

Widmung

Dieses Buch ist meiner Tochter Barbara Sabine Bittner gewidmet, die, ganz im Gegensatz zu meiner Leidenschaft für die theoretische und praktische Luftfahrt, als Geologin eine Berufung mit ausgesprochener Bodenhaftung gefunden hat.

Vorwort zur vierten Auflage

Zwanzig Jahre Lehrbeauftragung an mich durch die TU München für die Vorlesung Flugmechanik der Hubschrauber. Der, auch damit, erreichte Durchbruch der Hubschraubertechnik zu einer hoch wertgeschätzten Disziplin der Luftfahrt wurde Rechnung getragen: Ein Lehrstuhl für Hubschraubertechnologie ist an der TUM installiert. Ich wünschte mir dadurch einen neuerlichen Schub für diese Technologie, ähnlich dem durch den damals revolutionären gelenklosen Rotor. Das vorliegende Buch sollte keinesfalls das Erreichte festschreiben. Es sollte Basis sein für Weiterentwicklungen durch neue Bahn brechende Konzepte und deren Verwirklichung, das weiterhin vorhandene Potential des Systems Hubschrauber ausschöpfend.

Zingst, MV, im Sommer 2013

Walter Bittner

Vorwort zur dritten Auflage

Der Hubschrauber erfährt zurzeit enormen Aufwind. Das zeigt schlaglichtartig die Bestellung von 345 Hubschraubern vom Typ EC145 durch die US-Army. Dieser Hubschrauber ist eine, durch Aufsetzen des EC135-Cockpits weiterentwickelte, BK117. Er ist mit einem etwas vergrößerten Bo105-Rotor ausgestattet. Damit fügt der ursprüngliche, richtungweisende, damals hochinnovative gelenklose Rotor mit der Charakterisierung: „System Bölkow“ seiner Erfolgsgeschichte einen weiteren Triumph hinzu. Die Überlegenheit dieses Systems verdeutlicht das nachfolgend dargestellte Kunstflugprogramm. Einer Weltmeisterschaftskür, die bis heute von keinem anderen Hubschrauber als der Bo105 wiederholt werden konnte.

Die US-Army wird die EC145 unter der Bezeichnung UH72A Lakota als leichten Mehrzweck Hubschrauber in Dienst stellen.

Für die Firma EADS ist dieser Verkauf ein zentraler Meilenstein ihrer Geschäftsstrategie. Gelang es doch damit erstmals auf dem größten Markt der Welt für Luftfahrtprodukte, dem des US-amerikanischen Militärs, Fuß zu fassen, einem bisher nach außen absolut abgeschotteten Markt.

Zingst, MV, im Sommer 2008

Walter Bittner

Vorwort zur zweiten Auflage

Das Interesse an der Hubschraubertechnik, und damit auch an meinem Buch, hat sich als erfreulich groß erwiesen, entsprechende Erfahrungen aus meinen Vorlesungen an der TU München und an der Uni-Bw München haben sich damit bestätigt. Speziell die erstmalige Darstellung des flugmechanischen Hintergrundes, und das hochaktuell, wurde sehr begrüßt.

Die Flut von E-mails, die mich erreichten, brach jäh ab durch die Löschung meiner Adresse bei der Firma Eurocopter. Seit dem bin ich zu erreichen unter: Walter-Bittner@t-online.de.

Nach der Erstauflage haben sich Neuerungen, Erweiterungen und Ergänzungen ergeben. Ich nutze die Gelegenheit der Zweitaufgabe diese einzuarbeiten.

Heuer werden die ersten Serienmaschinen des NH90 und des UH-Tiger in Dienst gestellt. Was gibt es schöneres für einen Dipl. Ing. der Luft- und Raumfahrt wie mich, die Produkte als gelungen zu sehen, an deren Entstehung er als damaliger Leiter im Vorentwurf des Hubschrauberbereiches von MBB und auch über weite Strecken der Entwicklung entscheidend beteiligt war!

Zingst, MV, im Sommer 2004

Walter Bittner

Vorwort zur ersten Auflage

Die Flugmechanik beschreibt als zentraler Themenkreis aller Entwicklungsarbeiten innerhalb der Luftfahrt die flugführungsbezogenen Eigenschaften von Luftfahrzeugen. Ihre Arbeitsschwerpunkte umfassen Flugeigenschaften, Stabilität und Steuerbarkeit, Flugregelung, Simulation, Erprobung, Dynamik, Lasten- und Flugleistungsberechnungen.

So, wie bereits nach der Vorentwurfsphase eines Hubschraubers zwei Drittel seiner späteren Kosten feststehen, liegen auch schon sehr frühzeitig seine Flugeigenschaften und damit seine spätere Einsatzeignung fest.

