GNSS-Information

GALILEO – NEWS

Als Starttermin für die nächsten beiden Galileo-Satelliten ist weiterhin der November dieses Jahres vorgesehen. Ursprünglich war der Start für Mitte des Jahres, dann für September geplant. Es handelt sich um das erste Paar der sogenannten „Batch 3"-Satelliten. Zwölf dieser Satelliten stellt die Firma OHB aus Bremen her. Alle Satelliten unterlaufen ein umfangreiches Testprogramm auf dem ESA-Gelände im niederländischen Noordwijk. Die beiden erwähnten Satelliten sollen im Oktober nach Kourou verschifft werden. Die neuen Satelliten mit den Nummern FOC FM23 und FM24 sind mit den Spitznamen Patrick (aus Großbritannien) und Shriya (aus Norwegen) versehen.

Neben dem Raumsegment arbeitet man verstärkt an der notwendigen Verbesserung des Bodensegments. Dies ist erforderlich, um die steigende Anzahl der Satelliten zu handhaben und die Anforderungen der „Full Operational Capability" (FOC) zu erfüllen. Dazu wird das „Ground Control Segment" (GCS) einer umfassenden Erneuerung unterzogen. Eines der zentralen Elemente des GCS, das „Galileo Control Centre" (GCC), soll dann in die Lage versetzt werden, die Startphase der Satelliten, die „Launch and Early Orbit Phase" (LEOP) selbst zu kontrollieren. Diese Phase beginnt unmittelbar nach der Trennung der Satelliten von der Trägerrakete und dauert mehrere Tage bis zur endgültigen Positionierung des Satelliten. Bislang war man auf die Unterstützung bestehender europäischer Kontrollzentren angewiesen. Die Weiterentwicklung des GCS wurde durch die Firma GMV durchgeführt, mit ESA und dem Servicebetreiber Spaceopal als weitere Beteiligte.

Das GCS soll letztlich in die Lage versetzt werden, deutlich mehr als 30 Satelliten zu überwachen und zu steuern, also nicht nur die jetzigen Satelliten der ersten, sondern auch die der zweiten Generation.

Wie an dieser Stelle bereits berichtet (s. avn 4/2021), hat die Europäische Raumfahrtagentur ESA die ersten beiden „Batches" der zweiten Generation von Galileo-Satelliten – auch G2G genannt – ausgeschrieben und vergeben. Ein unterlegener Mitbewerber hatte jedoch nach der Vergabe gegen die Entscheidung geklagt, wodurch das Vergabeverfahren zunächst einmal verzögert wurde. Die beiden Gewinnerfirmen Thales Alenia Space aus Italien und Airbus Defence & Space aus Deutschland werden nun jeweils sechs Satelliten herstellen; das Volumen der Kontrakte soll dem Vernehmen nach rund 1,47 Mrd. Euro betragen. Das Zeitfenster wird als relativ eng betrachtet; der Start der ersten dieser neuen Satelliten soll bereits in weniger als vier Jahren erfolgen. Die ersten Tests der G2G-Hardware, genauer der ersten Prototypen („Testbeds") der Navigationseinheiten und der Antennen, fanden bereits bei ADS in Ottobrunn und auf dem Gelände der Estec in Noordwijk in den Niederlanden statt. In der dortigen Kammer ist es sogar möglich, dank spezieller parabolischer Reflektoren, Signale zu simulieren, als kämen diese tatsächlich von den mehr als 23 000 km entfernten Galileo-Satelliten.

Zusammen mit weiteren Vergaben für das Bodensegment und die erweiterte Bahnbestimmung und Zeitsynchronisation ist die Europäische Raumfahrt also auf einem guten Weg, bis Ende 2024 die G2G-Konstellation umsetzen zu können.

