



# **Echt dreidimensionale Zielschätzung aus Richtungsmessungen: Darstellung, Analyse, Lösung**

Von der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors der  
Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von  
Lorenz Schmitt  
aus Fulda

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Walter Fichter  
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Gert F. Trommer  
Karlsruher Institut für Technologie

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juni 2018

**Institut für Flugmechanik und Flugregelung  
der Universität Stuttgart**

**2018**



Fortschrittsberichte des Instituts für Flugmechanik und  
Flugregelung

Band 8

**Lorenz Schmitt**

**Echt dreidimensionale Zielschätzung  
aus Richtungsmessungen**

Darstellung, Analyse, Lösung

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6051-5

ISSN 2199-3483

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Die Schätzaufgabe . . . . .	1
1.1.1 Motivation . . . . .	1
1.1.2 Eigenschaften . . . . .	2
1.1.3 Lösungsansätze . . . . .	4
1.2 Wissenschaftlicher Beitrag und Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Darstellung der Schätzaufgabe</b>	<b>9</b>
2.1 Richtungsmessung . . . . .	9
2.1.1 Kugelkoordinaten mit Azimut und Elevation . . . . .	10
2.1.2 Unzulänglichkeiten der üblichen Beschreibung . . . . .	12
2.1.3 Verzerrungsfreie Alternative . . . . .	15
2.1.4 Umrechnung . . . . .	18
2.2 Zielmodell . . . . .	20
2.3 Allgemeine Beschreibung . . . . .	22
<b>3 Erreichbare Schätzgüte</b>	<b>25</b>
3.1 Cramér-Rao-Ungleichung für zufällige Parameter . . . . .	25
3.2 Schranke für die Zustandsschätzung . . . . .	27
3.2.1 Allgemeiner Fall . . . . .	27
3.2.2 Schranke für den Spezialfall . . . . .	30
3.3 Demonstration am Beispiel . . . . .	31
3.4 Zusammenhang zur Beobachtbarkeit . . . . .	35

<b>4</b>	<b>Schätzung</b>	<b>39</b>
4.1	Verzerrungsfreie Trennung tangentialer und radialer Zustandsanteile . . . . .	39
4.2	Zielschätzer mit nicht additivem Fehler . . . . .	42
4.2.1	Wahrer Zustand . . . . .	43
4.2.2	Geschätzter Zustand und Fehlerdefinition . . . . .	45
4.2.3	Messung . . . . .	48
4.2.4	Filter . . . . .	50
4.3	Neuer Schätzer im Test . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Schlusswort</b>	<b>59</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>