

Vorwort zur 3. Auflage

Seit seinem Erscheinen im Jahr 1993 ist das Buch „Flugregelung“ zu einem Standardwerk geworden. Nach meiner Pensionierung im Jahre 1995 habe ich 2001 in einer zweiten Auflage formale und sachliche Fehler des Buches korrigiert und wichtige neue Literatur ergänzt, ohne allerdings seinen Inhalt vollständig zu überarbeiten.

Als im Jahr 2008 eine neue Auflage erforderlich wurde, haben sich zwei jüngere Fachkollegen mit großer Erfahrung aus Forschung, Entwicklung und Lehre bereitgefunden, eine gründliche Überarbeitung des Lehrbuches vorzunehmen:

Wolfgang Alles, Universitätsprofessor und bis 2009 Inhaber des Lehrstuhls für Flugdynamik an der RWTH Aachen (der aktiv an den beiden ersten Auflagen der Flugregelung mitgearbeitet hat), und

Robert Luckner, Universitätsprofessor und Leiter des Fachgebiets Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastik an der TU Berlin (der beide Auflagen kritisch durchgesehen und dafür Verbesserungsvorschläge gemacht hat).

Beide bringen ideale Voraussetzungen für diesen Neuanfang mit: sie haben an der TU Braunschweig wissenschaftlich gearbeitet und wurden dort promoviert. Sie haben anschließend in der Luftfahrtindustrie – W. Alles bei den Firmen Bodenseewerk-Gerätetechnik GmbH (Überlingen) und Dornier Luftfahrt GmbH (Friedrichshafen), und R. Luckner bei der Airbus Deutschland GmbH in Hamburg – in verantwortlicher Position an zivilen und militärischen Projekten mitgearbeitet. Beide vertreten heute u.a. das Fach Flugregelung an zwei führenden deutschen Technischen Universitäten und verwenden das Buch in ihrer Lehr- und Forschungstätigkeit. Somit konnte der Springer-Verlag dieses neu geschaffene Team ermutigen, eine dritte Auflage vorzubereiten und damit dieses Fachbuch zu aktualisieren und mit neuem Leben zu erfüllen.

Wolfenbüttel, im Juli 2010

Rudolf Brockhaus

Das gemeinsame Ziel der drei Autoren ist es, dieses deutschsprachige Standardwerk weiterleben zu lassen, damit es auch in den folgenden Jahren aktuell bleibt und denen eine Hilfe bietet, die in Lehre, Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Flugregelung arbeiten. Wir waren uns einig, daß der Charakter dieses Buches erhalten bleiben sollte, daß aber gleichzeitig neue Gesichtspunkte des Fachgebiets, neue Entwicklungen, Verfahren und Vorgehensweisen, die in den zurückliegenden

fünfzehn Jahren wichtig geworden sind, so weit wie möglich aufgenommen werden. Auch sollte die Historie der nationalen Entwicklung des Fachgebiets Flugregelung erkennbar bleiben, u. a. durch Beschreibung von Forschungsarbeiten und Entwicklungen mit deutscher Beteiligung. Ein weiteres Ziel war, das angebotene Datenmaterial zu überarbeiten und Interessenten in neuer Form zugänglich zu machen.

Wieder hat eine große Zahl von Fachleuten durch kritische Vorschläge, Korrekturen und Informationen zu diesem Werk beigetragen. Wieder hat auch das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt, insbesondere durch sein Braunschweiger Institut für Flugsystemtechnik und vertreten durch dessen Leiter, Herrn Prof. Dr.-Ing. S. Levedag, zum Gelingen dieser Neuauflage beigetragen, und das nicht nur fachlich, sondern auch durch die finanzielle Unterstützung für den Neusatz in LaTeX.

