hot Exhaust Nozzle, Blau: „Cold“ Bleed Air Nozzle. Flight Manual, Farbe durch den Autor

mit gesetzter Parkbremse einleitete.
Nach Abschluss der Tests 1964 wurden einige der Maschinen für weitere Versuche in die USA verschifft, zwei davon gingen an die NASA. Darunter waren auch die Flugzeuge, die eigentlich für Deutschland vorgesehen waren. Deutschland hat ja bekanntlich den Harrier nicht eingeführt.



Harrier Reaction Control System **aus [6]**

Aus der P.1127 (RAF) wird der Harrier GR.1

Hatte die RAF noch gehofft, bei Hawker eine Überschall VTOL Version bauen zu lassen, so wurde dieses Programm gestrichen. Daher war nun die RAF an einer Version der P.1127 als Unterschall-Erdkampfflugzeug interessiert. Ende 1965 wurden sechs Vorserien-Maschinen unter der Bezeichnung P.1127 (RAF) bestellt. Der Erstflug war im August 1966. Anfang 1967 erhielt Hawker eine Bestellung über 60 Maschinen. Die Bezeichnung wurde auf Harrier GR.1 geändert. Der „Harrier“ war flügge geworden.

Wie der Harrier geflogen wurde

Bevor wir es uns im Harrier-Cockpit bequem machen, mal ein Blick zurück in die 1960er-Jahre. Die Prototypen waren kaum in der Luft, da dauerte es nicht lange, bis die ersten Amerikaner auftauchten, die das Teil fliegen wollten. Nun war das gar nicht so einfach: Es gab noch keinen Simulator für das Flugzeug. Und alle Prototypen waren einsitzig. Es gab zwar sog. Autostabilizer für die Roll- und Yaw-Achse, aber die waren unzuverlässig und meistens deaktiviert. Jeder Flug eines neuen Piloten mit diesem Flugzeug war also ein völlig manuell gesteuerter erster Alleinflug – ohne vorheriges Flugtraining.

Daher wurde ein umfangreiches Einweisungsprogramm für neue Piloten entworfen, in dem diesen die Basics des Flugbetriebs mit den Prototypen beigebracht wurden. Der Testpilot John Farley hat diese Einweisung in seinem Buch „A View from the Hover“ sehr gut beschrieben. Ich möchte diesen Schritten folgen, denn so kann man sehr gut sehen, was das Besondere am manuellen Harrier-Fliegen ist.

Zuerst ein paar Informationen zu den Systemen im Harrier, die nicht in Ihrer Cessna oder Piper eingebaut sind. Zum einen sind dies die beweglichen Nozzles, die den Abgas- und den Mantelstrom des Triebwerks nach unten umlenken können, und zum anderen das Lagekontrollsystem, mit dem die Flug-

lage im Schwebeflug gesteuert werden kann. Beide Systeme werden mit Bleed Air aus dem Pegasus-Triebwerk versorgt.
Alle vier Nozzles werden gemeinsam von einen Bleed-Air-Motor über starre Wellen bewegt. Dadurch werden immer alle Nozzles gleichzeitig bewegt (es sei denn, eine Welle bricht). Der Bleed-Air-Motor wird über Steuerseile vom Nozzle-Lever neben dem Throttle angesteuert. Die Nozzles benötigen für den Betrieb also weder Strom noch Hydraulik.

Die Lageregelung erfolgt im Schwebeflug über sog. Puffer-Valves, das sind Bleed-Air-Düsen, die bei Steuerknüppel in Neutralposition geschlossen sind. Die Puffer-Valves sind mechanisch mit den Steuerflächen verbunden. Als Pilot braucht man sich darüber keine Gedanken zu machen, denn es gibt für sie keine separate Bedienmöglichkeit. Sie werden bei Steuerknüppel-Ausschlägen mechanisch im Konzert mit den aerodynamischen Steuerflächen geöffnet oder geschlossen.

Das Master Shut-Off Valve bleibt im normalen Flug geschlossen. Erst wenn die Nozzles aus der full-forward Position (Nozzle Lever ganz nach vorne, Nozzles zeigen nach hinten) herausbewegt werden, wird das Ventil progressiv geöffnet. Bei einer Nozzle-Position von 36° hat das Ventil seine voll geöffnete Position erreicht. Das Reaction-Control-System arbeitet dann vollständig mit den Steuerflächen mit. Der Harrier hat keine Höhenflosse mit separatem Höhenruder, sondern eine durchgehende Ruderfläche, die „Stabilator“ genannt wird. Am Boden sollte der auf 4° Nose Down getrimmt oder mit dem Stick gehalten werden. Dann ist nämlich das vordere Puffer-Valve separat geschlossen. Ansonsten wirbelt die Steuerdüse Dreck auf, der beim Rollen in die Triebwerkseinlässe fliegen könnte.

