

Roll- und Bodenvermessungssystem für GBAS Approach Service Type D



Förderkennzeichen 20Q1509B

Laufzeit: 01.01.2016 bis 31.03.2019

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, 19. September 2019

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Aufgabenstellung | 3 |
| 2 | Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 4 |
| 3 | Planung und Ablauf des Vorhabens | 4 |
| 4 | Wissenschaftlicher und technischer Stand | 5 |
| 4.1 | GAST-D | 6 |
| 4.2 | GBAS Flight Inspection | 6 |
| 4.3 | GBAS Rollanwendungen | 7 |
| 5 | Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 9 |
| 6 | Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses | 10 |
| 7 | Zahlenmäßiger Nachweis | 10 |
| 8 | Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit | 10 |
| 9 | Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit | 10 |
| 10 | Bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen | 11 |

1 Aufgabenstellung

Das Ground Based Augmentation System (GBAS) ermöglicht es Luftfahrzeugen, (automatisierte) Präzisionsanflüge auf Basis der Satellitennavigation durchzuführen. Hierzu müssen sowohl der Flughafen als auch das Luftfahrzeug entsprechend ausgerüstet sein. Am Flughafen wird eine GBAS-Bodenstation benötigt, die mit mehreren Referenzempfängern die Signale der Globalen Satellitennavigationssysteme (Global Navigation Satellite Systems – GNSS) empfängt und so für jeden einzelnen Satelliten Korrekturdaten ermitteln kann. Zusammen mit weiteren Integritäts- und Anfluginformationen werden diese Korrekturen dann über einen Datenlink ausgestrahlt. Dieser VHF Data Broadcast (VDB) kann dann von mit einem GBAS-Empfänger ausgestatteten Luftfahrzeugen empfangen werden. Zusammen mit den eigenen GNSS-Messungen kann das Luftfahrzeug dann eine Positionslösung und Ablagen zum Sollflugpfad berechnen, welche den Anforderungen an einen Präzisionsanflug genügt.

Präzisionsanflüge (also Anflüge mit dem Instrument Landing System (ILS), dem Microwave Landing System (MLS) oder einem GNSS-based Landing System (GLS) wie beim GBAS) werden in verschiedene Kategorien unterschieden, die sich im wesentlichen durch die Entscheidungshöhe (Decision Height (DH), also die Höhe in der der Pilot die Landebahn sehen können muss) sowie die benötigte Sichtweite in Landebahnrichtung (Runway Visual Range – RVR) unterscheidet. Die definierten Kategorien sind in Tabelle 1 dargestellt.

| CAT | DH | RVR |
|------|----------|---------|
| I | ≥ 200 ft | ≥ 550 m |
| II | ≥ 100 ft | ≥ 300 m |
| IIIa | < 100 ft | ≥ 175 m |
| IIIb | < 50 ft | < 175 m |
| IIIc | 0 ft | 0 m |

Tabelle 1: Kategorien von Präzisionsanflügen

GBAS bietet operationell verschiedene Anflugdienste an, die über sogenannte GBAS Approach Service Types (GAST) unterschieden werden.

GAST-C ist ein Dienst, der für die operationelle Betriebsstufe CAT-I zugelassen ist, also Präzisionsanflüge bis zu einer Entscheidungshöhe von 200 ft ermöglicht. Dieser Dienst wird aus historischen Gründen oft auch als GBAS CAT-I bezeichnet und wird bereits operationell verwendet.

GAST-D soll GBAS-Anflüge bis zu den CAT-II/III Minima ermöglichen, also im Vergleich zu GAST-C deutlich geringere Entscheidungshöhen. Momentan gibt es je-

doch weder operationell zugelassene GAST-D fähige Empfänger noch Bodenstationen, auch wenn die internationale Standardisierung auf ICAO-Ebene mittlerweile abgeschlossen ist.

GAST-F ist ein Sammelbegriff für einen zukünftigen GBAS-Dienst, der mehrere Konstellationen (Multi-Constellation – MC) und mehrere Frequenzen (Multi-Frequency – MF) beinhaltet. Durch die Nutzung von MC/MF GBAS wird erwartet, dass der Einfluss der Ionosphäre (als Hauptbedrohung für die Integrität bei allen GBAS-Diensten) komplett eliminiert werden kann. Trotz gewisser Vorarbeiten (z.B. im Rahmen von SESAR 15.3.7) sind alle GAST-F Diskussionen noch in einer recht frühen Phase, sodass mit einer schnellen operationellen Einführung nicht zu rechnen ist.

