



EAN – Highspeed-Internet

Weltweit erste Kombination von Boden- und Satellitennetzwerk



Mit dem Aufkommen des Mobiltelefons für jedermann hat sich in immer breiteren Kreisen der Bevölkerung stetig der Wunsch entwickelt, über das Telefonieren hinaus viele weitere Kommunikationsangebote überall und jederzeit nutzen zu können. Die „smarten“ Mobiltelefone, Tablets und Laptops sind heute schon dafür eingerichtet und erfüllen dank Funknetzen in der Fläche und im Heimbereich diesen Wunsch bereits nahezu lückenlos. Das Schlagwort „ubiquitous“ (engl.: allgegenwärtig) in adjektivischer Zusammensetzung mit Communication, Entertainment, Computing, Monitoring und Controlling beschreibt die lückenlose IP-basierte Verfügbarkeit von Telefon, audiovisueller Unterhaltung, Rechner-, Überwachungs- und Steuerungstechnik. „Alle Informationen und Inhalte an jedem Ort und zu jeder Zeit“, das ist die Erwartung des modernen Menschen. Der technische Fortschritt der letzten Jahrzehnte hat dies mit zunehmender Rasanz möglich gemacht – aber nicht ausnahmslos.



für innereuropäische Flüge

Wer sich bis heute in einem technologisch höchstentwickelten Verkehrsflugzeug in 10.000 m Höhe und mit einer Geschwindigkeit von 1.000 km/h fortbewegte, musste feststellen, dass er kommunikationstechnisch abgeschnitten war. Bestenfalls mit Unterhaltungskonserven auf seinem Laptop oder Handy, einem Gespräch mit dem Sitznachbarn, einem guten Buch oder einem Schläfchen ließ sich die Zeit vertreiben. Der Geschäftsreisende hätte aber oft lieber seine aktuellen E-Mails bearbeitet oder mit neuesten Informationen vom Server seiner Firma an einer Kundenpräsentation gefeilt. Der Tourist war am Internetzugang interessiert, um seine Reiseplanung voranzutreiben oder den Daheimgebliebenen einen Statusbericht zu geben. Und die Besatzung hatte natürlich schon immer ein vitales Interesse an der Echtzeitverfügbarkeit einer Breitbandverbindung während des Flugs zum Up- und Download essenzieller, den Flug betreffender Informationen anstelle von vor dem Abflug auf die Festplatte gespielter Datensätze. Auf jeden Fall gab es für alle Insassen eines Flugzeugs viele Gründe, sich in der Luft Konnektivität wie am Boden, im Büro und auf der Surfcouch zu Hause zu wünschen. All dem ist man mit dem European Aviation Network (EAN) näher gekommen.

Systemübersicht

Das System kombiniert äußerst vorteilhaft zwei Hauptkomponenten: Die Satellitenübertragungstechnik MSS (Mobile Satellite Service) zur Abdeckung von Europa und der angrenzenden Meeresbereiche einschließlich der europaweiten Nutzungsrechte eines 30-MHz-S-Band-Spektrums (2x 15 MHz) steuerte der Betreiber Inmarsat, unterstützt durch seinen Technologiepartner Thales Alenia bei. Das ergänzende LTE-basierte Bodennetzwerk (CGN: Complementary Ground Network) wurde von der Deutschen Telekom für Gebiete über dem europäischen Festland mit extensivem Luftverkehrsaufkommen zur Entlastung des Satellitensegments in Zusammenarbeit mit Technologiepartner Nokia aufgebaut und in das hybride System eingebracht (Bild 1). Die Verbindung wird dabei entweder über Satellit (MSS) oder das komplementäre LTE-Bodennetzwerk (CGN) hergestellt. Die Verbindungssteuerung übernimmt ein von Inmarsat betriebener Router (Meet Me Point). Im Ergebnis steht ein hochleistungsfähiges, skalierbares Kommunikationssystem mit ho-