Der Harrier hat zwei Hydrauliksysteme, angetrieben durch zwei Pumpen am Triebwerk. Die Hydraulik versorgt alle Steuerflächen, die Landeklappen und das Fahrwerk. Fällt die komplette Hydraulik aus, lässt sich der Steuerknüppel nicht mehr bewegen. Und damit steht auch die Lageregelung nicht mehr zur Verfügung. Anhand dieses Fehlers mal ein Blick in die Harrier Emergency Procedures, die oft extrem kurz sind:
Hydraulics Warnlicht / später auch akustische Warnung:

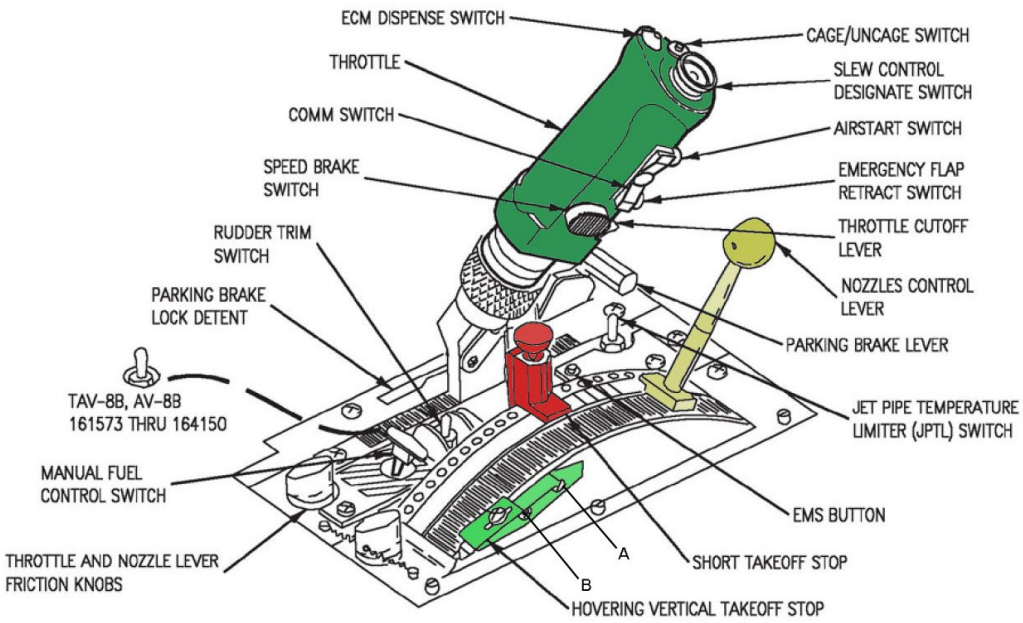
„HYDRAULICS! HYDRAULICS!“
(beide Hydraulik-Systeme sind ausgefallen)
INFLIGHT

1. Slow to 250-300 knots.
2. Hydraulic systems pressures — CHECK.

If both hydraulic systems failing:

3. EJECT.

Die Harrier-Emergency-Checklisten sind voll mit diesen „EJECT“ Anweisungen. Sollte man berücksichtigen, bevor man sich in das Ding reinsetzt ...
Nun wollen wir natürlich mal davon ausgehen, dass alles gut geht, und nehmen im Cockpit Platz. Die einzigen Hebel und Instrumente, die anders sind als in einem normalen Flugzeug, sind die Hebel für die Nozzle-Kontrolle neben dem Schubhebel, die Anzeige für die Nozzle-Position sowie die Druckanzeige für das Lageregelsystem. Werfen wir mal einen Blick auf den Gashebel und den Nozzle Lever:



Hier sieht man den wesentlich ergonomischeren Throttle späterer Harrier-Versionen (dunkelgrün). Rot: Short Takeoff Stop, Gelbgrün: Nozzle Control Lever, Hellgrün: Hover Stop. Flight Manual, Farbe durch den Autor

Der hier abgebildeten Short Takeoff Stop (rot) wird für einen Senkrechtstart oder eine Senkrechtlandung nicht benötigt. Daher muss er erst mal ganz nach hinten an den Anschlag gesetzt werden. So wird die Bewegung des Nozzle Levers durch diesen Stop nicht begrenzt. Aber bevor man die Nozzles bewegen kann, muss man erst mal das Triebwerk anlassen. Der Harrier kann abseits von Flugplätzen, auf Parkplätzen, Straßen, oder sogar von unbefestigten Waldlichtungen aus operiert werden. Da gibt es natürlich keinen Bodenstrom und keinen Airstarter. Macht nichts. Der Harrier hat eine kleine APU direkt an die Pegasus Engine angeflanscht, die ist gut für die Stromversorgung am Boden und kann das Triebwerk anlassen. Also: APU an, Triebwerk an.[5]

Jetzt ist Bleed Air da und man kann mit dem Nozzle Lever die Nozzles bewegen. Vor dem Anlassen wird der Hebel auf 10° Down gestellt, damit die Abgase nicht unnötig das Leitwerk durchschütteln. Sowie das Flugzeug losgerollt ist, kann man die Rollgeschwindigkeit mit den Nozzles reduzieren. Es ist empfohlen, die Rollgeschwindigkeit mit 45° bis 60° Nozzles Down zu kontrollieren.

Vertical Takeoff and Landing

Okay, jetzt stehen wir auf der Bahn, die Nase genau gegen den Wind, und sind fertig für den ersten Vertical Takeoff. Erst mal tief Luft holen und überlegen, was man danach macht. Ganz einfach: eine Vertical Landing.

