

Motivation und Einleitung

Das Bürgernahe Flugzeug

Forschungsverbund aus Instituten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, der Technischen Universität Braunschweig und der Leibniz Universität Hannover

Ziele

1. Befriedigung der Mobilitätsanforderungen der Industriegesellschaft bei Minimierung des Flächenverbrauchs
2. Lärminderung und Minimierung des Verbrauchs der Primär-Energieressourcen
3. Erhöhung der Sicherheit und Überwindung von Kapazitätsengpässen des Luftverkehrs durch Fortschritte in der Automatisierung von Flugzeug und Luftverkehrsführung

Forschungsschwerpunkte

Integration und Automatisierung der bordseitigen Flugführung und bodenseitigen Luftverkehrsführung durch neue Technologien für Kommunikation, Navigation und Überwachung

1. hochpräzise flexible GNSS-gestützte An- und Abflugverfahren
2. Entwicklung eines virtuellen Multikonstellationsempfängers

Simulationstudie

Identifikation der optimalen Antennenposition auf einem A320

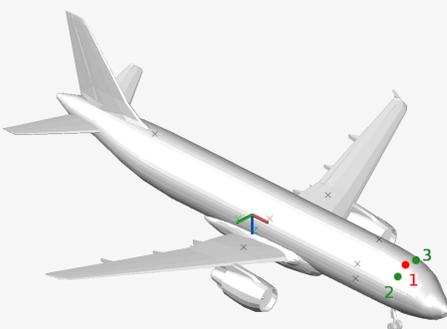


Abb. 2: Airbus A320 Flugzeugmodell mit untersuchten Antennenpositionen

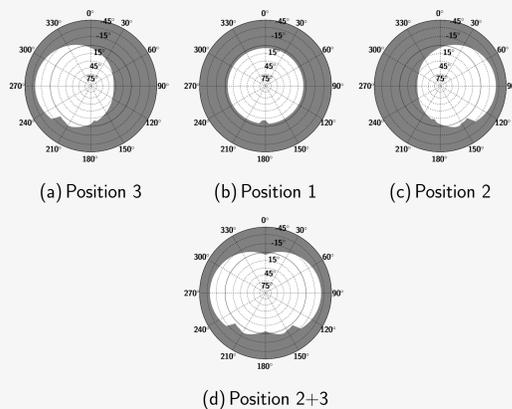


Abb. 3: Abschattungsdiagramme der untersuchten Antennenpositionen auf einem A320, Bezeichnung siehe Abb. 2

Test verschiedener Szenarien

Berechnung der GPS- und Galileo-Konstellation für 44 Anflug-Szenarien durch Variation der Zeit, des Ortes und der Anflugrichtung einer exemplarischen Anflugtrajektorie

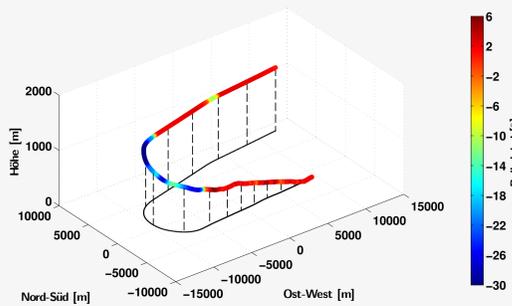


Abb. 4: Exemplarisch gekurvte Anflugtrajektorie

Tab. 4: Mittelwert, minimale und maximale Satellitenanzahl pro Epoche und mittlere DOP-Werte für die horizontale und vertikale Positionierung mit der Einzelantenne und dem virtuellen Empfänger.

Sat. System	# Beobachtungen			mittlere DOP Werte			
	Einzelantenne	Virtueller Empfänger		Einzelantenne	Virtueller Empfänger		
	Mittel	Min	Max	HDOP	VDOP	HDOP	VDOP
GPS	8	3	11	1.3	2.0	1.0 (-23%)	1.3 (-35%)
Galileo	7	4	12	1.3	1.9	0.9 (-31%)	1.3 (-32%)
GPS+Galileo	15	9	23	0.8	1.2	0.6 (-25%)	0.8 (-33%)