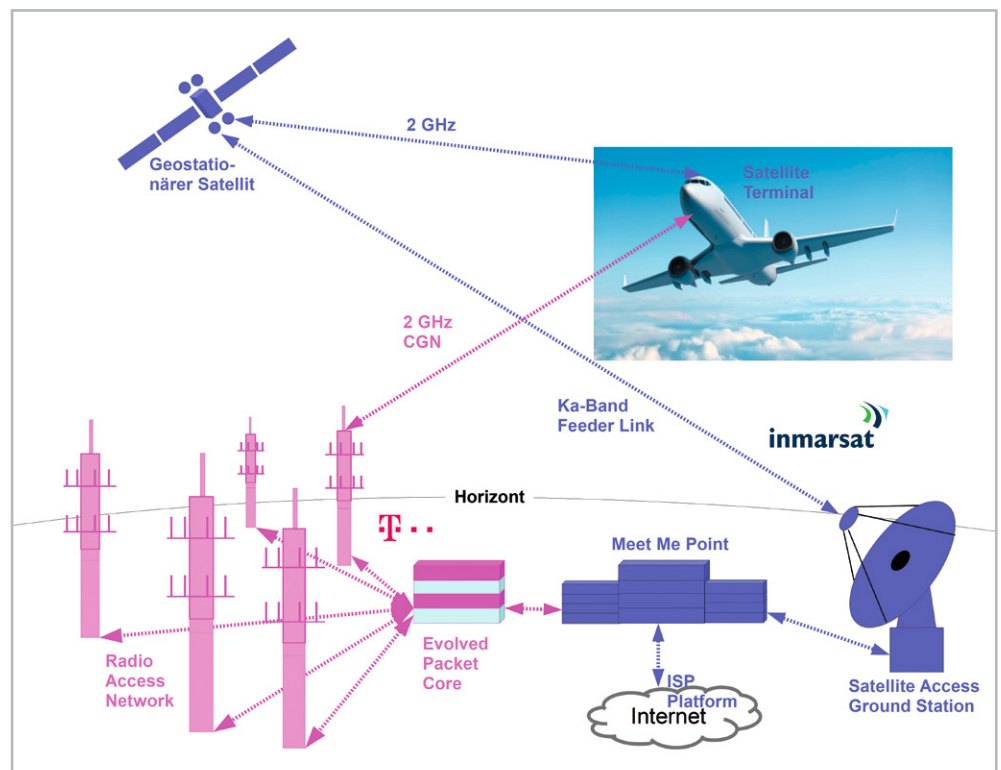


Bild 1: Der Datenverkehr zwischen Flugzeug und Diensteanbietern wird entweder über den S-Band-Satelliten von Inmarsat oder das komplementäre LTE-Bodennetzwerk der Deutschen Telekom abgewickelt.

her Zuverlässigkeit und geringen Latenzen für den europäischen Luftraum mit der höchsten Flugdichte weltweit zur Verfügung.

Einige Kennzahlen des europäischen Flugverkehrs machen die wirtschaftliche Attraktivität des EAN deutlich. 22.500 tägliche Flüge in Europa mit einem jährlichen Fluggastaufkommen von 500 Millionen Passagieren bei einem stabilen Wachstum von etwa 4,5 % pro Jahr sprechen für sich. Nach Umfragen sind 80 % der europäischen Fluggastpassagiere an einer Hochgeschwindigkeitskonnektivität an Bord interessiert. Über die Hälfte davon würde dies einer Bordmahlzeit vorziehen, und über zwei Drittel sind gewillt, dafür zu bezahlen. Ein explodierender Markt für die nächsten Jahrzehnte steht also in den Startlöchern!

Der Systemsatellit S-Band EAN/Hellas Sat 3 wurde im Auftrag von Inmarsat ab Mitte 2014 auf der Spacebus-4000-C4-Plattform von Thales Alenia Space als Condominium-Satellit (Condo-Sat, engl.: condominium = Wohnanlage) gebaut. Der Eigentümer eines Condo-Satelliten stellt wie der Vermieter eines Apartments dem Mieter Platz auf seinem Satelliten



Bild 2: Der S-Band EAN/Hellas Sat 3 kurz vor der Fertigstellung. Deutlich sind die zusammengefalteten Solarpanels zu erkennen, die im Betrieb mit 37 m Spannweite knapp 13 kW elektrische Leistung erzeugen.

für dessen Nutzlast zur Verfügung. Er kümmert sich um Bau, Integration der Nutzlast, Launch und Betrieb des Satelliten und lässt sich seine Dienstleistung durch Mietzahlungen vergüten.