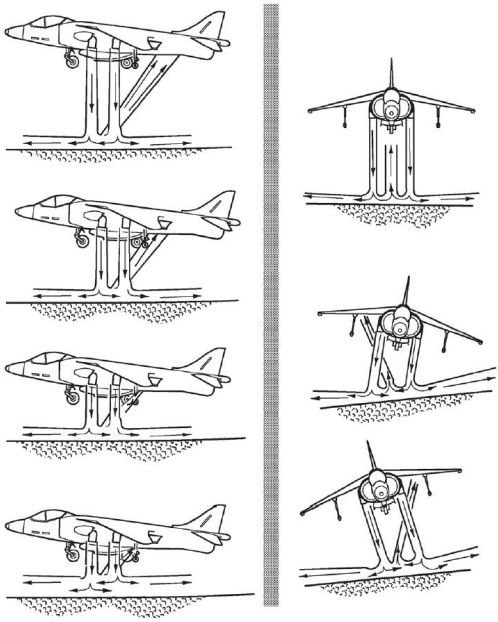
5) Gehen wir mal davon aus, dass der Outside-Check fertig ist. Er alleine füllt sieben eng bedruckte Seiten im Handbuch. Bloß nicht vor dem Einsteigen diesen Punkt vergessen: „Before Entering Cockpit: Canopy - OPEN.“

Bloß nicht zu kompliziert am Anfang. Mit allen Takeoff Checks komplett geht es los:

- Nozzle Lever ganz nach hinten ziehen in den Hover Stop[6]
- Nozzle Anzeige: 90°
- Hand an den Throttle:
- Throttle FULL
- Brakes — HOLD until airborne.
- CHECK TOP END RPM
- During liftoff – ensure wings remain level. Hold heading and adjust attitude to prevent fore/aft drift.
- When clear of ground effect (20 to 25 feet), gradually reduce power to establish a hover.

Sowie der Harrier abhebt, müssen die Augen draußen sein. Das Flugzeug muss superaktiv mit dem Stick und den Seitenruderpedalen gesteuert werden. Denn im Bodeneffekt ist der Harrier sowohl um die Hochachse, als auch um die Längsachse instabil! So würde normalerweise kein Flugzeug zugelassen werden. Lediglich wegen seiner VTOL-Eigenschaften haben die Militärs damals diese gefährlichen Eigenschaften akzeptiert.

Weil Seitenleitwerk und Seitenruder noch nicht angeströmt sind, sind sie für die Seitenstabilität wirkungslos. Dafür aber bewirkt eine seitliche Anströmung der riesigen Seitenflächen der Lufteinlässe vor dem Schwerpunkt – zusammen mit der hohen Geschwindigkeit der angesaugten Luft – beim kleinsten Schiebewinkel eine Seitenkraft, die das Flugzeug weiter aus dem Wind drehen will. Das ist der „Intake Momentum Drag“. Leuten, die Spornraderfahrung haben, und auch Segelfliegern wird es leichter fallen, sofort und ständig mit den Ruderpedalen zu arbeiten, um das kleine Windfähnchen draußen vor dem Cockpit in der Mitte zu halten. Auch die Hand am Steuerknüppel ist ständig aktiv. Es gilt um jeden Preis, die Flügel geradezuhalten, manchmal sind dazu große Ausschläge nötig. Wie gesagt ist das Flugzeug um die Rollachse instabil: Die kleinste Querlage lenkt den vom Boden reflektierten Abgasstrahl unter die hochkommende Fläche und vergrößert so automatisch die Querlage.



Harrier Pitch- und Roll-Instabilitäten im Bodeneffekt. Auch geneigte Start- und Landeflächen führen zu instabilem Rollverhalten. (Harrier Flight Manual)

Mit der Pitch ist es nicht viel besser: Im vertikalen Steigflug trifft der reflektierte Abgasstahl mit zunehmender Höhe den hinteren

6) Der Hover Stop ist die erste Raste, gegen den der Nozzle Lever stößt, wenn man ihn frei nach hinten ziehen kann (Position „A“ im bunten Bild). Die Nozzles zeigen dann 90° nach unten. Hebt man den Lever dann an, kann man ihn noch weiter nach hinten ziehen in den „Braking Stop“ (Position „B“ im Bild). Die Nozzles fahren dann über die 90° Down Position bis auf 98,5° - also 8,5° nach vorne. Diese Position kann zum Bremsen im Anflug verwendet werden.

Teil des Flugzeugs. Ein zunehmender Nose-up Stick-input ist nötig. Also beim Abheben:

- Aggressiv mit dem Seitenruder die Windfahne in der Mitte halten.
- Aggressiv mit dem Stick die Fluglage beibehalten: Wings Level und mit vorsichtigen Korrekturen nach vorne und zurück ein Wegdriften des Flugzeugs verhindern.

Sowie der Harrier aus dem Bodeneffekt raus ist, kann man den Throttle etwas zurückziehen (ca. 2–3 cm). Dann müsste der Harrier im Schwebeflug über der Runway stehenbleiben. Immer dran denken: Im Schwebeflug regelt der Throttle die Flughöhe und die Steig- und Sinkraten. Bloß nicht nachher kurz vor dem Aufsetzen zum Abfangen die Nase mit dem Stick hochnehmen! Dann fliegt das Ding rückwärts mit Erhöhung der Sinkrate!

Okay, Sie atmen und kriegen wieder Luft und es gelingt Ihnen, das Flugzeug in vielleicht 50 Fuß über dem Bodeneffekt stabil schweben zu lassen. Dann ist es Zeit für Ihre erste Vertical Landing:

- Etwas den Throttle zurückziehen.
- Es stellt sich eine Sinkrate ein.
- Sinkrate nur mit dem Throttle kontrollieren.
- Wieder aggressiv mit dem Stick die Fluglage stabil halten, die Instabilitäten werden wieder stärker.
- Um jeden Preis mit den Ruderpedalen die Nase exakt im Wind halten.