Es ist deshalb unerlässlich, schon weit im Vorfeld von Neuentwicklungen die flugmechanischen Charakteristika der neuen Hubschraubertechnologien zu beherrschen und die später zu erfüllenden Anforderungen und anzuwendenden Vorschriften komplett und abgestimmt vorliegen zu haben. Nur unter diesen Voraussetzungen kann zielorientiert entwickelt werden, und teure Korrekturen sind später nicht mehr zu erwarten.

Hubschraubernutzer stellen sehr schnell fest, dass moderne Hubschrauber ohne Kenntnisse des Systemverhaltens nur unzureichend, vor allem aber nicht mit bestmöglicher Sicherheit und Wirtschaftlichkeit betrieben werden können.

Mit der damals revolutionären Entwicklung des Hubschraubers Bo105 unter der Regie von Herrn Dipl.-Ing. Emil Weiland in der Firma MBB erhielt die in Europa und den USA verfolgte Hubschraubertechnik einen entscheidenden Anstoß in Richtung Spitzentechnologie, die sie heute ist.

In anspruchsvollster Ingenieurskunst wurden innovative Auslegungsphilosophien und -methoden erarbeitet und verwirklicht, um damit für Hubschrauber bis dato undenkbare Flugeigenschaften und Einsatzeignungen zu erreichen. Die wichtigste aus der langen Reihe verwirklichter Innovationen ist die des gelenklosen Rotors. In einer Zeit, in der für jedermann feststand, dass Rotorblätter über Schlag- und Schwenkgelenke an den Rotorkopf angelenkt werden müssen, gerade diese Gelenke zu eliminieren, war die Durchsetzung dieser Vorstellung, unter Wahrung von deren aus flugmechanischer Sicht auch weiterhin unabdingbaren funktionalen Aufgaben, nur mit maximaler Beherrschung der vollen Wissensbreite aller benötigten Technologien zu verwirklichen. Das ursprüngliche Bestreben war dabei die beiden wartungsintensiven Gelenklager zu eliminieren, den Rotorkopf widerstandsärmer und weniger komplex zu gestalten. Nach der Verwirklichung dieser Idee stellte sich jedoch die mit dieser Technologie zu erzielende überlegene Agilität des Hubschraubers im Flug als der wichtigere Nutzen dieser Innovation heraus. Technologisch wurde dies durch die erstmalige Verwendung faserverstärkter Werkstoffe zum Bau hochbelasteter Strukturen, in diesem Fall speziell für Rotorblätter, ermöglicht.

Dr. Ludwig Bölkow hat auf der Grundlage seiner profunden Kenntnisse aller Technologien in der von ihm geschaffenen Firma die VTOL-Technik, wie sie in Ottobrunn betrieben wurde, als Schlüssel- und Hochtechnologie implantiert, inspiriert und durch zuverlässige Förderung entscheidend vorangetrieben. Vor allem durch ihn konnte eine Entwicklungsmannschaft aufgebaut werden, die weltweit als eine der höchstqualifizierten anerkannt war. Dies zeigte sich in wiederholten Bitten namhafter Firmen um Mitarbeit, speziell bei der Entwicklung neuer Rotoren, dem Herz aller Hubschrauber. Hier ist vor allem die Firma Boeing mit der damaligen UTTAS-Ausschreibung zu nennen.

Nur Firmenkulturen wie die von Dr. Bölkow initiierte, vorgelebte und an Spitzenprodukten orientierte machen Innovationen, gekrönt mit solchen Erfolgen, möglich. Woraus diese Kulturen zu bestehen haben, stellt er in seinem Buch „Der Zukunft verpflichtet“ [1] als Geist von Ottobrunn treffend dar. Komplementär zu dieser Firmenkultur existierte auf der Arbeitsebene eine kürzestgeschlossene Entwicklungsspirale. Diese durchläuft zunächst die originären Entwicklungsbereiche Technologie, Konstruktion und Festigkeit, Musterbau, Komponenten- System- und Flugerprobung und läuft, die gewonnenen Erkenntnisse rückkoppelnd, wieder zur Technologie zurück. Später sind in diesen Zyklus die Serienreifmachung und die Fertigung mit aufzunehmen. Die Flugmechanik ist in diesem Prozess die Kommunikationsebene zwischen der Flugerprobung und der Technologie. Für die gesamte Entwicklungsspirale ist das Entwicklungs-Know-How die Arbeitsebene.

Die Entwicklungsspirale muss immer wieder und so lange durchlaufen werden, bis sich die Auslegung auf das Optimum fokussiert hat. Geschieht dies nicht, entstehen nicht konkurrenzfähige Produkte. Sind die genannten Entwicklungssparten organisatorisch oder räumlich getrennt, dann explodieren die Kosten durch überdehnte Laufzeiten. Die gleichen Folgen haben Unterqualifikationen oder Inkompatibilitäten, selbst wenn dies nur in einer einzigen der Sparten der Fall sein sollte. Eine typische Unterqualifikation entsteht, wenn der fertigungstypische Einfluss als ausreichend für die von der Entwicklung benötigte Flugerprobung angesehen wird.