Der Satellit S-Band EAN/Hellas Sat 3 hat neben der im S-Band (2–4 GHz) arbeitenden EAN-Komponente noch eine Nutzlast für den griechischen Programmbieter Hellas Sat mit 44 Ku- und einem



Bild 4: S-Band EAN/Hellas Sat 3 auf dem Weg in den geostationären Transferorbit (GTO)

Bild 3: Arianesat 5 hebt mit ihrer Nutzlast S-Band EAN/Hellas Sat 3 in Kourou ab.



Ka-Transponder an Bord (Bild 2). Er wurde am 29. Juni 2017 vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana mit einer Trägerrakete Ariane 5 der European Space Agency (ESA) auf die Position 39° West des geostationären Orbits gebracht. Zu diesem Zeitpunkt wog der kleinbusgroße Satellit 5.800 kg, einschließlich eines Treibstoffvorrats von 3.300 kg für die Lageregelungstriebwerke. Nach den Berechnungen der Ingenieure ist er nach 17 Jahren aufgebraucht. Das ist gleichbedeutend mit dem Ende der Lebensdauer des Satelliten, weil darüber hinaus die Stabilisierung der Position im geostationären Orbit nicht mehr möglich ist.

Zwei Solararrays mit einer Spannweite von 37 m stellen eine elektrische Leistung für die Nutzlast von etwa 12,7 kW zur Verfügung. Für die EAN-Kommunikation gibt es drei Antennen, die verschiedene geografische Regionen in Osteuropa, Zentraleuropa und auf der Iberischen Halbinsel ausleuchten. Die vierte Antenne dient der Hellas-Sat3-Mission. In der beschriebenen Ausbaubauvariante kann dieser Condominium-Satellit Mobile Satellite Services (MSS), Fixed Satellite Services (FSS) und Broadcast Satellite Services (BSS) zur Verfügung stellen.

Hier ein paar beeindruckende Informationen über die Trägerrakete Ariane 5: Sie ist ca. 50 m lang und mit einem Startgewicht von 780 t in der Lage, bis zu 10 t Nutzlast aus dem Schwerefeld der Erde in den geostationären Transferorbit (GTO) zu stemmen. Das ist eine stark elliptische Erdumlaufbahn, in deren erdnächstem Punkt (Perigäum) die für den geostationären Erdorbit (GEO) bestimmte Nutzlast ausgesetzt wird. Im erdfernsten Punkt des GTO (Apogäum) wird der Satellit mit seinen eigenen Triebwerken schrittweise in seine endgültige geostationäre Position im kreisrunden, erdsynchronen GEO überführt.

Die Kosten einer Mission, d. h. der Preis der Trägerrakete einschließlich Treibstofffüllung liegen bei etwa 150 Millionen Euro. Das scheint angesichts eines Preises für ein Passagierflugzeug Airbus A320 von

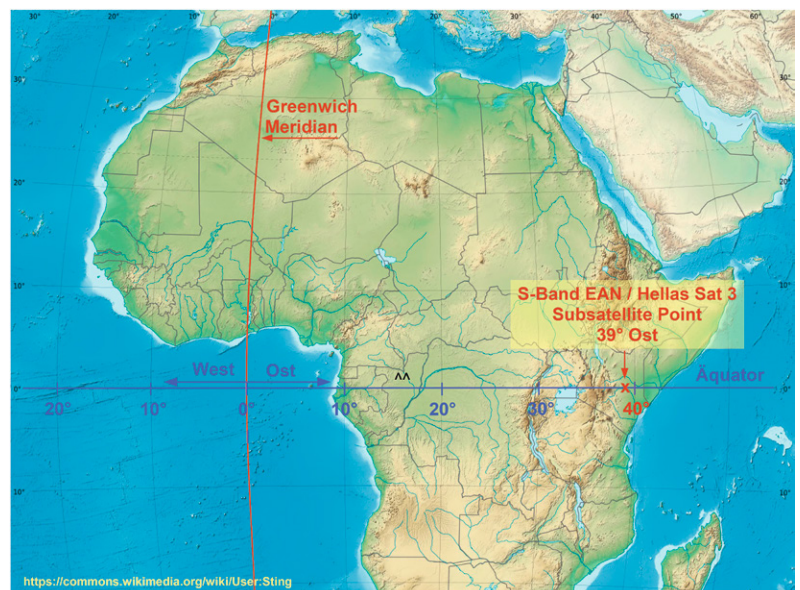


Bild 5: 36.000 km über dem Mount Kenia „steht“ S-Band EAN/Hellas Sat 3 im geostationären Erdorbit.