Sofort nach Aufsetzen Throttle auf Idle, Nozzle Lever wieder nach vorne auf 10° Down. Nimmt man nicht sofort die Power raus, springt das durch den vertikalen Schub leichte Flugzeug aus den eingedrückten Federbeinen heraus zurück in die Luft. Flugzeug bremsen, falls es irgendwo hin rollen will.

Geschafft. Sie sind wieder heil am Boden. Jetzt bloß nicht zu früh feiern. Denn nun müssen Sie sofort losrollen und die Landefläche verlassen. Wieso? Sie können das zu Hause mal ausprobieren: Halten Sie den Föhn mal ein paar Minuten ganz nah auf die Bodenfliesen im Bad ... und dann stellen Sie sich barfuß auf genau diese Stelle. Dann wissen Sie, wie sich die Harrier-Fahrwerksreifen nach einer Senkrechtlandung fühlen. Wir müssen also mal über die Abgase sprechen, auf denen der Harrier fliegt. Im Flight Manual wird ausführlich auf die damit verbundenen Probleme hingewiesen. Hier mal eine kleine Tabelle mit den Abgasgeschwindigkeiten und -temperaturen der Gase aus den einzelnen Schubdüsen:

Abgas-	Geschwindigkeit	Temperatur	Druck
Forward Cold Nozzles	700 Knoten	105° C	16 psi
Aft Hot Nozzles	1.050 Knoten	645° C	11 psi
Reaction Control Nozzles	1.500 Knoten	400° C	150 psi

Das Pegasus-Triebwerk liefert im tiefen Schwebeflug eine Leistung von annähernd 30.000 PS ab. Von den oben genannten Abgasgeschwindigkeiten kommen dabei die Abgase mit 300 bis 400 Knoten und 4 psi am Boden an. Der Boden unter dem Flugzeug wird dadurch so stark aufgeheizt, dass die Fahrwerksreifen schmelzen, wenn man nach dem Aufsetzen nicht zügig die Landefläche verlässt.
Bei der Flugerprobung hat sich herausgestellt, das Senkrecht-Starts und -Landungen auf unbefestigten Flächen extrem gefährlich

sein können. Schwebt der Harrier z.B. über einer festen Grasfläche, wird diese in Sekunden ausgetrocknet, zerbröselt und weggeblasen. Es entsteht ein Krater, und die Trümmer fliegen mit 150 km/h und mehr in alle Richtungen. Dasselbe passiert über anderen unbefestigten Flächen. Außer den Risiken für Bodenpersonal und -geräte können die Trümmer auch angesaugt werden (FOD – Foreign Object Damage):

„V/STOL aircraft are particularly adept at creating their own FOD and then ingesting it. FOD can cover a wide range of effects ranging from covering aircraft with dirt and dust to severe damage to the airframe and engine possibly resulting in failure and catastrophic destruction to the aircraft aswell as possible death or injury to the pilot.“[7]

In Konsequenz sind Vertical Takeoffs (VTO) und Vertical Landings (VL) über naturbelassenen Flächen nicht zulässig:

„For this reason VTOs or VLs should never be attempted over unprepared natural ground, no matter how firm and stable the surface appears. True vertical take--offs and landings always require a prepared surface (mat or concrete pavement).“

Die Pegasus Engine ist sehr tolerant, was FOD angeht. So wurde das Treibwerk so zugelassen, dass es einen 1 Pfund schweren eingesaugten Vogel bei 600 Knoten und hoher Power (97% Nf[8]) überstehen kann. Dennoch ist es nicht unkaputtbar. Viele Harrier-Verfahren beschäftigen sich daher mit dem FOD-Thema. Eines davon ist z.B. vor einer Vertical Landing kurz über der Landefläche schweben zu bleiben, um FODs wegzublasen. Ein Vertical Takoff wird über einer Fläche bevorzugt, die eben von einem landenden Harrier freigeblasen wurde.

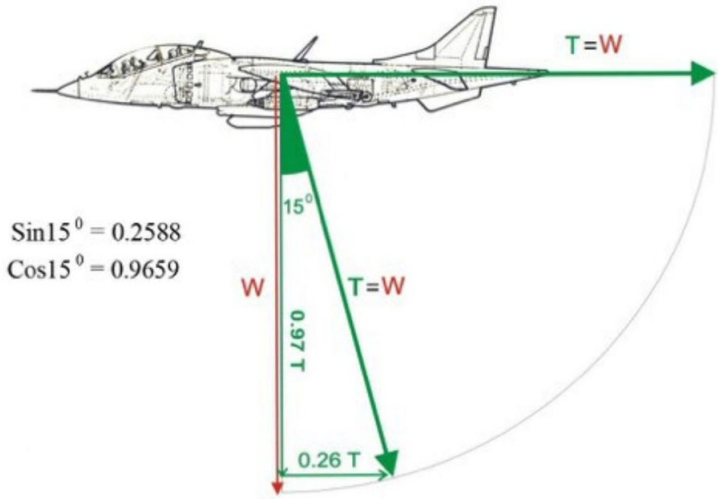
Da frühe Pegasus-Motoren keine elektronische Triebwerksüberwachung hatten, mussten die Piloten vor dem Start und später im Flug bei bestimmten Checkpunkten die zugehörigen Triebwerksparameter auf einem Schreibpad eintragen, um FOD frühzeitig erkennen zu können. Nicht nur für die Maintenance: Bei Abweichungen von bestimmten Sollwerten musste der Flug umgehend abgebrochen werden.

