

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 8: SIA-Heft, Nr. 2/1973

Artikel: Zur Entwicklung senkrecht startender Flugzeuge
Autor: Künzler, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71813>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

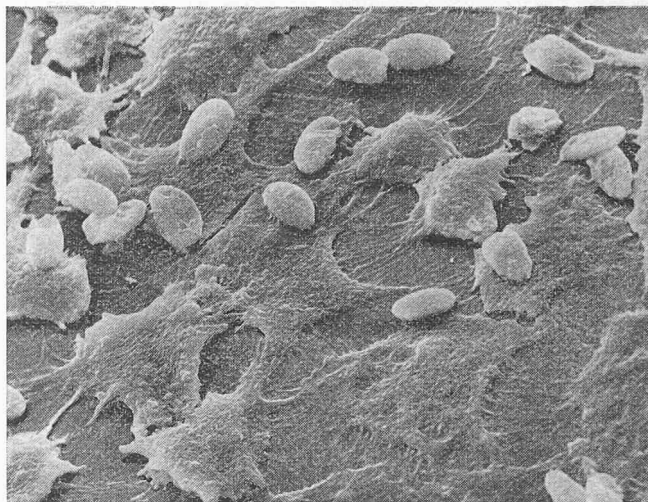
Download PDF: 19.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

das sich noch zwei Bildpunkte getrennt wahrnehmen lassen, die nur 0,00001 mm voneinander entfernt sind. Mit dem Gerät sind Vergrößerungen von 7:1 bis 240000:1 möglich.

Eine besondere Einrichtung zur dynamischen Brennweitenregelung verändert während der Vertikalablenkung ständig die Brennweite der Feinstrahl linse, so dass der Elektronenstrahl an jedem Ort der gegen den Primärstrahl geneigten Probenoberfläche optimal fokussiert bleibt. Ein euzentrischer Probentisch sorgt dafür, dass der unter dem Elektronenstrahl liegende Probenbereich bei Probendrehung und -kipfung nicht auswandert. Der im Autoscan vorhandene Digital-Abtastgenerator ermöglicht es, den primären Elektronenstrahl auch als programmierbares «Werkzeug» bei der Herstellung von integrierten Halbleiterschaltungen zu verwenden.

Konstruktiv ist das Autoscan nach dem Bausteinprinzip aufgebaut und daher besonders servicefreundlich und zukunftssicher. Wichtige Bedienungsfunktionen sind automatisiert. Das betrifft besonders das Einstellen der Videosignalparameter «Schwarzwert» und «Kontrast», ferner das Ändern der Linsenströme, Ablenkspannungen und der Wehneltspannung bei Hochspannungsumschaltung sowie das Betätigen und Überwachen der Vakuumventile bei einem Evakuierungszyklus nach einem Probenwechsel. Infolge dieser Automatisierung des Autoscan, das als Rasterelektronenmikroskop der zweiten Generation gilt, wird der Mikroskopiker von zeitraubender Gerätebedienung weitgehend entlastet. Für besondere Aufgaben und Arbeitsmethoden – von der Röntgen-Mikroanalyse bis zur Transmissions-Rasterelektronenmikroskopie – steht eine Reihe von Zusatzeinrichtungen zur Ver-



Mit dem Rasterelektronenmikroskop Autoscan aufgenommenes Präparat von menschlichen Krebszellen (Helakultur, 4 Tage alt, 25 h nach Infektion mit Mumpsvirus und Haemadsorption von Hühner-Erythrozyten; Präparat: Dr. K. Mannweiler, Heinrich-Pette-Institut, Hamburg). Primärvergrößerung 880:1, Gesamtvergrößerung rund 960:1 (Werkphoto Siemens)

fügung. Als Ausgabegerät können Schreiber, hochauflösende Bildschirm-Photokassetten, Zusatz-Fernsehmonitore und Videobandgeräte zur Bildspeicherung verwendet werden.