Für die Vielzahl von Anregungen, für Korrekturen und Beiträge (Kapitel mit Textbeiträgen sind angegeben) gilt unser Dank: Oliver Brieger (DLR, Kap.11.2), Klaus-Uwe Hahn (DLR), Peter Hanauer (DFS), Martin Hanel (EADS, Kap.19.3), Simon Hecker (DLR, Kap.12.3.6), Matthias Heller (EADS/TU München, Kap.12.3.3, Kap.12.3.4), Frank Holzäpfel (DLR, Kap.4), Wolfgang von Grünhagen (DLR, Kap.18.3.3), Dieter Joos (DLR, Kap.13.2), Tony Lambregts (FAA), Gertjan Looye (DLR, Kap.12.3.6), Sven Löchelt (RWTH Aachen, Kap.12.4.2), Wulf Mönich (DLR, mit einer Vielzahl von Korrekturen und Verbesserungsvorschlägen), Hans-Christoph Oelker (EADS, Kap.11.2), Dieter Peitsch (TU Berlin, Kap.3.6), Reinhard Reichel (Uni Stuttgart, Kap.21), Wolf Röger (FH Aachen), Andrej Schönfeld (TU Berlin, Daten für Bilder und Anhang), Andreas Schubert (UniBW München), Manfred Swolinsky (TU Braunschweig), Gerd Trommer (Universität Karlsruhe). Zusätzlich wurden wir durch Mitarbeiter des Lehrstuhls für Flugdynamik der RWTH Aachen (Rolf Berting, Fabian Fibigs, Andreas Gäb, Georg Hahnen, Ines Krafft, Jan Nowack, Tobias Ostermann) und Mitarbeiter des Instituts für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin (David Bieniek, Arndt Hoffmann, Maxim Lamp, Matthias Lauterbach, Wolfram Meyer-Brügel, Flavio Silvestre) unterstützt.

Die einundzwanzig Kapitel dieses Buches sind in sieben Bereiche gegliedert. Das erste Kapitel vermittelt einen **allgemeinen Überblick** für den auf diesem Gebiet noch wenig bewanderten Leser. Es stellt sozusagen eine Kurzfassung des gesamten nachfolgenden Textes auf einem einführenden Niveau dar und soll dessen Verständnis erleichtern und die Zusammenhänge unter den beteiligten Fachgebieten aufzeigen.

Die Kapitel zwei bis vier liefern die notwendigen **physikalischen Grundlagen** für die Beschreibung der Flugzeugbewegung in gestörter Atmosphäre. Dazu gehört zunächst die Definition aller flugmechanischen und navigatorischen Größen und ihrer Zusammenhänge, dann die Beschreibung der Ursachen und Wirkungen der aerodynamischen Kräfte und des Triebwerksschubes und schließlich die Modellierung der Luftbewegung und ihrer Wechselwirkung mit dem Flugzeug.

Die Kapitel fünf bis acht sind der Herleitung des **mathematischen Prozeßmodells** und seiner Analyse gewidmet. Die nichtlinearen Vektor-Differentialgleichungen werden eingeführt, schrittweise vereinfacht und schließlich linearisiert. Blockschaltbilder und Signalflußdiagramme sollen den Überblick über

die komplexen Zusammenhänge erleichtern. Eigendynamik und Steuerverhalten werden sowohl an Hand nichtlinearer als auch linearisierter Gleichungen analysiert.

Die Darstellung der **Randbedingungen zur Reglerauslegung** ist Inhalt der Kapitel neun bis elf. Diese betreffen die Schnittstellen zwischen Flugzeug und Regler, d.h. die Meßverfahren und Sensoren und die Steuersysteme und Aktoren. Darauf folgt eine kurze Darstellung des Aufgabenspektrums für Flugregler und deren Auslegungskriterien, wobei Randbedingungen der Flugmechanik und der Flugführung angesprochen werden.

Die Kapitel zwölf und dreizehn geben eine kurze Einführung in **Regelungsverfahren**, die sich in der Flugregelung besonders bewährt haben. Im Vordergrund stehen dabei Reglerstrukturen zur Modifikation des dynamischen Verhaltens, die sich vornehmlich für die Regelung der rotatorischen Freiheitsgrade eignen, und solche zur Prozeßführung, die für die Regelung der translatorischen Freiheitsgrade und die Bahnführung Bedeutung erlangt haben. Auf eine ausführliche Behandlung regelungstechnischer Theorien und Entwurfsverfahren wurde verzichtet, entsprechende Grundkenntnisse werden vorausgesetzt, denn hierzu existiert eine Vielzahl hervorragender Lehrbücher.

In den Kapiteln vierzehn bis achtzehn werden schließlich die wichtigsten **Flugregler-Strukturen** erläutert. Nach der Auswahl wirksamer Rückführungen für die Stabilitätsverbesserung werden die Basisregler für Längs- und Seitenbewegung eingeführt, die der Modifikation der Flugeigenschaften dienen. Diese Betrachtung wird vertieft durch die Behandlung der wichtigsten Maßnahmen zur Erweiterung der Flugbereichsgrenzen, die unter dem Begriff „Aktive Regelung“ zusammengefaßt werden.