Transitions aus und in den Schwebeflug

Wie kommt man nun aus dem Schwebeflug in den normalen aerodynamischen Horizontalflug und zurück? Die Manöver dazu werden „Transitions“ genannt. Der bereits erwähnte Testpilot John Farley beschreibt die Transitions als sehr leicht zu fliegen. Man muss sich aber völlig von der normalen Steuerung eines Flugzeugs verabschieden können, und mental rasch zwischen dieser Steuerungsmöglichkeit und der ganz anderen Bedienung im Schwebeflug wechseln können. Fehlbedienungen (Throttle statt Nozzle Lever bedienen oder umgekehrt etc.) können zum sofortigen Kontrollverlust führen. Daher erforderte die Bedienung des Harriers erster Generation überdurchschnittliche Pilot Skills. Bei der Royal Air Force wurden nur die besten Piloten der Lehrgänge für den Harrier ausgewählt.

7) Harrier Manual

8) Nf – Fan Drehzahl in %, danach wird die Leistung eingestellt



Kleine Richtungsänderungen des Schubvektors (hier um 15°) bewirken einen ordentlichen horizontalen Schub, während sich der Auftrieb nur minimal ändert. aus [6]

Also, warum ist eine Transition leicht zu fliegen? Weil sich Beschleunigungen (vor oder zurück, rechts oder links) mit kleinen Lage- oder Schubrichtungs-Änderungen einleiten lassen, ohne dass es dabei zu größeren Auftriebsverlusten durch das Kippen der Schubrichtung kommt. Wenn man in der Schule nie richtig verstanden hat, wozu man Sinus und Kosinus gebrauchen kann, dann sieht man beim Blick auf die Harrier-Flugphysik, wie sehr diese Funktionen das Harrier-Fliegen erleichtern:

John Farley beschreibt dazu eine erste Übung aus dem Schwebeflug mit Beschleunigung auf 60 Knoten und Abbremsen zurück in den Schwebeflug mit dem Steuerknüppel. Dazu nimmt man im Schwebeflug die Nase leicht runter. Die Maschine beschleunigt sofort, ohne wesentlichen Auftriebsverlust (die Höhe kann man mit dem Throttle halten). Bei 60 Knoten nimmt man die Nase wieder hoch, etwas über den Horizont, und das Flugzeug bremst ab, bis man wieder auf der Stelle schwebt. Dieses Manöver wird man später zum Abbremsen zu einer Vertical Landing brauchen. Ebenso kann mit kleinen Querlagen links oder rechts das Flugzeug seitlich positionieren. „Ganz einfach“, meint John Farley.

Wir fliegen nun einen Vertical Takeoff mit einer sog. Accelerating Transition in den Normalflug. Während der gesamten Transition hält man die Fluglage eisern mit Steuerknüppel bei und mit den Ruderpedalen den Sideslip auf null (Fahne in der Mitte). Obwohl sich die Geschwindigkeit rasch von null bis weit über 200 Knoten ändert, bleibt die Fluglage unverändert:

Zum Start wie gehabt:

- Nozzle Lever bis zum Hover Stop ziehen (Nozzles 90° down),
- Throttle - Full Power (Throttle kontrolliert die Höhe).

Dann Umgreifen: Throttle loslassen, Hand an den Nozzle Lever. Sowie man aus dem Bodeneffekt raus ist, wird der Nozzle Lever vorsichtig ein Stück vorgeschoben. Die Nozzles fahren aus der 90° Position entsprechend nach hinten. Bei z.B. 15° Nozzle-Änderung wie im Schaubild verringert sich der Auftrieb nur um ca. 3 %, dafür entsteht ein Vorwärtsschub von 26 % des Gesamtschubs. Bei Power auf Schwebeleistung wäre also der Vorwärtsschub 26 % des Fluggewichts und ergäbe dann eine anfängliche Vorwärts-Beschleunigung von 0,26 g. Da bei

Der freundliche alte Herr, der hier die beweglichen Fan-Nozzles des Harriers demonstriert, ist der Ingenieur Ralph Hooper (1926 bis 2022), eine der Schlüsselfiguren bei der Integration des Pegasus-Triebwerks in den Harrier.

Youtube Video

Full Power der Schub höher ist als im Schwebeflug, ist die tatsächliche Initial-Beschleunigung ebenfalls höher. Der Harrier wird zügig schneller.
Mit der Hand am Nozzle Lever wird dieser quasi zum Höhenruder: Bewegt man ihn nach vorne (Vertikalschub nimmt ab, Horizontalschub nimmt zu), flacht sich der Steigflug ab und das Flugzeug wird schneller. Zieht man den Nozzle Lever zurück, wird der Steigflug steiler, die Geschwindigkeitszunahme reduziert sich.

Testpilot John Farley betont, wie wichtig es ist, bei der Accelerating Transition den Sideslip mit den Ruderpedalen eisern auf null zu halten (Fahne in der Mitte). Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist – wie weiter oben beschrieben – der Harrier um die Hochachse instabil. Eine einmal vorhandene seitliche Anströmung geht nicht von selbst zurück. Passt man einen Moment nicht auf, dreht sich die Maschine von alleine schnell um die Hochachse weg:

> *„If you relax and let it swap ends, the outlook is bad. If it gets away between 60 and 90 knots, the leading wing will provide so much more lift than the other one that it swamp your lateral control and the aircraft will roll onto ist back. Since nothing comes down much faster that a Harrier with its nozzles pointing upwards, you will die ...“*

Mit zunehmender Geschwindigkeit steigt bei konstanter Fluglage der aerodynamische Auftrieb und man kann entsprechend den Nozzle Lever weiter nach vorne schieben. Dadurch beschleunigt das Flugzeug immer schneller. Hat man mit dem Nozzle Lever den vorderen Anschlag erreicht, ist man – ohne jemals auf den Airspeed-Indicator geguckt zu haben – im sicheren aerodynamischen Horizontalflug. Man kann nun den Nozzle Lever loslassen und das Flugzeug wie eine Cessna ganz normal mit Stick und Throttle fliegen. Mit den Nozzles nach hinten zeigend beschleunigt der Harrier wie eine Rakete. Man zieht am besten zügig den Throttle zurück und stabilisiert die Speed bei etwa 250 Knoten.