EGNOS – NEWS

Eine neue Version der sogenannten Egnos Service Implementation Roadmaps wurde im Juli veröffentlicht. Die Roadmaps geben, für jeden Dienst separat, einen Überblick über die in den kommenden Jahren zu erwartenden Fortschritte der zentralen Egnos-Dienste, also Offener Dienst (OS), Datenzugriffsdienst (Edas) und Safety-of-Life (SoL). Die neue Version 5.0 enthält beispielsweise die Beschreibung neuer Stationen in der Ukraine und in Finnland, was den Bereich für Egnos nach Osten erweitert, oder die Optimierung bestimmter Algorithmen zur Verbesserung der Robustheit gegenüber spezifischen Ereignissen. Mit einer entsprechenden Nutzerregistrierung kann man sich die Dokumente von der Seite https://egnos-user-support.essp-sas.eu herunterladen.

Ebenfalls bekannt gegeben wurde der Abschluss eines Kontrakts zur Entwicklung einer neuen Egnos-Version durch die Firma Thales Alenia Space. Kern dieser neuen Version soll eine neue Uplink-Station werden, mit der eine größere Zahl von geostationären Satelliten im System gesteuert werden kann. Zudem soll diese Station Zweifrequenz- und Mehrkonstellationssignale, also neben GPS auch Galileo, verwenden können.

ZUGSICHERUNG

In Ausgabe 2/2021 hatten wir bereits über das künftige „European Train Control System" (ETCS) berichtet. Wie wichtig eine genaue und ausfallsichere Zugpositionierung zu jeder Zeit ist, hat man Ende Juli beim Zugunglück in Tschechien in der Nähe der deutschen Grenze gesehen. Die betroffene Strecke war anscheinend noch nicht mit einem modernen Sicherungssystem ausgestattet. Das EU-Parlament hat im August nachdrücklich die rasche, europaweite satellitenbasierte Lokalisierung im Eisenbahnsignalwesen gefordert (https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0327_EN.pdf). Das ETCS soll dabei das zentrale Element des „European Rail Traffic Management Systems" (ERTMS) werden. Die europäische GNSS-Behörde Euspa unterstützt dieses umfangreiche Vorhaben unter anderem durch Ausschreibungen im Rahmen von Horizon 2020. Das Projekt „Certifiable Localisation Unit with GNSS in the railway environment" (Clug) beispielsweise dient der Schaffung der Voraussetzungen einer Lokalisierung mit GNSS, die zwischen den verschiedenen europäischen Bahnanbietern interoperabel sein soll. Das EU-Parlament sieht durch den Einsatz von (augmentiertem) GNSS einen wesentlichen Faktor zur Kostenersparnis und fordert von den Beteiligten, u. a. der Bahnindustrie,

den Eigentümern der Infrastruktur und den Bahnbetreibern, aber auch von der EU-Kommission sowie der Europäischen Bahnagentur (European Railway Agency – ERA), verstärkte Anstrengungen in der Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen und der technischen Umsetzung der GNSS-Nutzung für das ERTMS. Man sieht insbesondere für regionale Linien die Möglichkeit, kostengünstigere Sicherungssysteme zu etablieren.

GNSS – REFLEKTOMETRIE

Mit der zunehmenden Verwendung von Kleinsatelliten gibt es neue Möglichkeiten zur GNSS-Reflektometrie (GNSS-R). GNSS-R nutzt die von der Erd- und Meeresoberfläche reflektierten GNSS-Signale zur Messung von Windstärke, Überflutung, Schnee- oder Eisbedeckung, Vegetation, Bodenfeuchte, Regenfall, Temperatur, Druck und weiteren Parametern. Wie mehrfach berichtet, liefert GNSS-R mit seiner globalen Abdeckung wertvolle Beiträge zur Wettervorhersage und zu Klimamodellen.