Im Rahmen des Projektes MEGA wurden von den beiden Projektpartnern verschiedene Schwerpunkte bearbeitet. Der Schwerpunkt der Aerodata AG lag darin, die technischen Voraussetzungen für ein GAST-D fähiges Flight Inspection System zu demonstrieren. Die Technische Universität Braunschweig legte demgegenüber den Fokus auf zukünftige Anwendungen wie beispielsweise das GBAS-unterstützte Rollen. Trotz dieser unterschiedlichen Schwerpunkte haben beide Partner über die gesamte Projektlaufzeit eng zusammengearbeitet.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt MEGA wurde als Verbundvorhaben im Rahmen des nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms V, zweiter Aufruf, durchgeführt. Als Partner waren die Firma Aerodata AG sowie die Technische Universität Braunschweig beteiligt. Im Teilprojekt „Roll- und Bodenvermessungssystem für GBAS Approach Service Type D“ (FKZ 20Q1509B) stand für das Institut für Flugführung der Technischen Universität die Erweiterung der Möglichkeiten durch das Ground-Based Augmentation System im Mittelpunkt. Zusätzlich zu den bereits implementierten GBAS-Diensten sollte so untersucht werden, welche weitergehenden Möglichkeiten GBAS in Zukunft ermöglichen kann, sowohl für den Anflug als auch am Boden.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt MEGA war in drei Hauptarbeitspakete mit insgesamt zehn Arbeitspaketen eingeteilt. Diese Einteilung ist in Abbildung 1 dargestellt.

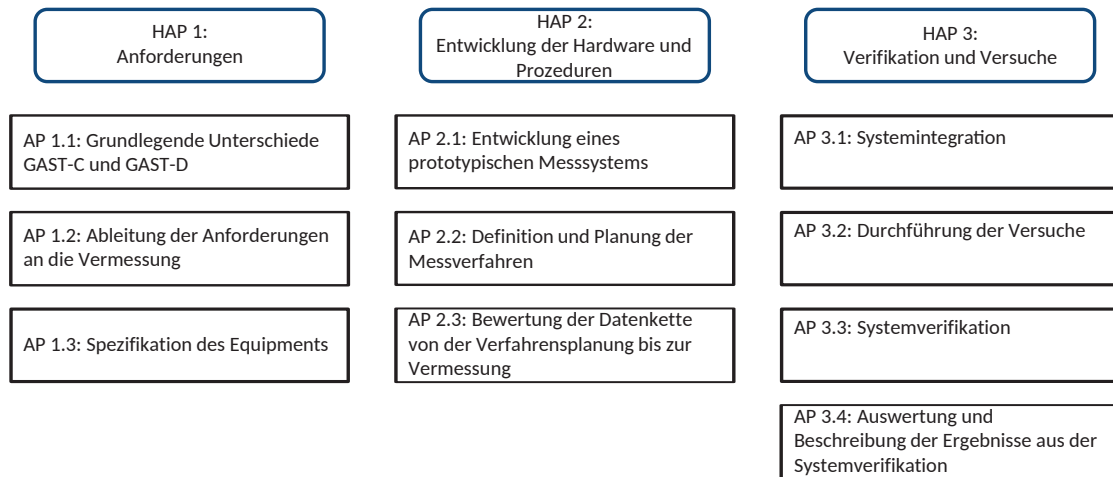


Abbildung 1: Geplante Arbeitsplakete im Projekt MEGA

Der in Abbildung 2 dargestellte Zeitrahmen für die einzelnen Arbeitspakete konnte im Großen und Ganzen gut eingehalten werden. Auf Seiten der TU Braunschweig wurde lediglich eine kostenneutrale Verlängerung bis zum Ende Juni 2019 durchgeführt, um die erzielten Ergebnisse besser vorstellen zu können.