Nach dem beschriebenen Zyklus zu bearbeitende Entwicklungsarbeiten fallen in der Luftfahrtindustrie im Laufe aller Programmphasen an: zunächst während der eigentlichen Entwicklung, dann im Verlauf der Serienreifmachung, der Serienfertigung, der Nutzungsphase, durch Weiterentwicklungen um die erst im praktischen Einsatz, wieder nur durch die Entwicklung, zu erkennenden Reserven und um neueste technologische Fortschritte auszunutzen, bei Weiterentwicklungen zu militärischen und zivilen Varianten, im Rahmen von Produktpflegemaßnahmen, Anpassentwicklungen, Kampfwertsteigerungen und Erhaltungsmaßnahmen, alles sowohl im Soft- als auch im Hardwarebereich.

Solche innovativen Entwicklungskulturen sind mit fertigungsorientierten Strukturen ebensowenig kompatibel wie mit managementorientierten Organisationen. Für neue Produkte in der LRI sind Entwicklungskonfigurationen der beschriebenen Leistungsfähigkeit unabdingbar.

Nur die Kombination: einer, vor allem auch im technischen Wissen, höchst kompetenten Firmenleitung in Verbindung mit einer höchst qualifizierten und alle Ingenieurdisziplin umfassenden, systemfähigen Entwicklungsmannschaft ermöglicht solche Erfolge wie die der Hubschrauberentwickler in Ottobrunn und sichert

durch laufend innovative Produkte mit höchsten Ansprüchen auf Spitzentechnologie die Zukunft.

Mit den Rotoren für den PAH 2 „Tiger“ und für den zivilen Vielzweckhubschrauber EC135 sind dem genannten Team weitere überzeugende Leistungsbeispiele gelungen. Der „Tiger“ ist mit seinem FEL-Rotor seinen derzeitigen Konkurrenten in den entscheidenden Einsatzbereichen überlegen, das gleiche gilt für den EC135; dieser erreicht zusätzlich mit seinem völlig lagerlosen FVW-Rotor hohe Wirtschaftlichkeit.

Für die Konkurrenz war die Adaption der überlegenen Hubschraubertechnologie des Bo105 ein langwieriger, aber notwendiger Lernprozess, da auch auf Seiten der Hubschrauberbetreiber die Flugeigenschaften dieses Hubschraubers bald als optimal erkannt wurden - unser Markterfolg, obwohl Newcomer, hat dies gezeigt. Mit dem Hubschrauber Bo105 wurden neue, höchst anspruchsvolle Standards gesetzt. Es konnte nur eine Frage der Zeit sein, bis diese auch festgeschrieben würden.

Es dauerte trotzdem Jahrzehnte, bis das hohe Leistungsniveau des Bo105 zum allgemeinen Standard der Hubschraubertechnik wurde. Heute gültige Entwurfsrichtlinien für Neuhubschrauber orientieren sich an den Flugeigenschaften des Bo105, allerdings übertrifft dieser, etwa im Präzisionsflug, diese Forderungen immer noch bei weitem, denn er erreicht die überlegenen Steuereigenschaften von Starrflüglern.

In der Flugmechanik wurden in dem angesprochenen Technologieschub die traditionellen Analysemethoden im Sinne einer Open-Loop-Steuerung einschließlich der, für den Präzisionsflug wichtigen mittelschnellen Steuerimpulse verfeinert.

Mit dem Einzug der Elektronik auch in die Steuerungssysteme der Hubschrauber, als Stabilisierungshilfen oder auch als Autopiloten von immer höherer Komplexität und Autorität, wurden die Steuerimpulse immer kürzer, d.h. höherfrequent und vor allem auch rückkoppelnd, im Sinne von Closed-Loop-Systemen. Um die sich daraus für den Hochleistungsflug ergebenden völlig neuartigen, jedoch hoch relevanten Systemeigenschaften überhaupt erfassen, um sie quantifizieren und bewerten zu können, mussten die flugmechanischen Methoden ausgebaut werden. Dabei wurde die Vorgehensweise der elektronischen Verstärkertechnik adaptiert, wobei zu den klassischen Methoden für die auch weiterhin relevanten nieder- bis mittelfrequenten, nicht rückkoppelnden Steuerbewegungen kein systematischer Bruch auftreten durfte.