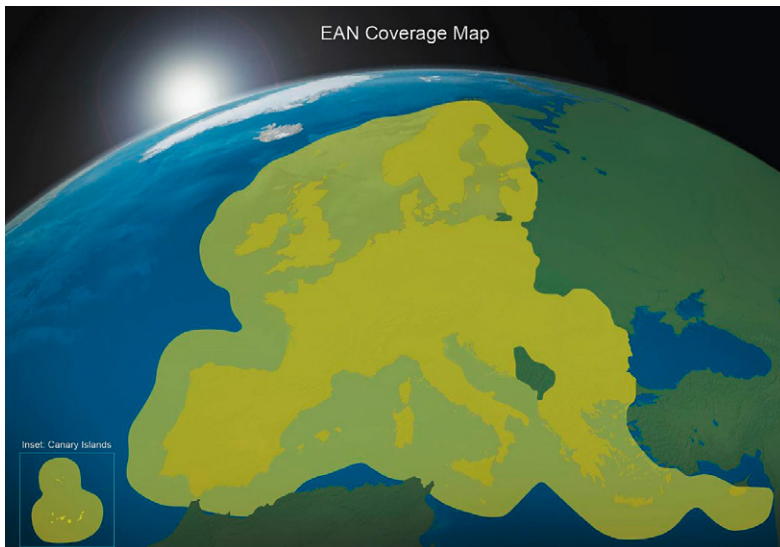


Bild 6: Über seine drei Antennen für den Mobile Satellite Service (MSS) deckt S-Band EAN/Hellas Sat 3 den größten Teil Europas für den Internetzugang aus dem Flugzeug ab.

100 Millionen Euro vergleichsweise günstig, wobei natürlich zu berücksichtigen ist, dass man einen Airbus mehrfach verwenden kann. Zum Abheben müssen die Triebwerke beim Start einen Schub von 1.340 t entwickeln (Bild 3) und zum Verlassen des Erdschwerefelds die Rakete auf die zweite kosmische Geschwindigkeit („Fluchtgeschwindigkeit“) von über 11,2 km/s (40.000 km/h) beschleunigen (Bild 4).

Die Satellitenkomponente

Es wurde bereits gesagt, dass S-Band EAN/Hellas Sat 3 im GEO bei 39° positioniert ist. Der Subsattellitenpunkt liegt damit etwa 1,7° (190 km) östlich vom Mount Kenia auf dem Äquator im östlichen Zentralafrika (Bild 5). Mit seinen drei ausrichtbaren S-Band-Antennen deckt der Sa-



Bild 7: Über diese 13-m-Antenne in der EAN-Satelliten-Bodenstation in Nemea, Griechenland, wird der satellitenbasierte Datenverkehr zwischen S-Band EAN/Hellas Sat 3 und Flugzeug abgewickelt.

tellit die europäische Landmasse mit einer ordentlichen Überlappung ab (Bild 6).

Als Gateway zwischen dem EAN-S-Band-Satelliten und dem Mobile-Satellite-Services-Terminal im Flugzeug dient die EAS-Satellite-Access-Station in Nemea (Griechenland). Wenn beispielsweise ein Fluggast Zugriff auf eine Internetressource wünscht, wird dieser Wunsch über den EAN-Satelliten an die Bodenstation in Nemea (Bild 7) weitergeleitet, welche die Verbindung zwischen dem Wi-Fi-Netz im Flugzeug und dem Internet wiederum über den EAN-Satelliten herstellt.