Darauf folgt die Darstellung der klassischen Autopiloten, und zwar fortschreitend von Einzelreglern zur Stabilisierung von Höhe, Fahrt und Kurs im Reiseflug bis zum Regelungssystem für die automatische Landung. Schließlich werden verkoppelte („integrierte“) Regler für die Führung auf wechselnden Flugbahnen vorgestellt, welche die neue Entwicklung der Flugregelung kennzeichnen, zum Teil bisher aber nur in Experimentalsystemen realisiert wurden. Sie sind charakterisiert durch die Verbindung pragmatisch ausgewählter Zustandsrückführung mit einer nichtlinearen Vorsteuerung, die aus der flugmechanischen Prozeßkenntnis heraus entwickelt wird. Hieran schließen sich Konzepte für die Generierung von Solltrajektorien und die daraus abgeleitete Sollzustandsgenerierung an. Dabei wird auch die Einbindung des Flugregelungssystems in die übrigen Bordsysteme (Navigation, *Flight Management*) erläutert.

Den Schnittstellen zwischen Pilot und Regelungssystem ist ein gesondertes Kapitel gewidmet. Hier werden Strukturen des Zusammenwirkens von Pilot und Autopilot diskutiert, die auf rein elektrischer Steuerung (Fly-by-Wire) und intelligenten Anzeigesystemen (*Flight Director*) basieren und wesentlich zu höherer Flexibilität der Flugzeugführung beitragen.

In den beiden folgenden Kapiteln werden **aktuelle Beispiele für das Gesamtsystem** aus dem militärischen und dem zivilen Bereich vorgestellt. Die eher systematischen Ausführungen der vorangehenden Kapitel werden hier an aktuellen

Beispielen konkretisiert. Das letzte Kapitel gibt einen Einblick in den industriellen *Entwicklungsprozeß* von operationellen Flugregelungssystemen.

Im *Anhang* sind die Bewegungsgleichungen nochmals zusammengestellt. Sie sind in dieser Form auch für die numerische Simulation geeignet. Flugmechanische Daten mehrerer Beispielflugzeuge sollen zahlenmäßige Abschätzungen erleichtern und eigene Beispielrechnungen ermöglichen. Häufig verwendete Größen und Konstanten und eine Tabelle der Standardatmosphäre sind angefügt.

Die Literaturverzeichnisse sind den Kapiteln zugeordnet. Das ausführliche Sachverzeichnis soll bei der Begriffsbestimmung und bei der Orientierung helfen. Die vielen, in der Flugregelung gebräuchlichen englischen Begriffe werden ebenfalls definiert, sie werden so weit möglich durch deutsche Begriffe übersetzt und sind im Text kursiv geschrieben. Gebräuchliche Abkürzungen sind im Anhang zusammengestellt.

Es wurde angestrebt, Begriffe, Benennungen und Formelzeichen aus existierenden Normen zu übernehmen. Wo solche nicht ausreichten, wurden neue Größen nach gleichen Prinzipien definiert. Flugtechnische und regelungstechnische Größen sind in der Zeichenerklärung parallel zueinander zusammengestellt. Physikalische Vektoren sind durch einen Pfeil gekennzeichnet. Allgemeine Vektoren, z.B. Zustandsvektoren, und Matrizen werden im Unterschied dazu durch Unterstreichungen gekennzeichnet. Gleichungen behalten stets die Nummer, unter der sie eingeführt wurden, damit man ihre Herleitung leicht finden kann. Um Irrtümer aufgrund unklarer Vorzeichen zu vermeiden, sind die Vorzeichenkonventionen für dieses Buch in Kapitel 2.7 zusammengestellt.

Unter der Internet-Adresse:

<http://www.fmra.tu-berlin.de/fmra/menue/service/buch-flugregelung/>

ist zusätzliches Informationsmaterial zu diesem Buch zugänglich.

Wir wünschen diesem Buch nach dessen gründlicher Überarbeitung eine Fortsetzung seines bisherigen Erfolges und hoffen, daß es zur Weiterentwicklung dieses höchst interessanten Fachgebietes beiträgt und allen, die mit ihm arbeiten, eine Hilfe sein wird.

Im Juli 2010

Rudolf Brockhaus, Wolfgang Alles, Robert Luckner

Flugregelung

Brockhaus, R.; Alles, W.; Luckner, R.

2011, XXIII, 931 S. 544 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-01442-0