Zur Entwicklung senkrecht startender Flugzeuge

DK 629.135.001.1

Betrachtet man die heute üblichen Fluggeräte nach der Art, wie bei ihnen der Auftrieb erzeugt wird, so kann man grundsätzlich zwischen zwei Bauarten unterscheiden: Starr- und Drehflügler. Bei beiden liefert die Relativgeschwindigkeit der Tragflächen zur sie umgebenden Luft die zur Hebung des Fluggerätes nötige Auftriebskraft. Beim Starrflügler bilden Rumpf und Tragflächen eine starre Einheit; um die nötige Relativgeschwindigkeit der Flügel zur Luft herbeizuführen, muss das ganze Flugzeug beschleunigt werden. Das Verhältnis der Massenträgheitskraft, vermehrt um den Roll- und den Luftwiderstand, zur Schubkraft des Antriebes bestimmt den zurückzulegenden Weg bis zum Erreichen der Abhebegeschwindigkeit bei einem bestimmten Flügelprofil.

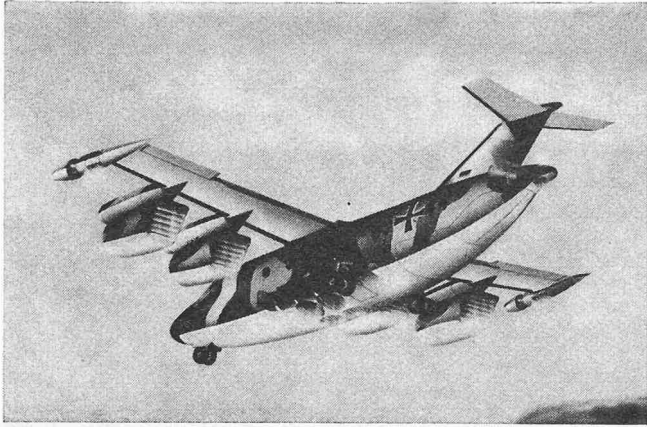
Beim Drehflügler sind lediglich die mit dem Antriebsaggregat verbundenen, rotierenden Tragflächen (Rotor) zu beschleunigen, deren Blätter Flügelprofil aufweisen, und die die nötige Auftriebskraft erzeugen. Somit benötigt der Drehflügler keine horizontale Geschwindigkeitskomponente zum Abheben: Er ist in der Lage, senkrecht zu starten, und benötigt daher keine Pisten. Mit solchen Geräten könnte auch der senkrechte Abhebevorgang so lange fortgesetzt werden, bis sie eine Höhe erreicht haben, aus der ihre Geräuschemissionen nicht mehr stören: Der «Lärmteppich» eines senkrecht startenden Flugzeuges könnte in äusserst engen Grenzen gehalten werden – zumindest theoretisch, wenn auch nicht wirtschaftlich –, womit einer der grössten Nachteile der Luftfahrt beträchtlich verringert würde.

Hubschrauber haben aber drei entscheidende Nachteile: die aufwendige Konstruktion der Steuerungsteile, insbesondere der Rotorblattverstellung, ferner das im Vergleich zum Flächenflugzeug ungünstigere Verhältnis zwischen Nutzlast und Antriebsleistung und nicht zuletzt seine beschränkte Geschwindigkeit. Sowohl materialtechnische Gesichtspunkte

(Fliehkraft, Festigkeit, Gewicht) wie auch die Umfangsgeschwindigkeit der Rotorblattspitzen (Schallgeschwindigkeit) stellen der Fluggeschwindigkeit dieser Geräte verhältnismässig enge Grenzen. Bei der Bewegung der Rotorblätter in Flugrichtung setzt sich nämlich die Geschwindigkeit der Blattspitzen zur Luft aus den zwei sich addierenden Komponenten Umfangsgeschwindigkeit und Fortbewegungsgeschwindigkeit des Fluggerätes zusammen.

Diese Nachteile liessen schon lange den Wunsch aufkommen, beide Arten der Auftriebserzeugung zu verbinden, um ein Fluggerät zu konstruieren, das einerseits keine oder nur kurze Rollbahnen benötigt, andererseits aber keinen Geschwindigkeitsbeschränkungen (ausser solchen, die von der Aerodynamik bzw. von der Antriebsleistung herrühren) unterworfen ist.