Ein Spin-off der Nasa, GeoOptics, hat nun begonnen, ein Beobachtungssystem aus bis zu 36 Kleinsatelliten als Ergänzung und Erweiterung von Cicero – „Community Initiative for Cellular Earth Remote Observation" – mit bisher zwei Cube-Sats aufzubauen. Cicero-Satelliten basieren auf den standardisierten Plattformen der kalifornischen Firma Tyvak Nano-Satellite Systems, Inc. Dank der Nutzung der allerneuesten Technologien war es möglich, die bisher in größeren Erdbeobachtungssatelliten implementierte Technik mit einer wesentlich kleineren und effizienteren Nutzlast aufzubauen. Die mit Cicero-2 implementierte Reflektometrie, in Ergänzung zu der von Thomas Yunck am Jet Propulsion Laboratory der Nasa in den 1990er-Jahren entwickelten Radiookkultation in den beiden verfügbaren Satelliten, wird die Menge und Qualität der Erdbeobachtungsdaten wesentlich erweitern. GeoOptics, zusammen mit den Kooperationspartnern der Nasa und der US-Luftwaffe, hat sich verpflichtet, alle Daten nahezu in Echtzeit für Forschungsprojekte kostenlos zur Verfügung zu stellen. Die kommerzielle Seite wird mit Einnahmen der Wetterdienste und weiterer kommerzieller Abnehmer der Daten abgedeckt.

Die Cicero-2-Multi-Parameter-Echtzeitdienste werden damit wesentlich zur Erfassung und Modellierung des Klimawandels beitragen. In Kooperation mit der Nasa sollen mittelfristig auch weitere Sensoren entwickelt und in Nanosatelliten implementiert werden. Der nächste große Entwicklungssprung soll die Messung der Schwerefeldvariationen der Erde werden. In Ergänzung oder in der Nachfolge der zurzeit aktiven Grace-2-Satelliten von GFZ und JPL werden dann auch die Massenvariationen in Erde, Ozean und Eis erfasst werden können. Weitere bahnbrechende Pläne auf Basis der miniaturisierten neuen Fernerkundungstechnologien sind Radarsensoren zur vektoriellen Messung der Ozeanwinde, der Topographie, der Bodenfeuchte und weiterer Oberflächendaten mit Multi-Satellite-Radarverfahren.

ESA SCOUT – KLEINSATELLITEN

Auch die ESA ist mit der Erweiterung der Erdbeobachtung über die Sentinel-Satelliten hinaus befasst. Der 40 kg schwere HydroGNSS-Satellit der britischen Fa. Surrey Satellite Technology Ltd. (SSTL) ist als zweite „Scout Earth Observation small satellite mission" ausgewählt worden. Er folgt dem 2020 gewählten ersten Scout-Satelliten ESP-Maccs, der die Prozesse der oberen Atmosphäre erfassen soll. Die Scout-Missionen sollen demonstrieren, dass mit relativ geringen Budgets von weniger als 30 Millionen Euro und einem Zeithorizont von wenigen Jahren essenzielle Beiträge zur Erdbeobachtung geleistet werden können.

HydroGNSS wird im Gegensatz zu den bisherigen Großsatelliten auch die GNSS-Reflektometrie nutzen. Neuerungen sind dabei die Nutzung von Galileo-Signalen, duale Polarisation, Zweifrequenzmessungen und die Rekonstruktion von kohärent reflektierten Signalkomponenten. Damit sollen verbesserte Trennung, Auflösung und Qualität der gemessenen Klimavariablen erhalten werden. Partner von SSTL sind u. a. Sapienza, Tor Vergata und Ifac-CNR in Italien; FMI in Finnland; IEC/IEEC in Spanien sowie NOC und die University of Nottingham im Vereinigten Königreich. Laut ESA sollen die ersten Daten schon in 2024 erhalten werden.

