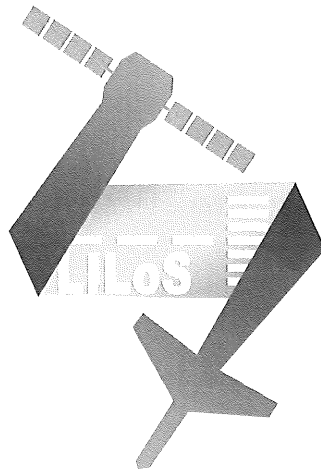


Leistungsfähige Innovative Lokale Satellitenavigation für die Luftfahrt (LILoS)



Förderkennzeichen 20V1302B

Laufzeit: 01.07.2015 bis 30.09.2017

Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Technische Universität Braunschweig
Universitätsplatz 2
38106 Braunschweig

Ausführende Stelle:

Institut für Flugführung
Hermann-Blenk-Str. 27
38108 Braunschweig

Dieser Abschlussbericht wurde entsprechend den Gliederungsrichtlinien des DLR erstellt. Zuwendungsempfänger ist die Technische Universität Braunschweig. Die Projektleitung erfolgte durch Prof. Dr.-Ing. P. Hecker, die technische Leitung durch Dr.-Ing T. Feuerle.

Braunschweig, 28. März 2018

Technische Universität BS
Institut für Flugführung
Hermann-Blenk-Straße 27
38108 Braunschweig
Telefon (05 31) 3 91 - 98 02
Telefax (05 31) 3 91 - 98 04

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'T. Feuerle', is written over a faint, larger version of the signature.

Dr. Thomas Feuerle

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	7
4.1	Operationeller GBAS Betrieb	7
4.2	GBAS für die allgemeine Luftfahrt	8
4.3	Software Defined Radio	8
4.4	Multi-Constellation / Multi-Frequency GBAS	9
4.5	Fachliteratur	9
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
6	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses	11
7	Zahlenmäßiger Nachweis	12
8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	13
9	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit	14
10	Bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen	15
10.1	GBAS für die allgemeine Luftfahrt	15
10.2	Multi-Constellation / Multi-Frequency GBAS	15
11	Erfolge und geplante Veröffentlichungen	16

1 Aufgabenstellung

Eine neue Technologiegeneration von satellitengestützten Landesystemen, die auf GPS (Global Positioning System) basieren und lokal augmentiert werden, wird zur Zeit operationell eingeführt. Entsprechende Bodenstationen existieren in Deutschland an den Flughäfen Bremen und Frankfurt und sind bereits für die allgemeine Nutzung zugelassen. Dieses GPS Landesystem (Ground Based Augmentation System oder kurz GBAS genannt) ermöglicht es bislang, einen Anflug der Kategorie 1 (CAT-I) bis 200 Fuß Entscheidungshöhe über Grund und gradlinigem Anflug durchzuführen. Dies entspricht operationell weitestgehend dem Verfahren des bisherigen ILS Landesystems.

GBAS ist darüber hinaus in der Lage, innovative Dienste anzubieten, wie die Unterstützung bei hochgenauer und flexibler Routenführung im Nahverkehrsbereich über komplexe und segmentierte Anflüge, Radius-Fixed-Curved-Path, variable und versetzte Anflugpfade inklusive Steilanflügen (Steep Approaches), Abflugführung (Guided Departures) oder Rollverkehrsführung. Zur Unterstützung dieser erweiterten Verfahren bietet die GBAS Technologie die Möglichkeit, gesonderte Zusatzinformationen entweder als Wegpunkte bereitzustellen, oder die Sensorgüte der bordseitigen Positionsbestimmung über entsprechende Korrekturdaten zu erhöhen. Derzeit richtet sich auch international der Fokus verstärkt auf diese erweiterten GBAS Möglichkeiten. Diese zur Zeit noch kaum erprobten Verfahren ermöglichen die Einführung lärmindernder und umweltschonender Anflüge. Erst die volle Nutzung des gesamten GBAS Potentials wird die bisher noch schleppende Einführung des neuen Landesystems beschleunigen. Die nationale GBAS-Forschung in Deutschland konnte in den zurückliegenden Jahren wesentliche Impulse zur Definition und Einführung der neuen Präzisionsanflugtechnologie liefern. Das Forschungsvorhaben LiloS soll hier einen entscheidenden Beitrag zum Ausschöpfen des gesamten GBAS Potentials erbringen.