Mathematisches Modell und Parameter

- Schätzung der Position des virtuellen Empfängers und eines Empfängerhoffsets je beteiligtem Empfänger in einer epochenweisen linearisierten Kleinste-Quadrate Ausgleichung
- Phasenglättung der C/A-Codebeobachtungen (Filter 100 s), Gewichtung der Beobachtungen nach der Elevation, Korrektur von Satellitenuhrfehler und relativistischem Effekt aus broadcast-Ephemeriden, Ionosphäre nach Klobuchar und Troposphäre nach Hopfield
- Korrektur des Hebelarmes zwischen jeder Antenne und der frei gewählten Position des virtuellen Empfängers

Fazit und Ausblick

- Mit dem virtuellen Empfänger kann eine kontinuierliche Positionierung gewährleistet werden, auch wenn Satellitensignale bei gekurvten Anflügen z.T. abgeschattet sind.
- Die horizontale und vertikale Positionsgenauigkeit (DOP-Werte) ist gegenüber der Einzelantenne um 25 %, bzw. 30 % verbessert
- Der vertikale Positionsfehler (VPE) ist gegenüber der Einzelantenne im Mittel um 18 % verringert.
- Der virtuelle Empfänger zeigt eine verbesserte innere als auch äußere Zuverlässigkeit. Bei gleicher Wahrscheinlichkeit für Fehler 1. und 2. Art können kleinere Beobachtungsfehler aufgedeckt werden.

Literatur

Kube, Franziska, S. Schön und T. Feuerle (2012). GNSS-based Curved Landing Approaches with a Virtual Receiver. In: Proceeding of IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS) 2012, Myrtle Beach, SC, USA, 23-26 April 2012, S. 188-196

Herausforderung

- Signalunterbrechungen bei Querneigung des Flugzeugs
- Erforderliche Navigationsparameter für präzise Landeanflüge können nicht oder nur teilweise erfüllt werden

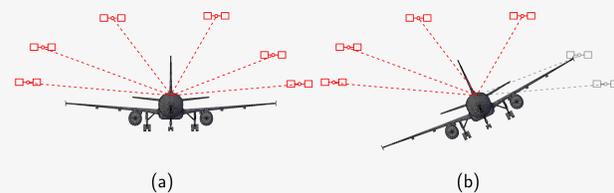


Abb. 1: Keine Signalabschattung bei geradem Landeanflug (a) und Abschattung von Satellitensignalen (grau) bei Querneigung des Flugzeugs in gekurvtem Landeanflug (b)

Herangehensweise

- Kombination der Beobachtungen von mehreren, optimal am Flugzeug verteilten GNSS-Antennen zu einer gemeinsamen Flugzeugposition im virtuellen Empfänger
- Optimal bedeutet hier, dass die Antennen so geneigt sind, dass der gemeinsame Sichtbarkeitsbereich aller Antennen vergrößert ist

Flugversuch



Abb. 5: Forschungsflugzeug Do 128-6 D-IBUF des Institut für Flugführung (IFF) der TU Braunschweig mit Antennenpositionen und -bezeichnungen.

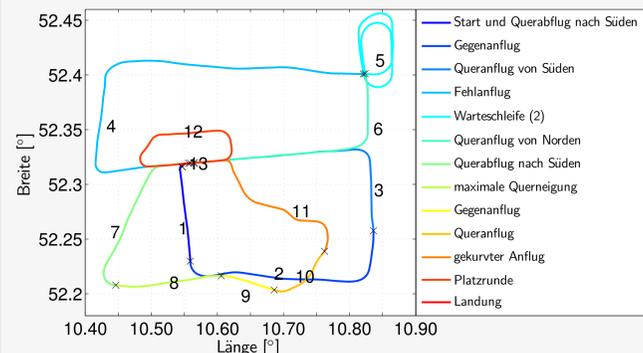
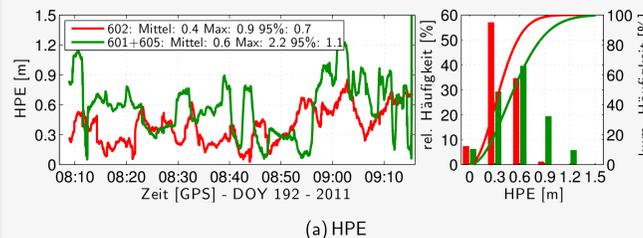
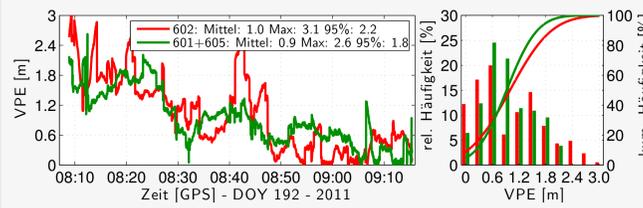


Abb. 6: Trajektorie des ca. 70minütigen Flugversuchs vom 11.07.2011 mit farbcodierten Manövern.