Im Laufe der Zeit entstanden mehrere Konstruktionsvorschläge für Fluggeräte, die diese Forderungen mindestens teilweise zu erfüllen versprochen. Darunter befinden sich solche, die das Herkömmliche abwandeln, wie Hubschrauber mit zusätzlichen, starren Tragflächen (eine sinnvolle Weiterentwicklung des Autogiros von La Cierva) bzw. Flächenflugzeuge mit zusätzlichen Rotoren. Beispielsweise blieb Sikorsky beim normalen Hubschrauber, den er mit verhältnismässig kleinen Flügeln versah. Bei zunehmender Fluggeschwindigkeit übernehmen diese einen immer grösseren Teil der Auftriebserzeugung. Die Aufteilung des Auftriebes zwischen Rotor und Flügel ermöglichte kleinere Rotordurchmesser, was wiederum eine erhebliche Steigerung der Fluggeschwindigkeit zulies. Diese Ausführung ist praktisch serienreif. Bei einem anderen Vorschlag – der sich allerdings erst auf dem Papier befindet – ist vorgesehen, ein Flächenflugzeug normaler Bauart mit einem zusätzlichen Rotor zu versehen. Dieser übernimmt beim Start die Auftriebserzeugung. Sodann wird das

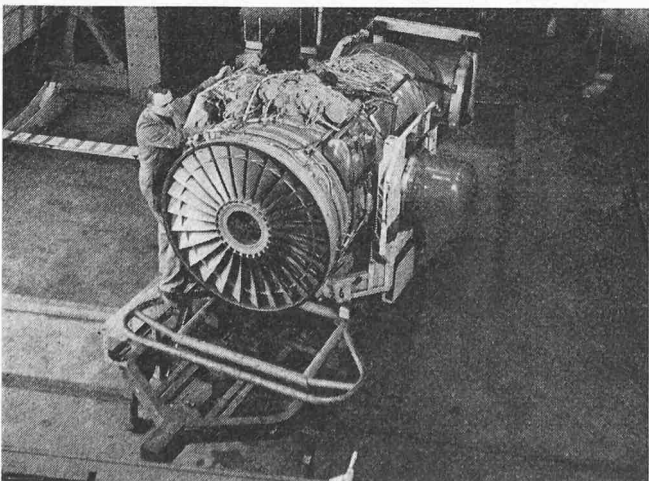


Zeichnung des senkrecht startenden Transporters für etwa 100 Personen, der unter der Bezeichnung HFB 600 bekannt war. Dieses Projekt wurde von H.-L. Studer im Jahre 1967 übernommen. Man erkennt deutlich die Schubablenklappen an den Haupttriebwerken, die Steuerdüsen an den Flügelspitzen und am Rumpheck sowie die Hubtriebwerke am Rumpf (Werkbild HFB)

Fluggerät mit an den Tragflächen angebrachten Triebwerken beschleunigt; sobald die Fluggeschwindigkeit einen Wert erreicht hat, bei dem die Flügel das Gerät tragen, wird der Rotor zusammengeklappt, in den Rumpf der Maschine eingezogen und dort verstaut. Das Gerät verhält sich beim Horizontalflug wie ein normales Flächenflugzeug.

Dass solche Lösungen die Forderungen nur teilweise erfüllen oder sehr kostspielig sind, liegt auf der Hand. Sie haben allerdings den Vorteil, dass man bei ihnen Herkömmliches abwandelt; selbst das dynamische Verhalten solcher Fluggeräte kann als weitgehend bekannt bezeichnet werden: Die von der Transitionsphase vom Vertikal- zum Horizontalflug aufgeworfenen Probleme können mit den heutigen Kenntnissen bewältigt werden. Dynamisch gesehen, sind zwei Bewegungs- und zwei Kräfterichtungen wirksam, die aus den heutigen Flugzeugarten bekannt sind. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Konstruktionsvorschlägen, die feste Hubtriebwerke im Rumpf und/oder in den Flügeln und feste Fortbewegungstriebwerke an den Tragflächen vorsehen. Hier treten wohl Stabilitätsprobleme im Vertikal- und im Schwebflug auf, die aber weitgehend mit automatisch wirkenden Flugregelanlagen gelöst werden können. Solche Anlagen wir-

Das Pegasus-Gebläsestrahltriebwerk mit Schwenkdüsenystem (rechts sichtbar), treibt das Hawker-Siddeley-Harrier-V/STOL-Flugzeug an, welches bei der RAF und dem US Marine Corps im Dienst steht (Werkbild Rolls-Royce)



ken auf Stabilisierungsdüsen, die an den Flügelspitzen sowie am Bug und am Heck des Rumpfes angebracht sind.