Platzrunde, Decelerating Transition zur Vertical Landing

Die Platzrunde wird ganz normal aerodynamisch mit Stick und Throttle geflogen.
Wenn man von einem Vertical Takeoff für eine Vertical Landing in der Platzrunde bleibt, kurvt man mit 250 Knoten in den Gegenan-

flug ein. Fahrwerk und Klappen (STOL Position) bleiben draußen.
Erfolgt der Anflug von außerhalb der Platzrunde, wird ein normaler militärischer Overhead Break geflogen:

- Anflug entlang der Landing Runway in 1.000 Fuß mit 350 kts
- Abeam Landing Point:
- Power Idle, Speedbrakes out
- 4 g turn mit 10° AOA (Angle of Attack)
- Level im Downwind:
- 250 kts, Gear Down, Flaps STOL

Die Kurve vom Gegenanflug zum Endanflug wird so geflogen, dass man mit 200 kts auf dem normalen Glideslope im Endanflug ausrollt. Etwa ein halbe NM vor dem Aufsetzpunkt erfolgt ein Configuration Change: Man zieht den Nozzle Lever zügig bis zum Hover Stop (90° Down) zurück. Dann die Hand sofort wieder an den Throttle. Mit diesem Konfigurationswechsel muss auch sofort der mentale Wechsel in den „Hover Mode“ kommen. Von nun an kontrolliert der Stick nur die Attitude in Landefluglage, und der Throttle wird zum „Höhenruder“. Mit dem plötzlichen Umlenken des Schubs um 90° (approach thrust) wird das Flugzeug erst mal etwas steigen, denn zum bisherigen aerodynamischen Auftrieb kommt nun der approach thrust hinzu. Aber der Widerstand des Flugzeugs lässt die Speed mangels Vorwärtsschubs schnell einbrechen und damit auch den Auftrieb. Langsamer werdend kontrolliert man den weiteren Gleitweg mit dem Throttle und zielt dabei auf 100 Fuß Höhe über dem Aufsetzpunkt. Unter 100 Knoten bricht der aerodynamische Auftrieb besonders schnell zusammen und man muss den Throttle zügig nach vorne schieben. Die letzten 60 Knoten kann man durch leichtes Hochnehmen der Nase abbremsen. Wenn’s schneller gehen soll, kann man auch kurz den Nozzle Lever anheben und bis zum Braking Stop zurückziehen. Aber nicht vergessen, den Nozzle Lever danach rasch wieder in den Hover Stop zu bewegen, sonst geht’s zackig rückwärts.
Die ganze Decelerating Transition in den Schwebeflug ist in etwa 13 Sekunden erledigt. Also nichts für Langsamdenker. Es gibt einen wichtigen Check beim Passieren von 60 Knoten. Ist die Power dann schon über 92 %, muss der Anflug abgebrochen werden: Die zur Verfügung stehende Leistung reicht dann nicht für den Schwebeflug aus. Über dem Landefeld stabilisiert man den Harrier außerhalb des Bodeneffekts in 50 Fuß im Schwebeflug, dann erfolgt die Vertical Landing wie weiter oben beschrieben.

Short Takeoff

Obwohl das Pegasus-Triebwerk einen sehr hohen Schub erzeugt, reicht dieser nicht, um den Harrier mit voller Beladung an Treibstoff und Waffen senkrecht starten oder landen (VTOL) zu lassen. Daher wurden für die Royal Air Force das Short Takeoff (STO) und das Slow Landing (SL) Verfahren entwickelt. Damit kann der Harrier mit wesentlich höheren Gewichten betrieben werden. Abheben und Aufsetzen erfolgt mit normalem Angle of Attack (AOA) bei einer bestimmten niedrigen Geschwindigkeit, bei der der erzeugte aerodynamische Auftrieb noch geringer als das Fluggewicht ist. Der zum Abheben noch fehlende Auftrieb wird durch das Absenken der Nozzles auf einen vorbestimmten Wert erzeugt.