Die Bodenkomponente (CGN)

Die dreihundert Bodenstationen des komplementären LTE-Bodennetzwerks (CGN: Complementary Ground Network) sind auf der Europakarte in Bild 8 eingetra-

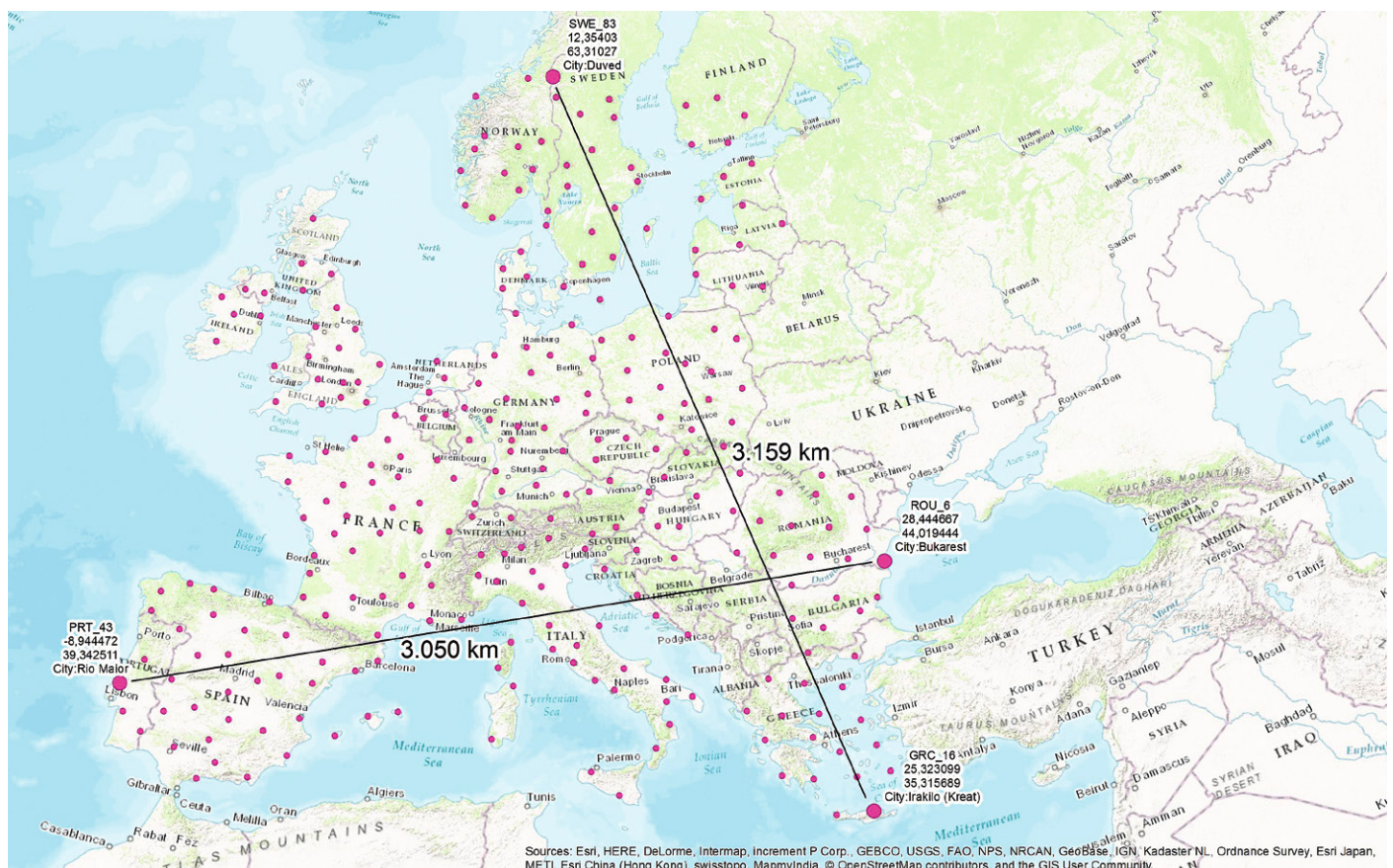


Bild 8: Die Nord-Süd-Ausdehnung des LTE-CGN erstreckt sich von Duved in Schweden bis Iraklio auf Kreta (3.159 km), im Westen markiert Rio Maior in Portugal, im Osten Bukarest in Rumänien seine Ausbaugrenze (3.050 km).