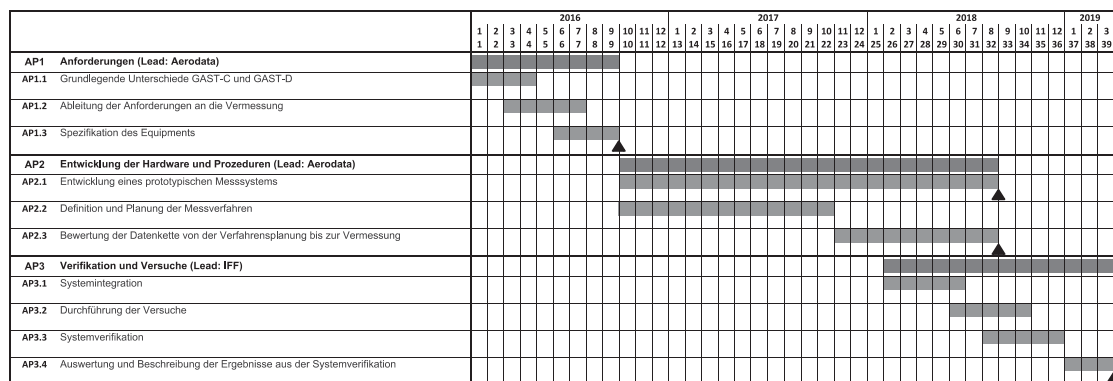


Abbildung 2: Zeitplanung im Projekt MEGA

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 GAST-D

GAST-D ist ein GBAS-Dienst, der Präzisionsanflüge bis zu den CAT-II/III Minima ermöglichen soll. GAST-D wird schon seit langer Zeit aktiv entwickelt, ist jedoch erst seit dem Amendment 91 im ICAO Annex 10 enthalten. Dieser wurde erst zum 8. November 2018 gültig, sodass erst zu diesem Zeitpunkt die internationale technische Harmonisierung abgeschlossen werden konnte.

Anders als der bestehende GBAS CAT-I Dienst (GAST-C) gehört bei GAST-D die Landung inklusive Abfangen sowie das sichere Stoppen auf der Landebahn mit dazu. Dementsprechend kamen gegenüber GAST-C bei GAST-D viele zusätzliche Mechanismen hinzu. Ein Beispiel hierfür sind Algorithmen, die dafür verantwortlich sind, den Total System Error (TSE) zu begrenzen, also dem Gesamtfehler aus dem Fehlern des Navigationssystems (NSE) sowie denen des Flugreglers (FSE). Durch die Mitbetrachtung des Flugreglers sowie der Luftfahrzeugdynamik ist es bei GAST-D unmöglich, einen generischen Empfänger zuzulassen und in verschiedene Luftfahrzeuge einzubauen. Stattdessen muss GAST-D im Rahmen des Nachweises der Lufttüchtigkeit eines Luftfahrzeuges mit zugelassen werden. In den Standards sind hierfür verschiedene Parameter vorgesehen, die im Rahmen einer Zulassung eingestellt werden müssen.

Basierend auf diesen Herausforderungen gibt es momentan noch keine für GAST-D zugelassene GBAS-Bodenstation, keine für GAST-D zugelassene Luftfahrzeuge und somit auch noch keinen operationellen Einsatz von GAST-D. Durch den großen Aufwand für eine Zulassung gibt es auch noch keine klaren Termin, wann mit der Verfügbarkeit entsprechendem Equipments zu rechnen ist.

Trotzdem befinden sich GAST-D fähige GBAS-Empfänger bereits bei verschiedenen Herstellern in der Entwicklung. Gerade in Hinblick auf eine GAST-D Flugvermessung (siehe Unterabschnitt 4.2) wurden daher im Rahmen des Projektes MEGA Anforderungen an einen GAST-D fähigen GBAS-Empfänger aufgestellt und mit den in der Entwicklung befindlichen Empfängern verglichen. Außerdem wurden die Unterschiede zwischen GAST-C und GAST-D detailliert untersucht.

4.2 GBAS Flight Inspection

Flight Inspection beschreibt die Durchführung und Auswertung von Flügen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Navigationsanlagen. Auf ICAO-Ebene wird eine Flight Inspection für verschiedene Navigationsanlagen vorgeschrieben, beispielsweise bei der initialen Einführung, bei Änderungen an dem Verfahren, oder auch periodisch. GBAS wird im ICAO DOC8071 zusammen mit anderen Navigationssystemen behandelt. Dabei ist ein komplettes Programm vorgegeben, das für die Vermessung einer

GAST-C Station mindestens zu überprüfen ist. Im DOC8071 gibt es weiterhin keine Angaben, wie Stationen überprüft werden sollen, die GAST-D Funktionalität bieten.

Im Rahmen des Projektes MEGA wurden durch die Projektpartner zwei verschiedene Ansätze für die GAST-D Flight Inspection verfolgt.