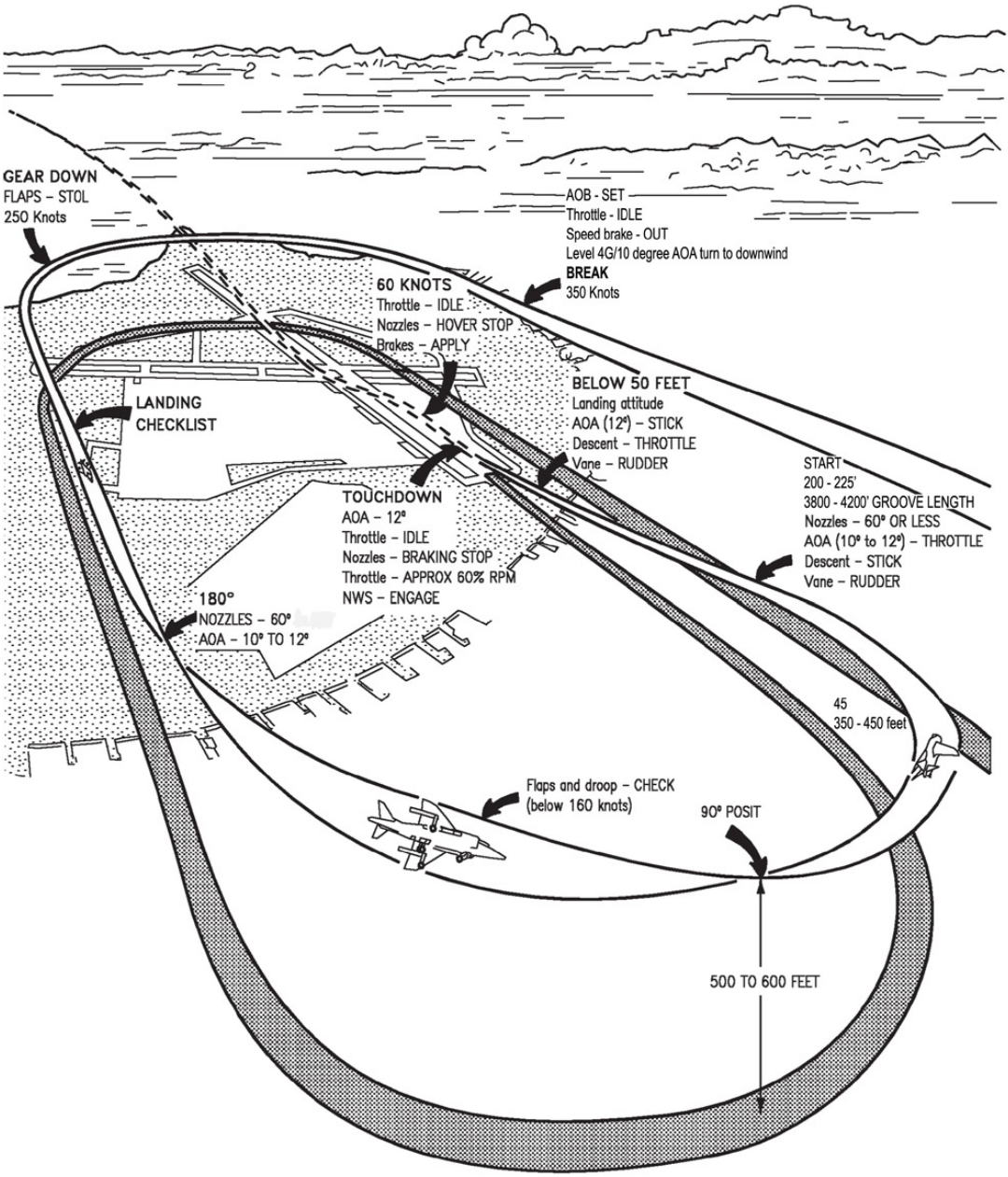
Der Short Takeoff (STO) wird wie folgt durchgeführt:
Einer Tabelle mit Gewicht und Temperatur werden folgende Startwerte entnommen: Nozzle Angle und Nozzle Rotation Airspeed. Bei der Vorbereitung zum Start wird das Pitch Target im Head-Up Display auf den Wert eingestellt, der nach dem Abheben eingenommen werden soll. Dann wird der Short Takeoff Stop (roter Hebel im Bild) auf den der Tabelle entnommenen Wert, z.B. auf 60° Down, arretiert und der Bug im Airspeed-Indicator auf die Nozzle Rotation Airspeed, z.B. auf 70 kts, eingestellt.
Beim Harrier sind die Flügel so eingestellt, dass sie am Boden einen Anstellwinkel von 8° haben. Da sich aufgrund der komplizierten Fahrwerksgeometrie das Flugzeug zum Abheben kaum rotieren lässt (es ist also nicht möglich, zum Start die Nase hochzunehmen), hebt der Harrier – außer im Senkrechtstart – immer mit 8° AOA ab.
Der Start wird mit den Nozzles auf 10° Down – also fast ganz nach hinten zeigend – begonnen, die Klappen stehen in der STOL Position.
Nach allen Checks geht es los:

- Mit den Füßen in den Bremsen: Throttle – Full
- Rechtzeitig vor dem Rutschen der Reifen: Bremsen los
- Check Power Indication
- Beim Erreichen der Nozzle Rotation Airspeed: Nozzle Lever zackig bis zum Anschlag ziehen (Short Takeoff Stop)
- Beim Abheben Flügel grade halten und Windfahne mit den Ruderpedalen in der Mitte halten

Mit dem Ziehen des Nozzle Levers springt der Harrier ohne eine Änderung der Fluglage in die Luft. Daher kommt der Spitzname „Jump Jet“. Sowie man aus dem Bodeneffekt heraus ist, wird eine Accelerating Transition in den aerodynamischen Flug geflogen – der Harrier ist unterwegs.
Die Beschleunigung beim STO ist enorm. Die Nozzle Rotation Airspeed wird in zwei bis drei Sekunden erreicht. Die Startrollstrecke ist geringer als die einer leichten Cessna, nur dass der Harrier so mit einem Startgewicht von knapp 12 Tonnen starten kann.