Derzeit existieren Bordgeräte für GBAS nur für große Verkehrsflugzeuge und Business-Jets. Der Markt wird dominiert von den U.S.-Firmen Honeywell und Rockwell Collins, ein Produkt der Firma Thales ist ebenfalls bekannt. GBAS-Systeme für General bzw. Business Aviation sowie Hubschrauber sind derzeit nicht auf dem Markt. Auch für das im Programm SESAR entwickelte Konzept zur diesbezüglichen Integration von Allgemeiner Luftfahrt und Hubschraubern gibt es derzeit keinerlei Kommerzialisierungsansätze. Das im Rahmen des Vorhabens zu entwickelnde GBAS-Bordgerät schließt daher eine Lücke auf dem Avionikmarkt, da ein kostengünstiges Gerätekonzept einem erweiterten Nutzerkreis die Teilnahme an GBAS-Verfahren ermöglichen kann. Die Innovation besteht dabei aus einer geplanten Integration verschiedener Funkanwendungen (z.B. GBAS, VOR und Sprechfunk) sowie einem kostengünstigen und energieoptimierten Design (minimale Stromaufnahme).

Für das Institut für Flugführung der TU Braunschweig ergibt sich durch die Mitarbeit im Rahmen der nationalen Forschung auf dem Gebiet GBAS und die Einbettung in das Vorhaben LILoS die Möglichkeit, Beziehungen zur Industrie zu fördern und die Forschung im Bereich GBAS weiterhin aktiv zu verfolgen und zu gestalten. Gerade die Kooperation mit f.u.n.k.e Avionics wird Flugzeugen der allgemeinen Luftfahrt und Helikoptern künftig die neuen und weitreichenden Möglichkeiten von GBAS ermöglichen. Dies ist auch im Interesse der Flughäfen und der Airlines, die ansonsten durch Verkehrsteilnehmer, die nicht über diese Möglichkeiten verfügen, nur einen Teil des Optimierungspotentials ausschöpfen können. In jedem Fall soll sichergestellt werden, dass das Gerätekonzept mit dem europäischen SESAR-Programm hinsichtlich „Systems enabling integrated General Aviation and Rotorcraft (GA/R) operations in the European Air Traffic Management System“ kompatibel ist.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt LiLos wurde als Verbundvorhaben im Rahmen des nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms V, erster Aufruf, durchgeführt. Als Partner waren die Firma f.u.n.k.e. Avionics (Verbundführer) sowie die Technische Universität Braunschweig beteiligt. Im Teilprojekt „Entwicklung GBAS-Referenzempfänger“ (FKZ 20V1302B) stand die Entwicklung eines GBAS-Referenzempfängers im Mittelpunkt der Arbeiten.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ist gemäß der im Antrag vorgestellten Zeitplanung verlaufen. Bei wenigen Arbeitspaketen ergab sich die Notwendigkeit, kleine zeitliche Änderungen vorzunehmen. Die Gesamtlaufzeit des Projekts LILoS wurde dadurch jedoch nicht beeinflusst. Der Zeitplan ist in Abbildung 1 in Form eines Gantt-Diagramms dargestellt.