Zum einen wurde basierend auf theoretischen Betrachtungen untersucht, wie ein Flight Inspection Programm für GAST-D aussehen könnte. Hierbei wurde primär davon ausgegangen, dass sich GAST-C und GAST-D Anflüge primär durch die Führung unterhalb der CAT-I Entscheidungshöhe (200 ft) unterscheiden. Daher muss bei einer Flight Inspection auch nur dieser Bereich anders behandelt werden. Daher wurde dem GBAS-Standardprogramm aus dem DOC8071 um die Forderung ergänzt, auch die VDB-Abdeckung entlang der gewünschten Operation sicherzustellen, d.h. der letzte Teil des Endanfluges unterhalb 200 ft, das Abfangen (Flare), das Aufsetzen (Touch-Down) sowie das Ausrollen auf der Landebahn (Roll-Out). Dies kann entweder durch das Fortsetzen des Anfluges bis zu einer geringen Höhe sowie einem tiefen Überflug über die Landebahn erfolgen, oder alternativ durch komplementäre Messträger.

Zum anderen wurde auch an der prototypischen Umsetzung eines GAST-D Flight Inspection Receivers gearbeitet. Hierzu wurde als Ausgangsgerät der GBAS-Empfänger eines Herstellers gewählt, für den eine Technical Standard Order (TSO) sowie GAST-D Funktionalität angestrebt wird. Dieser wurde (zusammen mit dem Hersteller) so modifiziert, dass dieser auch für eine Flugvermessung verwendet werden kann. Für eine Demonstration wurde dieser modifizierte Empfänger prototypisch in Aerodatas Flight Inspection System (AFIS) integriert.

Beide Ansätze wurden dann gemeinsam durch Flugversuche mit dem Forschungsflugzeug D-IBUF der TU Braunschweig validiert. Hierzu wurde der GAST-D Demonstrator als temporäre Einrüstung in die D-IBUF installiert und Flüge zu den GBAS-Installationen in Braunschweig, Bremen und Frankfurt durchgeführt. Als Flugprogramm diente dabei das um tiefe Überflüge ergänzte Standardverfahren aus dem DOC8071. Dabei zeigten sich über alle Versuche durchgehend gute Ergebnisse.

4.3 GBAS Rollanwendungen

Das Ausrollen auf der Landebahn gehört bis zum Stillstand gehört zu den Anforderungen an alle CAT-II/III Landesysteme, also auch an GAST-D. Sämtliche anderen Rollvorgänge am Flughafen werden ausschließlich manuell nach visuellen Markierungen vorgenommen. Bei schlechten Sichtbedingungen kann es für die Piloten (gerade bei

größeren Flugzeugen) sehr schwer sein, die richtigen Markierungen zu sehen. Im späteren Betrieb kann dies zu der Situation führen, dass ein Luftfahrzeug zwar ohne visuelle Referenz landen kann (Autoland), dann jedoch (aus Mangel an visuell erkennbaren Bodenmarkierungen) nicht mehr von der Bahn zur Parkposition rollen kann.

Mit einem zusätzlichen geführten Rolldienst könnten sämtliche Bodenoperationen unabhängig von den aktuellen Sichtbedingungen durchgeführt werden. Mit GBAS könnte so (im Gegensatz zum ILS) ein Rückgang der Kapazität bei diesen Bedingungen vermieden werden. GBAS (als differentielles Satellitennavigationssystem) bietet hierfür ein hohes Potential, was jedoch momentan mangels Standardisierungsgrundlagen nicht genutzt werden kann.

Der Aufwand für einen solchen Dienst ist jedoch hoch, da es keinerlei Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines solchen Rollführungssystems gibt und die Umgebung für ein Luftfahrzeug auf dem Vorfeld aus GBAS-Sicht ganz anders ist als ein Luftfahrzeug im Anflug. Daher konnte im Rahmen des Projektes MEGA noch auf keine signifikanten Vorarbeiten zurückgegriffen werden.

Daher musste im Rahmen des Projektes MEGA ein solcher GBAS-Rolldienst von Grund auf neu ausgelegt werden. Zunächst wurden hierfür wieder Anforderungen aufgestellt. Dabei musste sichergestellt werden, dass die resultierende Gesamtleistungsfähigkeit mindestens genau so gut sein muss wie diejenige, die momentan manuell durch die Piloten erreicht wird. Dies ist – gerade in Hinblick auf die beschriebenen Randbedingungen – ein sehr schwieriges Unterfangen. Als Grundprinzip wurden die differentiellen Korrekturen des GBAS weiterverwendet, und um zusätzliche Nachrichten für die Soll-Rollpfade ergänzt. Die Einschätzung, ob die resultierende Leistungsfähigkeit in jedem Moment für die aktuelle Situation ausreichend ist, wird dabei im Luftfahrzeug getroffen. Nur so kann die Manövrierbarkeit bzw. die Abmessungen des Luftfahrzeuges mit einfließen.