Slow Landing – Fixed Nozzles

Die Slow Landing wird über dieselbe Platzrunde eingeleitet wie eine Vertical Landing. Nur ist die Bedienung von Throttle und Steuerknüppel ab dem Turn vom Downwind auf den Final (180° Position) völlig anders. Die Anfluggeschwindigkeit braucht man nicht zu wissen, geflogen wird nach AOA (Angle of Attack). Die Anfluggeschwindigkeit liegt aber bei gleichem Gewicht in etwa bei den Werten wie bei einem Short Takeoff.
An der 180° Position wird der Nozzle Lever auf 60° Down gezogen. Dort bleibt er bis zum Aufsetzen stehen. Die Fahrt verringert sich. Der Flugweg wird wie beim aerodynamischen Flug über den Stick gesteuert. Der Throttle kontrolliert den AOA. Also so, wie ein Jet generell im Anflug geflogen wird: Höhenruder kontrolliert den Flugweg, Throttle kontrolliert die Speed. Nach allmählicher Erhöhung des Anstellwinkels auf den Zielwert von 10° bis 12° wird der Anstellwinkel bis herunter auf 50 Fuß mit dem Throttle gehalten.
In 50 Fuß muss die Steuerung noch mal flott auf die Harrier-Landung umgestellt werden, denn der Harrier muss in der Schwebeflugelage landen: Dazu muss der Pilot mit dem



Harrier Landing Pattern für Slow Landing mit Fixed Nozzle **Flight Manual**

Steuerknüppel die Schwebfluglage einnehmen, danach wird der Flugweg mit dem Throttle kontrolliert. Das heißt, der „Flare“ wird mit dem Schub gesteuert.

Unmittelbar nach dem Aufsetzen Throttle Idle, Nozzle Lever in den Braking Stop, Bremsen bis zum Stillstand. Die Landerollstrecke ist selbst bei maximalem Gewicht nur wenige hundert Fuß lang.

Im militärischen Einsatz war eine Slow Landing selten erforderlich. Die Harrier kamen oft ohne Waffen und mit geringen Treibstoffreserven zurück und konnten eine Vertical Landing machen.

Slow Landing – Variable Nozzles

Die oben beschriebene Slow Landing wurde mit „Fixed Nozzle“ geflogen. Es gibt aber auch noch andere Anflugverfahren. Besteht z.B. Unsicherheit über die Integrität des Triebwerks (Vogelschlag oder „battle damage“), dann kann der Anflug auch mit „Variable Nozzle“ geflogen werden. Dann sieht der Anflug genau so aus, nur dass der Throttle bis kurz vor dem Aufsetzen da bleibt, wo er ist. Die Funktion des Gashebels übernimmt im Anflug der Nozzle Lever (daher: „Variable Nozzle“).
Der Flugweg wird wieder mit dem Stick gesteuert, der Anstellwinkel mit dem Nozzle Lever. Wobei Letzterer wie ein Gashebel bedient wird. Hebel nach vorne: Mehr Vorwärtsschub, AOA verringert sich. Hebel nach hinten: Weniger Vorwärtsschub, AOA steigt an. Eine Landung mit Variable Nozzle ist schwieriger zu fliegen. In 50 Fuß muss man noch mal umgreifen. Fluglage mit Stick in Landing Attitude, Hand vom Nozzle Lever an den Throttle und den „Flare“ mit dem Throttle steuern (gut, wenn das Triebwerk dann noch mehr Power annimmt …).

Andere Start- und Landeverfahren

Der Harrier konnte auch ganz konventionell gestartet und gelandet werden. Ein konventioneller Takeoff wurde nur geflogen, wenn er unbedingt erforderlich war. Also z.B. wenn der Seitenwind einen VTO oder einen STO nicht zuließ oder bei asymmetrischer Beladung mit Waffen oder Treibstoff. Das maximale Startgewicht war dann durch die „Maximum Tire Speed“ (180 Knoten) eingeschränkt. Mit einem Slow Takeoff konnte man mehr Ladung rausschleppen. Der konventionelle Takeoff war die einzige Startart, bei der zum Abheben gezogen wurde. Aber nur ein ganz kleines bisschen, zum Abheben des Bugfahrwerks, mehr ging am Boden nicht. Bevorzugt wurde immer der Slow Takeoff.
Eine konventionelle Landung wurde nur aus denselben Gründen geflogen (Seitenwind/asymmetrische Beladung).
Außerdem gab es noch die Rolling Vertical Landing, die geflogen werden konnte, wenn die Landestrecke zu kurz für eine Slow Landing war, aber das Flugzeug zu schwer für eine Vertical Landing.
Die Landing Speeds, die sich bei einer Rolling Vertical Landing einstellten, hingen vom Gewicht ab. Bei einer Tonne über dem maximalen Schwebegewicht landete der Harrier mit etwa 50 Knoten, bei 1,8 Tonnen über dem Schwebegewicht ergab sich eine Landegeschwindigkeit von 70 Knoten. Ein Rolling Vertical Takeoff wurde geflogen, wenn das Gewicht zwar einen Senkrechtstart zuließ, aber die Startfläche dafür nicht geeignet war (Gras etc.).

peter.klant@pilotundflugzeug.de

Lesen Sie im zweiten Teil in der kommenden Ausgabe von *Pilot und Flugzeug*:

- Royal Navy Sea Harrier und der Start über die Ski-Rampe
- Harrier-Operation im Falklandkrieg
- Harrier II
- Wie sicher ist der Harrier?
- Ende einer Ära und die Geburt der F-35B