Bild 9: Eine Schmalspurzahnradbahn überwand 1890 erstmals die 1.332 Höhenmeter zwischen dem Luganer See und der Endstation auf dem 1.704 m hohen Monte Generoso an der Grenze zwischen Schweiz und Italien. Diese historische technische Meisterleistung ist nun durch eine ganz aktuelle in Gestalt einer LTE-Bodenstation für das European Aviation Network (EAN) ergänzt worden.



Bild 10: Die höchstgelegene EAN-LTE-Bodenstation befindet sich auf dem Schweizer Säntis in einer Höhe von 2.610 m.



Bild 11: Zum EAN-LTE-Standort in der Nähe der norwegischen Stadt Sogndal auf über 1400 m Höhe, wo der Schneefall bis in den Juni anhalten kann, musste das Equipment zum Teil mit Schneeraupen transportiert werden.

gen. Sie sind quer über die 28 Mitgliedsstaaten der EU sowie Norwegen und die Schweiz verteilt und befinden sich auf erhöhten Standorten wie Bergen und Sendetürmen mit großer freier Sichtweite (Bild 9). Die Kommunikation mit Flugzeugen in bis zu 12 km Höhe erfordert zum Himmel zeigende Antennen (Bild 12) im Gegensatz zu den meist waagrecht ausgerichteten LTE-Antennen für terrestrische Funknetze. Wegen der stark variierenden Umweltbedingungen sind die Antennen für den Betrieb zwischen und +55 °C ausgelegt.

Man kann sich vorstellen, dass der Roll-out des CGN mit teilweise extremen Herausforderungen für die Aufbauteams verbunden war. Beispielsweise befindet sich die Hälfte der griechischen Antennenstandorte auf kleinen Inseln in der Ägäis. Das machte den Materialtransport auf Booten erforderlich. Dagegen ist die höchstgelegene Antenne auf dem Schweizer Säntis in 2.610 m Höhe über dem Meeresspiegel im 123 m hohen Sendeturm des Grundnetzes der Swisscom (Bild 10) montiert. Hier fand der Transport der Montageteile mit der Seilbahn statt. Im hohen Norden Norwegens sind Eis und Schnee während eines beträchtlichen Teils des Jahres üblich. Die Zielorte mussten daher vielfach mit Schneekettenfahrzeugen erreicht werden (Bild 11). Oft führte am Hubschrauber kein Weg vorbei. So ist es bei der Vielzahl logistischer und technischer Schwierigkeiten umso bemerkenswerter, dass die Inbetriebnahme des CGN termin- und budgetgerecht stattfinden konnte.

Jede Zelle des LTE-CGN kann den in sie eingeloggten Flugzeugen eine gemeinsame Gesamtdatenrate von bis zu 100 Mbit/s zur Verfügung stellen. Sollte sich das als zu wenig erweisen, kann die Zelldichte relativ einfach lokal erhöht werden. Darin liegt ein großer Vorteil des LTE-CGN. Es lässt sich flexibel und kurzfristig mit vergleichsweise geringen proportionalen Kosten für den Performancezuwachs ausbauen. Bei rein satellitenbasierten Systemen ist der Kostensprung durch einen zusätzlichen Satelliten unvergleichlich höher.

Ein kleines Rechenbeispiel zur passagierbezogenen Datenrate: Wenn zwei Flugzeuge in die gleiche LTE-Zelle eingeloggt sind, können in jedem Flugzeug 50 Mbit/s auf die mitfliegenden Nutzer verteilt werden. Angenommen, dies sind in jedem Flugzeug 100, so sind dies für jeden von ihnen im Mittel 500 Kbit/s. Das ist für textlastige E-Mails sicher genug, aber keinesfalls für moderne Streamingangebote von Videocontent.

Wenn das LTE-CGN nicht erreichbar ist, muss zum Satelliten gewechselt werden. Dabei ist mit einer deutlich kleineren Übertragungsbandbreite bei deutlich höheren Latenzen (realistische Werte dürften sein: 500 ms Satellit, 100 ms LTE) zu rechnen. Handfeste Aussagen des Betreibers sind leider nicht zu erhalten.