Gerade in Hinblick auf die Integrität zeigte sich, dass diese Anforderungen mit einem „konventionellen“ GBAS nur schwer erreichbar sein werden. Daher wurde entschieden, analog zur aktuellen Forschung an MC/MF GBAS, auch hier auf die Fähigkeiten der zukünftigen Satellitennavigationssysteme zurückzugreifen. Daher wurden im Rahmen dieses Projektes die Arbeiten in der MC/MF Thematik intensiv verfolgt und punktuell ergänzt.

Für eine Vermessung eines solchen GBAS-Rolldienstes ergeben sich im Vergleich zur Flugvermessung von Anflügen deutliche Unterschiede. Da eine solche Vermessung jedoch nur den letzte Schritt bei der Zulassung eines solchen neuen Dienstes darstellt, wurde auf eine detaillierte Untersuchung gegenüber der Ausarbeitung eines Grundkonzeptes für das GBAS-gestützte Rollen verzichtet.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des kleinen Konsortiums aus der TU Braunschweig und der Aerodata AG war es umso wichtiger, mit weiteren Parteien in dem bearbeiteten Fachgebiet zusammenzuarbeiten und über die Ergebnisse zu informieren. Hierzu wurde zunächst ein Treffen zusammen mit der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH sowie der FCS Flight Calibration Services GmbH organisiert.

Die DFS ist im deutschen Luftraum als Flugverkehrskontrollstelle für die Organisation im Luftverkehr verantwortlich und betreibt hierfür in Deutschland auch die Navigationsinfrastruktur. In diesem Rahmen ist die DFS auch im Bereich des Ground Based Augmentation Systems aktiv. In Bremen konnte 2012 die weltweit erste Zulassung einer CAT-I GBAS-Bodenstation erreicht werden. Zusätzlich werden von der DFS noch zwei weitere GBAS-Bodenstationen in Frankfurt betrieben. Neben einer operationell zugelassenen CAT-I Installation ist für dieses Projekt besonders die im Rahmen des SESAR-Projekts aufgebaute experimentelle GAST-D Bodenstation zu nennen, die am Flughafen Frankfurt entsprechende Signale von zwei voneinander räumlich getrennten Antennenanlagen ausstrahlt.

Die FCS ist ein privates Unternehmen, was sich im Besitz der drei Flugverkehrskontrollstellen Deutschlands (DFS), Österreichs (Austrocontrol) sowie der Schweiz (Skyguide) befindet. Mit momentan drei speziell ausgestatteten Messflugzeugen führt die FCS Messflüge für alle Bodennavigationsinstallationen in Deutschland, Österreich und der Schweiz durch. Dabei unterstützt eins der Messflugzeuge auch die Untersuchung des Ground Based Augmentation Systems und wird dazu genutzt, auch GBAS-Bodenstationen im Flug zu vermessen.

Der Workshop mit der DFS und der FCS fand im November 2016 in Braunschweig statt. Die Projektpartner stellten hierbei die im Rahmen des Projekts MEGA geplanten Arbeiten vor und erhielten viel wertvolles Feedback aus der Praxis.

Zusätzlich wurden die Ergebnisse aus dem Projekt auf Fachkonferenzen wie der „International GBAS Working Group“ (IGWG) oder der „Landing and Take-off Expert Group“ (LATO) vorgestellt. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Ergebnisse aus dem Projekt MEGA auch in die internationale Standardisierung zurückfließen konnten.

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 MEGA konnten die geplanten Tätigkeiten mit dem veranschlagten Personalaufwand verrichtet werden. Alle im Antrag beschriebenen Arbeiten konnten im Rahmen des zugewiesenen Gesamtbudgets abgeschlossen werden.

9 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit

Das vom Institut für Flugführung der TU Braunschweig bearbeitete Konzept der (automatisierten) Rollführung durch GBAS wurde bei diversen Diskussionsforen mit großem Interesse aufgenommen. Während der Durchführung der Arbeiten stellte sich in vielen Bereichen heraus, dass sich die verschiedenen Anforderungen beim Rollen im Flughafenumfeld deutlich von denen während eines Anfluges unterscheiden. Aus diesem Grund konnte im Rahmen des Projektes MEGA nur ein generelles Konzept erarbeitet werden, deren konkrete Implementierung jedoch noch weit in der Zukunft liegt und Gegenstand weiterführender Forschungsprojekte sein könnte.