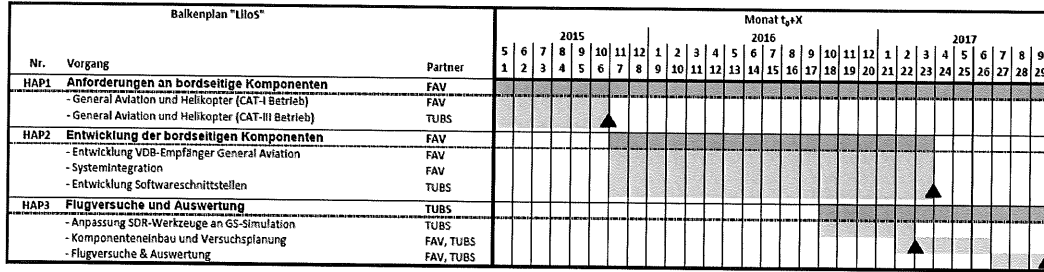


Abbildung 1: Zeitplanung im Projekt LILoS

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der aktuelle Stand der Forschung an den verschiedenen Bereichen des Ground-Based Augmentation Systems wird in den folgenden Kapiteln für die einzelnen Schwerpunkte getrennt voneinander dargestellt.

4.1 Operationeller GBAS Betrieb

Die weltweit erste automatische Landung eines Flugzeugs auf Basis der Satellitennavigation wurde bereits im Jahr 1989 vom Institut für Flugführung der TU Braunschweig am Flughafen Braunschweig/Wolfsburg demonstriert. Trotz des Ausbaus von Satellitennavigationssystemen in den darauf folgenden Jahren konnte die Satellitennavigation lange Zeit nicht für Präzisionsanflüge benutzt werden.

Erst mit der Entwicklung von Augmentierungssystemen wie dem Ground-Based Augmentation System GBAS oder dem Vorgängersystem SCAT-I wurde dies für die zivile Luftfahrt möglich. Weltweit wurde die erste GBAS-Bodenstation im Jahre 2012 durch die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH am Flughafen Bremen operationell eingeführt. Auch wenn in den folgenden Jahren einige zusätzliche Installationen folgten, so ist die weltweite Verbreitung von zugelassenen GBAS-Bodenstationen wie in Abbildung 2 dargestellt noch begrenzt.

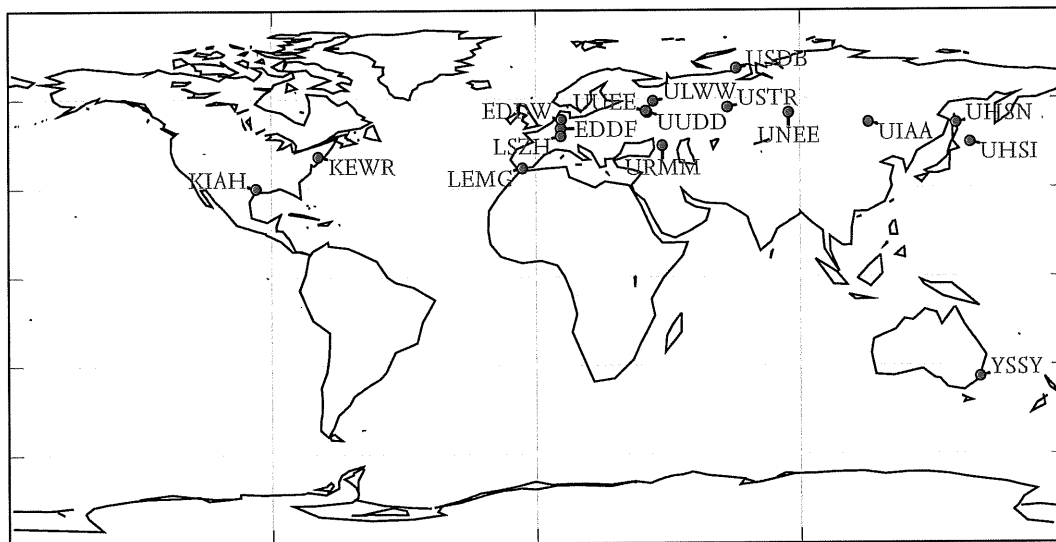


Abbildung 2: Karte mit allen operationell genutzten GBAS-Installationen mit veröffentlichten Anflügen

Nach der operationellen Einführung von GBAS CAT-I begann weltweit auf verschiedenen Ebenen die Entwicklung von GBAS für die Anflugkategorien CAT-II/III, also für Anflüge bei schlechteren Sichtbedingungen. Dieser Dienst wird auch als GAST-D bezeichnet und unterscheidet sich in Hinblick auf die Zulassung grundsätzlich vom CAT-I GBAS Dienst (der nun als GAST-C bezeichnet wird).