Wer also auf einem innereuropäischen Flug unbedingt ungestört durch Unterbrechungen und Ruckeln Filme schauen möchte, ist gut beraten, sich diese zu Hause auf sein Endgerät zu laden. Das spart Kosten und entlastet das Datenübertragungsbudget des Flugzeugs. Das „Online-Daddeln“ in Internet-Ego-Shooter-Games mit aufwendiger Grafik und einem hohen Maß an Interaktivität macht auch mit dem EAN im Flugzeug aus Bandbreite- und Latenzgründen keinen Spaß.

Die On-Board-Technik

Der Passagier soll im Flugzeug sein Wi-Fi-fähiges Endgerät genauso wie im heimischen WLAN nutzen können. Deshalb werden im Flugzeug mehrere WLAN Access Points (AP) installiert, die ein WLAN aufspannen, über das der Zugriff auf IP-basierte Internetdienste möglich ist. Die wesentlichen Komponenten im Flugzeug zeigt Bild 13. Mit dieser Ausstattung ist die latenzarme, breitbandige Anbin-



Bild 12: Während die Antennen für terrestrische LTE-Netze überwiegend horizontal ausgerichtet sind, müssen die EAN-LTE-Antennen himmelwärts zeigen.

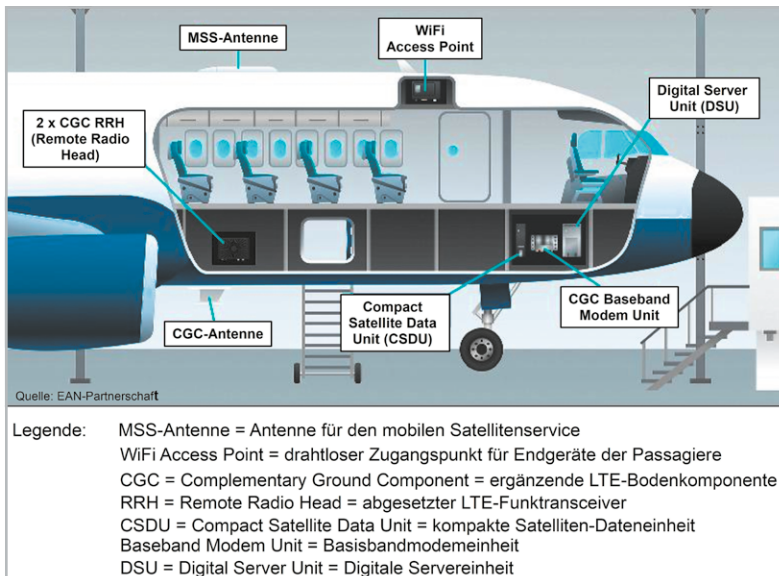


Bild 13: Die EAN-Komponenten im Flugzeug dürfen dessen Betriebskosten nicht signifikant erhöhen und beim Einbau keinen längeren Nutzungsausfall verursachen.

derung des fliegenden Anwenders an das World Wide Web in Höhen bis zu 10.000 m und Geschwindigkeiten von 1.200 km/h gesichert.

Weil die Zellen des LTE-CGN bis zu 150 km Durchmesser aufweisen können (im Gegensatz zu max. 9 km bei herkömmlichen LTE-Bodennetzen), muss die Sendeleistung der Antennen an der Unterseite des Flugzeugrumpfs (eine vor und eine hinter den Tragflächen) deutlich höher sein als die eines LTE-Mobiltelefons (max. 200 mW). Dazu steuert ein Remote Radio Head (Transceivermodul) die Flugzeugrumpfantennen mit bis zu 6 W HF-Leistung an. Zugleich kompensiert er durch einen Frequenzversatz den sende- und empfangsseitigen Dopplereffekt, der bei Fluggeschwindigkeiten von über 1.000 km/h etwa 2,5 kHz beträgt.