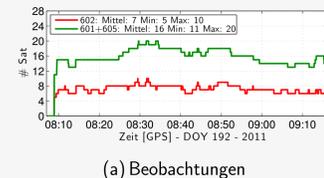


(a) HPE

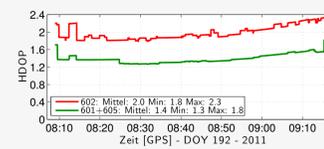


(b) VPE

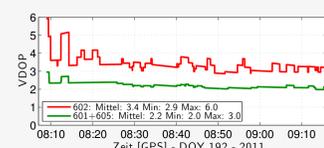
Abb. 8: Zeitreihe und Histogramm des horizontalen (a) und vertikalen (b) Positionsfehlers, als Differenz zur trägerphasenbasierten differentiellen Lösung.



(a) Beobachtungen

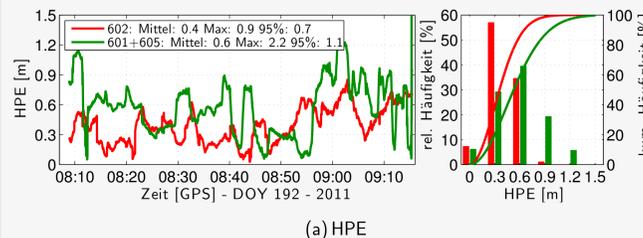


(b) HDOP

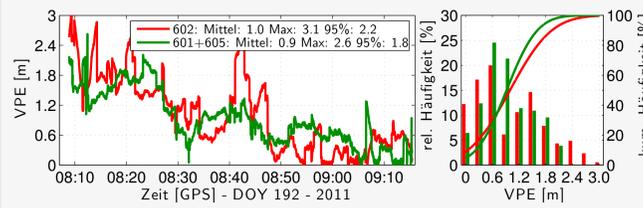


(c) VDOP

Abb. 7: Anzahl der Beobachtungen, horizontale und vertikale DOP-Werte für die Einzelantenne und den virtuellen Empfänger während des Flugversuchs.

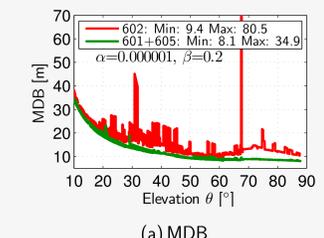


(a) HPE

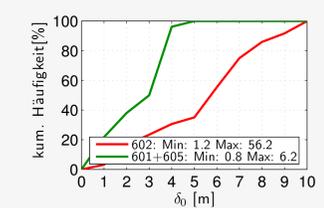


(b) VPE

Abb. 8: Zeitreihe und Histogramm des horizontalen (a) und vertikalen (b) Positionsfehlers, als Differenz zur trägerphasenbasierten differentiellen Lösung.



(a) MDB



(b) Verschiebung δ₀

Abb. 9: Minimal aufdeckbarer Fehler (MDB) als Maß der inneren Zuverlässigkeit (a) und Verschiebung δ₀ aufgrund eines MDB als Indikator der äußeren Zuverlässigkeit (b) der Positionslösung.

Danksagung

Dieses Projekt wird im Rahmen des Forschungsverbunds „Bürgernahe Flugzeug“ durch die Landesregierung Niedersachsen gefördert (Förderkennzeichen VWZN2499, VWZN2551 und VWZN2634). Die Autoren danken Thomas Feuerle, Mark Bitter (Institut für Flugführung, TU Braunschweig) und Robert Geister (Institut für Flugführung, DLR Braunschweig) für die Bereitstellung der Daten.