Zu Beginn der Laufzeit des Projekts LILoS stand zwar schon ein grundlegendes Konzept, wie GAST-D implementiert werden könne, in bedeutenden Details (z.B. für den Einfluss von anomalen Ionosphärenanomalien) war die internationale Harmonisierung allerdings noch nicht abgeschlossen. Daher wurde im Rahmen des Projektes LiLos zunächst der aktuelle Stand der GAST-D Standardisierung untersucht und beschrieben. Mittlerweile ist die Harmonisierung auf ICAO-Ebene abgeschlossen. Trotzdem wird erwartet, dass für eine operationellen Einführung von GAST-D noch eine gewisse Zeit benötigt wird.

4.2 GBAS für die allgemeine Luftfahrt

GBAS als Präzisionsanflugsystem wurde primär für den Passagiertransport ausgelegt, d.h. für große Luftfahrzeuge im Liniendienst. Jedoch sind auch eine große Anzahl von Luftfahrzeugen der allgemeinen Luftfahrt für Präzisionsanflüge der Kategorie I ausgerüstet, jedoch nur für das Instrument Landing System (ILS).

Daher wurde zunächst im Projekt LILoS untersucht, welche GBAS-Empfänger existieren und welche Anwendungsgebiete mit diesen abgedeckt werden können. Es ergab sich, dass für die allgemeine Luftfahrt weder GBAS-Empfänger noch Anforderungen existieren. Daher wurden zunächst zusammen mit dem Projektpartner f.u.n.k.e. Avionics Anforderungen definiert, die ein zukunftsfähiger GBAS-Empfänger für die allgemeine Luftfahrt erfüllen sollte.

4.3 Software Defined Radio

Software Defined Radio (SDR) ist eine recht junge Technologie, die durch die Verfügbarkeit von großer Rechenleistung möglich wurde. Während konventionelle drahtlose Kommunikationssysteme dedizierte Hardware nutzen, zielt SDR darauf ab, eine gemeinsame Hardwareplattform für verschiedene Kommunikationssysteme zu nutzen. Die systemspezifische Implementierung erfolgt dann als Software.

SDR-Technologien werden in vielen Anwendungen erfolgreich eingesetzt. Für den von GBAS verwendeten Datenlink im VHF-Band (VHF Data Broadcast – VDB) gab es vor Projektbeginn jedoch noch keine Versuche, Software Defined Radio (SDR) für die (De-)Kodierung einzusetzen.

4.4 Multi-Constellation / Multi-Frequency GBAS

Neben der Entwicklung von GAST-D als CAT-II/III GBAS Dienst wird auch an einem GBAS-Mehrfrequenzdienst gearbeitet. Dieser soll zum einen mehrere Satellitennavigationssysteme (Multi-Constellation – MC, z.B. GPS und Galileo) und zum anderen Messungen auf mehreren Frequenzen (Multi-Frequency – MF, also im L1- und im L5-Band) benutzen. Durch die Verwendungen mehrerer Konstellationen wird die Anzahl der nutzbaren GNSS-Satelliten und damit die Gesamtverfügbarkeit erhöht, während durch die Verwendung mehrerer Frequenzen Bedrohungen durch Signalverzögerungen in der Ionosphäre weitestgehend eliminiert werden können.