Die neuen Technologien, einschließlich der Methoden, sie zu erfassen, berücksichtigen eine Vielzahl höchst komplexer und vor allem systemtechnisch voneinander abhängiger Auslegungsparameter. Ihre optimale Kombination ergibt sich erst im oben beschriebenen Entwicklungsprozess. Künftige Hochleistungshubschrauber können deshalb nicht länger nach zu verwendenden Technologien und zu erreichenden primären Flugleistungen bzw. über die Abflugmasse definiert werden. Heute ist die Abflugmasse eine zentrale Auslegegröße aller Entwicklungsverträge, unbegründeterweise, denn sie hat für den praktischen Einsatz nur eine sehr sekundäre Bedeutung. Die Erfüllung aller flugmechanischer Forderungen ist entscheidend. In Zukunft werden missionsbezogene Flugeigenschaften gefordert, für die Handling Quality Ratings bestmöglichen Levels erreicht werden müssen. Daraus ergeben sich dann sowohl die optimale Konfiguration und Ab-

flugmasse als auch am günstigsten anzuwendenden Technologien bzw. auf der anderen Seite die Kosten.

Diese neue Systematik, Projekte zu definieren, bedingt auch bei den Auftraggebern weitestgehende Fachkompetenzen, wobei die mit anderen Mustern gemachten Erfahrungen in die Spezifikationen mit einfließen können.

Nach dem beschriebenen Technologieschub ist auch im Bereich der Flugmechanik eine gewisse Konsolidierung eingetreten. Ein erneuter Schub ist aus verschiedenen Gründen nicht zu erwarten, der wichtigste Grund hierfür wird im Buch „Der Zukunft verpflichtet“ [1] herausgearbeitet. Es erscheint mir deshalb sinnvoll, das erreichte Wissen zu dokumentieren. Das vorliegende Buch stellt einen Beitrag dazu dar. Es diene als eine Grundlage für die Weiterentwicklung der Hubschraubertechnik, die mit Sicherheit noch ein umfangreiches Potential besitzt.

Flugmechanisch weist der Hubschrauber im Vergleich zum Starrflügler typische Besonderheiten auf. Durch die Art und Weise, diese Extravaganzen sowohl technisch als auch flugmechanisch in den Griff zu bekommen, und auf Grund ihrer Komplexität entfernt sich die Hubschraubertechnik mittlerweile schon in vielen Bereichen sehr stark von der allgemeinen Flugtechnik.

Mein Dank gilt vor allem Herrn Dipl.-Ing. Emil Weiland und Herrn Prof. Dipl.-Ing. Volker von Tein. Ersterem für den mir gewährten tiefen Einstieg in die Hubschraubertechnik und dem Zweiten für die Chance, durch Ausbau der Vorlesung Flugmechanik der Hubschrauber an der TU München dieses Buch zu verfassen.

Der Leser wird feststellen, dass mit zunehmender Aktualität des behandelten Stoffes die Anglizismen zunehmen. Sich dagegen aufzulehnen wäre sinnlos. Vorschriften und Standards sind in englischer Sprache verfasst, vor allem auch von der JAA, die auch in Deutschland gültig sind. Das von staatenübergreifenden Firmen als Verkehrssprache vereinbarte Englisch ist in internationalen Programmen schon lange Usus. Zwanghafte Übersetzungen führten nur zu Verständigungsproblemen. Diese Toleranz sollte auch den Dimensionen der auftretenden Zahlenwerte entgegengebracht werden. Solange es z. B. in der Geographie Bogenminuten gibt, wird es auch nautische Meilen als Strecken- und Knoten als Geschwindigkeitseinheiten geben. Unsere sperrige Art, die Zeit zu messen, müsste sonst auch in Frage gestellt werden. Lediglich nicht physikalisch begründete Dimensionen wie slugs, pints, pounds, imperial gallons, US gallons, short und long tons, horse power und yards/feet/inches sollten ausgephast werden, wie es mit Kilopond und PS bereits geschehen ist.

Eine Reihe von Angaben und Werten in diesem Buch sind Vorschriften und Veröffentlichungen entnommen. Das kann nicht davon entbinden, für die praktische Arbeit auf die Originalunterlagen zurückzugreifen, um eventuelle Übertragungsfehler folgenlos bleiben zu lassen bzw. auch um Vorgaben zu berücksichtigen, die im Rahmen der vorliegenden Darstellung nicht erwähnt wurden. Angegebene technische und flugmechanische Daten zu einzelnen Hubschraubern sollen nur Bezüge zu praktisch auftretenden Werten herstellen - schon das Fehlen von Angaben wie Weiterentwicklungsvariante der Maschine, Ermittlungsverfahren der Daten, Randbedingungen u. ä. zeigt, dass diese nur Anhaltswerte sein können.

Flugmechanik der Hubschrauber
Technologie, das flugdynamische System
Hubschrauber, Flugstabilitäten, Steuerbarkeit
Bittner, W.
2014, XXII, 237 S. 125 Abb., Hardcover
ISBN: 978-3-642-54285-5