Für die Verbindungsabwicklung via Satellit ist auf der Oberseite des Flugzeugrumpfs eine elektronisch ausrichtbare Sende-Empfangsantenne (Phased Array) angebracht. Sowohl die Antenne für die Kommunikation mit dem Satelliten als auch die zur Verbindung mit einer EAN-LTE-Bodenstation soll natürlich so wenig Luftwiderstand wie möglich aufweisen und so leicht wie möglich sein, um Verwirbelungen zu ver-

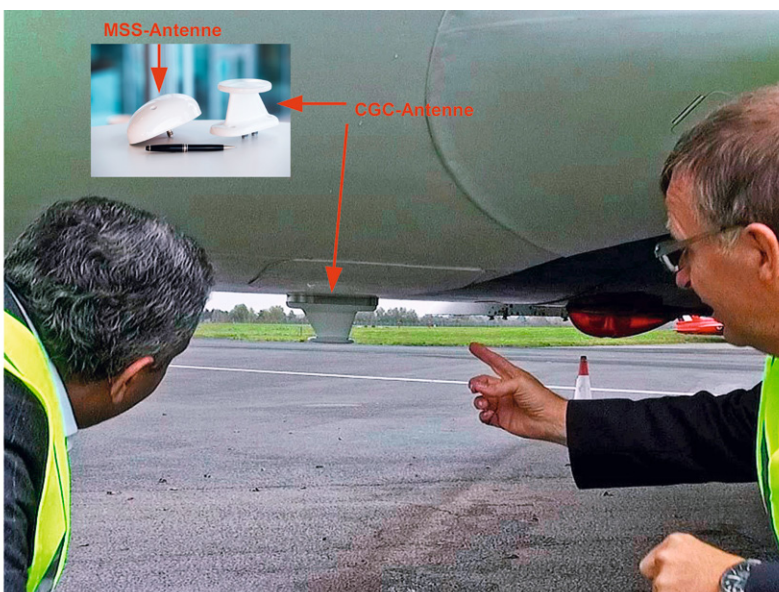


Bild 14: Kompaktheit und ein kleiner Strömungswiderstand zeichnen die EAN-Antennen am Flugzeugrumpf aus.

ringern und den Treibstoffverbrauch des Flugzeugs nicht unnötig zu steigern. Dass die Entwicklungsziele erreicht wurden, beweist Bild 14.

Bei einer Online-Presskonferenz zur Fertigstellung des EAN am 5. Februar 2018 stellten Thorsten Robrecht (Nokia Vice President Vertical Network Slices), Rolf Nafziger (Deutsche Telekom Senior Vice President International Wholesale Business) und Frederik van Essen (Inmarsat Aviation Senior Vice President) die Antennen vor (Bild 15 von links). Die erstaunlich kompakten Abmessungen werden in Relation mit den haltenden Händen deutlich.

Die kompakte und leichtgewichtige EAN-Technik an Bord eines Flugzeugs (OBE: On Board Equipment) in Gestalt weitgehend vormontierter Komponenten lässt sich durch geübte Installationsteams oft in nur einer nächtlichen Ruhepause installieren. Die Umrüstung ganzer Flotten ist damit in wenigen Monaten möglich.

Der erste Kunde für den neuen Service ist die International Consolidated Airlines Group (IAL), unter deren Dach die Fluggesellschaften British Airways, Iberia, Air Lingus, Vueling Airlines und Level mit über 100 Millionen Passagieren pro Jahr organisiert sind. Mit der Installation der On-Board-Komponenten wurde bereits begonnen. Bis Mitte 2018 soll der Service starten.

Fazit

Internet-Connectivity wird dank EAN bald zum selbstverständlichen Service bei innereuropäischen Flügen. Das flexible, hoch skalierbare Konzept erlaubt zusammen mit einer Ausweitung des verfügbaren Spektrums die schnelle Anpassung an eine wachsende Nachfrage der Fluggäste. Bei einer prognostizierten Verdoppelung der Passagierzahlen in den nächsten 15 Jahren ist dies eine wichtige Erfolgsvoraussetzung. Bis dahin werden sicher noch eine Reihe von regulatorischen und wettbewerbsrechtlichen Fragen zu klären sein, aber die technische Grundlage ist geschaffen!

ELV



Bild 15: Antennenpräsentation bei der Online-Presskonferenz zur Fertigstellung des EAN durch Vertreter von Nokia, Deutsche Telekom und Inmarsat (siehe Text)

Bildnachweis
 Bilder 2 bis 4 und 6 bis 15:
 EAN-Konsortium