An MC/MF-GBAS wird weltweit in verschiedenen Forschungsprojekten geforscht. Im Rahmen des Europäischen SESAR-Projekts wurde im Teilprojekt 15.3.7 ein Vorschlag erarbeitet, wie ein solcher MC/MF-Dienst aussehen könnte. Hierzu wurde beispielsweise das ionosphärenfreie GAST-F als zukünftiger MC/MF GBAS-Dienst vorgeschlagen. Während die Abwärtskompatibilität dieses Vorschlags experimentell nachgewiesen werden konnte, wurde im Rahmen dieses SESAR-Projekts keine Untersuchungen der erreichbaren Leistungsfähigkeit vorgenommen.

4.5 Fachliteratur

- [1] ICAO–NSP. *Conceptual Framework for the Proposal for GBAS to Support CAT III Operations*. Dez. 2016.
- [2] EUROCAE WG 28. *ED-114A: Minimum Operational Performance Specification for Global Navigation Satellite Ground Based Augmentation System Ground Equipment to Support Category I Operations*. März 2013.
- [3] ICAO. *Annex 10: Standards and Recommended Practices*. Draft Version. Mai 2010. Kap. 3.
- [4] RTCA SC-159. *DO-253C: Minimum Operational Performance Standards for GPS Local Area Augmentation System Airborne Equipment*. Washington, DC, Dez. 2008.
- [5] RTCA SC-159. *DO-246D: GNSS-Based Precision Approach Local Area Augmentation System (LAAS) Signal-In-Space Interface Control Document (ICD)*. Washington, DC, Dez. 2008.
- [6] SESAR JU. *SESAR 15.3.7 D03: MC-MF GBAS Trade-offs and Recommendations*.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes LILoS hat die TU Braunschweig eng mit dem Projektpartner f.u.n.k.e. Avionics (FAV) zusammengearbeitet. Durch die enge Abstimmung war die inhaltliche Arbeit der beiden Projektpartner sehr gut koordiniert, sodass sehr effektive Ergebnisse erreicht werden konnten. Die Flugversuche sowie deren Vorbereitung wurden zusammen mit FAV durchgeführt, die auch mit drei Personen an den Versuchen teilnahmen. Durch den Einsatz aller Beteiligten konnten die Flugversuche trotz einiger Herausforderungen erfolgreich durchgeführt werden.

Im Unterauftrag zur TU Braunschweig betrieb das Institut für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) seine experimentelle GBAS-Bodenstation für die Flugversuche. Dabei wurden in Zusammenarbeit mit dem DLR (zusätzliche zu den sowieso ausgestrahlten Endanflugsegmenten) gekrümmte Anflüge implementiert und ausgestrahlt.

Im Rahmen von verschiedenen Fachkonferenzen wurden wiederholt die Fortschritte und Ergebnisse aus LILoS präsentiert und diskutiert. Es ergaben sich neben sehr aufschlussreichen technischen Diskussionen auch Anknüpfungspunkte für zukünftige Projekte.

Für die Arbeit an MC/MF GBAS wurde auf Testdaten zurückgegriffen, welche die TU Braunschweig im Rahmen des SESAR Projekts (Teilprojekt 15.3.7) zusammen mit Eurocontrol sowie der Direction générale de l'aviation civile (DGAC) bei Versuchen am Flughafen Toulouse aufgezeichnet hat. Dabei wurde die inhaltliche Arbeit weiterhin eng mit Eurocontrol sowie der DGAC abgestimmt.

6 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Eine detaillierte Konzeptvorstellung inklusive der Ergebnisse der Validierung sind dem Erfolgskontrollbericht zu entnehmen.

7 Zahlenmäßiger Nachweis

Der zahlenmäßige Nachweis liegt gesondert dem Bericht an den Zuwendungsgeber bei.

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Laufe des Projektes LILoS konnten die geplanten Tätigkeiten mit dem veranschlagten Personalaufwand verrichtet werden. Während der Projektlaufzeit wurden vereinzelt Personalleistungen zwischen den Arbeitspaketen bzw. Abrechnungsposten verschoben. Die im Antrag beschriebenen Arbeiten konnten dabei jedoch erfolgreich im Rahmen des zugewiesenen Gesamtbudgets abgeschlossen werden.