Da die zu optimierenden Parameter eines Fluggerätes auch die Wirtschaftlichkeit einschliessen – besonders wenn das Gerät vorwiegend oder ausschliesslich gewerblichen Zwecken dienen soll –, führten die Überlegungen bald zu Systemen, mit denen man Neuland betrat: zu Flugzeugen nämlich, bei denen ein einziges Antriebselement so verstellt wird, dass es sowohl die Auftriebs- wie auch die Fortbewegungskraft liefert. Bei dieser Gruppe kann man drei verschiedene Typen unterscheiden:

1. Strahltriebene Flugzeuge mit starren Flügeln und starr angebrachten Triebwerken, bei denen der Abgasstrahl für das Abheben vom Boden durch Klappen oder ähnliche Vorrichtungen in die Vertikale abgelenkt und bei der Transition zum Horizontalflug allmählich in die Horizontale verstellt wird.
2. Flugzeuge mit herkömmlichen, jedoch um die Horizontalachse schwenkbaren Triebwerken, deren Strahlen beim Abheben und beim Landen nach unten gerichtet sind, beim Horizontalflug jedoch in Richtung der Flugzeuglängsachse wirken.
3. Fluggeräte mit an den Flügeln starr angebrachten Triebwerken oder Propellerturbinen, bei denen die ganzen Tragflächen um ihre Horizontalachsen geschwenkt werden.

Einige dieser Konstruktionen sind mit Hilfstriebwerken versehen, die entweder der Stabilisierung beim Vertikalflug oder der Fluglagenregelung (oder beidem) dienen. Ein Beispiel der ersten Konstruktionsart ist der britische «Harrier» der Hawker Siddeley Aviation, der bereits in Serie gefertigt wird und der in der Luft wahre Ballettvorstellungen mit einer scheinbar verblüffenden Leichtigkeit vorführen kann.

Eines haben alle diese Konstruktionen gemeinsam: Die von den Triebwerken bzw. Propellerturbinen erzeugte Kraft greift nicht mehr nur in den bekannten, senkrecht bzw. parallel zur Flugzeuglängsachse liegenden Richtungen an. Bei der Transition vom reinen Auftrieb zum ausschliesslichen Horizontalantrieb und umgekehrt nimmt die auf das Flugzeug wirkende und von den Motoren erzeugte Reaktionskraft über die Zeit und im Bereich des Schwenkwinkels unendlich viele Richtungen an. Wie reagiert nun das Flugzeug, wenn es dem Kräftespiel aus schräg zur Längsachse wirkender Motor- kraft, vertikaler Erdbeschleunigung und Massenträgheit in Richtung der Flugbahn ausgesetzt wird? Was geschieht, wenn die Richtung einer dieser Kräfte (des Antriebs) kontinuierlich verändert wird?

Die Antworten auf diese Fragen können rechnerisch und durch die herkömmlichen Versuchsmethoden nur ungenau ermittelt werden; für die endgültige Abklärung sind Flugversuche notwendig. Diese sind jedoch aus den genannten Gründen nicht ungefährlich; sie können zur Vernichtung von Menschenleben und von teuren Fluggeräten führen. Es galt daher, einen geeigneten Weg zu finden, um nicht nur solche Risiken möglichst zu vermeiden, sondern auch um den Investitionsbedarf für Versuchs- und Prototypgeräte zu verringern.

Eine konkrete Möglichkeit, das dynamische Verhalten solcher Flugzeuge in der Transitionsphase eingehend und genau zu erfassen, könnte die Verwendung von frei fliegenden Modellen sein, die naturgetreu im verkleinerten Massstab auch dynamisch ähnliche Eigenschaften wie das Gerät in natürlicher Grösse aufweisen. Im nachfolgenden Beitrag berichtet *Jürg Dieter Studer* über Studien, die bereits von seinem Vater, Dr. Hans-Luzi Studer (vgl. SBZ 90 [1972], H. 38, S. 929-932), im Hinblick auf solche Versuchskörper begonnen wurden; er erörtert den Fragenkomplex sowie die möglichen Lösungen und stellt einige Konstruktionsvorschläge vor.

M. Künzler