Mit Hinblick auf die fortschreitende Konzeptionierung von Multi-Constellation (MC) und Multi-Frequency (MF) GBAS-Diensten und auf die hohen Genauigkeitsanforderungen eines solchen GBAS-Rolldienstes wurde die Entscheidung getroffen, dass ein solcher Rolldienst erst nach der Einführung von MC/MF GBAS interessant werden wird. Da viele der Herausforderungen für das GBAS-Rollen mit Konzepten aus den

(geplanten) MC/MF Diensten begegnet werden kann, wurde im Rahmen des Projekts MEGA entschieden, MC/MF GBAS als Grundlagen hierfür vorzusehen.

Aus dieser Motivation wurden dann die aktuellen Vorarbeiten für MC/MF-GBAS (z.B. aus SESAR 15.3.7) zur Hilfe für die Konzeption eines GBAS-Rolldienstes verwendet. Es stellte sich dabei heraus, dass es durch die Verwendung verschiedener Navigationsdatensätze bei GBAS zu Fehlern kommen können, die einen großen Einfluss auf die Gesamtleistungsfähigkeit haben können. Es wurde daher im Rahmen des Projekts MEGA ein Algorithmus entwickelt und in verschiedenen Veröffentlichungen beschrieben, der zur Kompensation dieser Effekte verwendet werden kann.

Durch diese Arbeiten konnte die TU Braunschweig ihr Renomee im Bereich der zukünftigen GBAS-Dienste deutlich ausbauen. Der Kompensationsalgorithmus bei der Verwendung mehrerer Navigationsdatensätze wurde in der Navigationsbibliothek Tri-Pos am IFF umgesetzt und können somit nicht nur für weitere Forschung im Bereich des (automatisierten) GBAS-geführten Rollens, sondern auch für die Forschung für MC/MF-GBAS weiter verwendet werden.

Auch profitierte die TU Braunschweig von der engen Kooperation mit dem Partner Aerodata. Dies führte zu einer verstärkten Zusammenarbeit in verschiedenen Bereichen.

10 Bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen

Während der Laufzeit des Projekts MEGA gab es auf verschiedenen Ebenen Fortschritte in der GBAS-Thematik.

Im Bereich von GAST-D (also dem CAT-II/III GBAS-Dienst) muss als großer Meilenstein festgehalten werden, dass die internationale Harmonisierung auf ICAO-Ebene abgeschlossen wurde. Mit dem Amendment 91 des Annex 10 Volume 1 (in Kraft seit dem 8. November 2018) ist nun ein detailliertes technisches Konzept verfügbar, das als Basis für sämtliche Entwicklungen dienen wird. Auch die Zulassungsvorschriften (z.B. RTCA DO-253 oder Eurocae ED-114) wurden darauf aufbauend aktualisiert, sodass die Entwicklung von Boden- und Luftfahrzeugequipment für GAST-D nun auch offiziell beginnen kann. Da sich in den letzten Jahren nur noch kleine Details an den GAST-D Standards geändert haben und diese kaum einen Einfluss auf die Flugvermessung haben, mussten im Rahmen des Projektes MEGA keine größeren Änderungen auf Grund dieses Meilensteins vorgenommen werden.

Im Themenfeld des (automatisierten) geführten Rollens gab es keine nennenswerten Fortschritte von anderer Stelle, trotz des vorhandenen Interesses an einer solchen Lösung. Nach einer Analyse der Anforderungen stellte sich heraus, dass das Rollen mit

GBAS am Besten mittels Multi-Constellation (MC) bzw. Multi-Frequency (MF) Algorithmen erreichbar ist. Daher ist auch der aktuelle Stand der GAST-F Standardisierung relevant für das Projekt. Die detailliertesten Planungen in diesem Bereich wurden im Rahmen des europäischen Projektes SESAR 15.3.7 erarbeitet. Nach dem Ende dieses Projektes haben sich kaum neue Erkenntnisse in diesem Bereich gezeigt. Trotzdem gab es weiterhin Fortschritte, wie beispielsweise ein kombiniertes „Concept of Operations“ (CONOPS) für GAST-F. Die Erkenntnisse aus diesen Arbeiten sind in das Projekt MEGA mit eingeflossen.