9 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit

Die vom Institut für Flugführung der TU Braunschweig im Rahmen des Projektes LILoS entwickelten Softwarekomponenten werden hauptsächlich als Grundlage für weitere Forschungen und Dienstleistungen dienen. So konnte bereits zum 01.01.2018 ein Folgeprojekt im Rahmen der SESAR2020 Very Large Demonstrations (VLD) gewonnen werden, bei dem GBAS-Anflüge mit einem Flugzeug der Allgemeinen Luftfahrt durchgeführt werden sollen. Dabei kommt der vom Projektpartner f.u.n.k.e. Avionics entwickelte GBAS-Empfänger im Forschungsflugzeug Cessna C172N „D-EMWF“ der TU Braunschweig zum Einsatz. Durch die auch durch das Projekt LILoS nachgewiesene Expertise der TU Braunschweig werden diese Anflüge ausgewertet um die Fliegbarkeit der SESAR-Solutions auch mit Kleinflugzeugen nachzuweisen.

10 Bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen

Ebenso wie der wissenschaftliche und technische Stand müssen auch hier die verschiedenen Arbeitsschwerpunkte getrennt voneinander betrachtet werden.

10.1 GBAS für die allgemeine Luftfahrt

Während der Laufzeit des Projektes ist es zu keinen Änderungen in der Verfügbarkeit von GBAS-Empfängern gekommen. Insbesondere existiert weiterhin kein GBAS-Empfänger spezifisch für die allgemeine Luftfahrt.

Zusätzlich zu den Anforderungen für einen GBAS-Empfänger der allgemeinen Luftfahrt wurden auch Anforderungen für einen GBAS-Empfänger für Sondermessaufgaben ausgearbeitet. Als Sondermessaufgaben wurde hierbei besonders auf die Forschung sowie die Flugvermessung eingegangen. Während der Projektlaufzeit wurde bekannt, dass ein Hersteller von zugelassenem GBAS-Equipment einen Empfängertyp modifizieren wird, um ihn für die Flugvermessung einsetzen zu können.

10.2 Multi-Constellation / Multi-Frequency GBAS

Im Rahmen von SESAR 2020 wird weiterhin an MC/MF-GBAS geforscht. Da hier jedoch noch keine zusätzlichen Flugversuche durchgeführt wurden, wurden in diesem Rahmen auch noch keine Erkenntnisse bekanntgemacht.

11 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die im Projekt LILoS durchgeführten Arbeiten wurden vom Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig bei folgenden Anlässen öffentlich vorgestellt:

- [1] T. Feuerle, M. Stanisak und P. Hecker. “GBAS Flight Trials for Multi-Constellation / Multi-Frequency GBAS Concept Validation”. In: *Proceedings of the 2016 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*. Monterey, California, Jan. 2016, S. 380–388.
- [2] T. Feuerle. “GAST-E/F Flight Trials”. Präsentation bei der International GBAS Working Group (IGWG 17). Oslo, Apr. 2016.
- [3] M. Stanisak, T. Feuerle, E. Wischmann, S. Burkhart und F. Blumrich. “Project LiLoS: Progress Report”. Präsentation bei der International GBAS Working Group (IGWG 18). Atlanta, GA, Apr. 2017.
- [4] M. Stanisak. “GBAS for General Aviation”. Präsentation bei der Landing and Take-Off Expert Group (LATO 29). Brétigny-sur-Orge, Frankreich, Nov. 2017.
- [5] T. Feuerle, M. Stanisak, E. Wischmann, S. Muhr und F. Blumrich. “GBAS Flight Trials with General Aviation Aircraft”. Präsentation bei dem International Symposium on Precision Approach and Performance Based Navigation (ISPA 2017). München, Nov. 2017.