REKONFIGURIERBARER SATELLIT

Ist ein Satellit erst einmal gestartet und in Betrieb genommen, kann er üblicherweise nur für die vorgesehene Funktion verwendet werden. Er ist sozusagen „maßgeschneidert". Wenn sich spezielles Instrumentarium an Bord befindet, beispielsweise zur Vermessung oder Erfassung bestimmter Umweltparameter, ist der Einsatzzweck eindeutig vorgegeben. Es lassen sich jedoch auch Anwendungen denken, bei denen es wünschenswert wäre, einen bereits im Orbit befindlichen Satelliten für eine andere Funktion einzusetzen. Nun wurde mit einer Ariane-5-Rakete der „Eutelsat Quantum"-Satellit gestartet und in eine geostationäre Bahn gebracht. Dieser Satellit soll nach Angaben der ESA, die auch an dem Projekt beteiligt ist, komplett reprogrammierbar sein. Die Leistung, die Reichweite und auch die abgedeckte Region sollen veränderbar, ebenso seine Kommunikationskapazitäten flexibel einsetzbar sein. Der Satellit soll eine Lebensdauer von 15 Jahren haben – genug Zeit also, um zu erfahren, ob und wie oft der Satellit dann tatsächlich an veränderte Gegebenheiten angepasst wurde.

GPS-M-CODE FÜR DEUTSCHLAND

Die Bundesrepublik Deutschland hat im Rahmen eines „Foreign Military Sales"-Vertrags neue militärische M-Code-Empfänger beschafft. Die US-Firma BAE Systems, Inc. stellt dieses „M-Code Military GPS User Equipment" (MGUE) im Auftrag des „Space and Missile Systems Center's Space Production Corps" für die Lieferung nach Deutschland her. Die Empfänger sind die neueste Generation von kompakten hochgenauen Geräten für die Bodentruppen. Sie erfüllen besondere Anforderungen an verschlüsselte, robuste und gegen Spoofing und Jamming geschützte Positionierung. Die ersten

Geräte sollen noch in diesem Jahr zum Testen und zur Integration in die Ausrüstung der Bundeswehr geliefert werden. Die von Deutschland bestellten Empfänger sollen die Einfrequenz-„Precision Lightweight GPS Receiver“ (PLGR-Empfänger) sein. Nach Kanada ist Deutschland dem Vernehmen nach erst das zweite Land außerhalb der USA, das diese M-Code-Empfänger erhalten wird.

Mit dem im Juni mit vorgezogenem Termin gestarteten fünften GPS-III-Satelliten SV-05 strahlen nun 24 Satelliten den modernisierten verschlüsselten M-Code ab. Es ist ein Schritt auf dem Weg zur globalen Abdeckung mit diesem Signal. Die volle Operationalität wird erst im dritten Quartal 2023 erreicht werden, da auch das Bodensegment entsprechend aufgerüstet werden muss. Allerdings soll schon im nächsten Jahr die sogenannte „Initial Operational Capability“ erreicht werden. Damit können zumindest alle Funktionen und Geräte getestet und erprobt werden. Ab 2023 werden dann Bodensegment, Nutzersegment und Raumsegment die volle Operationalität gewährleisten.

HOCHGENAUE JOD-UHREN FÜR GALILEO

Quantentechnologien erreichen mehr und mehr die Anwendungsphase. In Deutschland arbeiten mehrere Institute an der Weiterentwicklung dieser Technologie, bekannt sind vor allem die neuesten Ergebnisse hinsichtlich der Quantencomputer. Das am DLR 2019 gegründete Galileo-Kompetenzzentrum arbeitet im Rahmen seiner Aufgabe der Weiterentwicklung des Satellitennavigationssystems Galileo an der Nutzung von Jod-Laseruhren für die nächste Generation der Galileo-Satelliten. Die Jod-Laseruhren wurden vom Institut für Quantentechnologien des DLR in Ulm entwickelt. Diese optischen Atomuhren sind um Größenordnungen genauer als die bisher verwendeten Wasserstoff-Maser. Im vom Galileo-Kompetenzzentrum geführten Projekt Compasso sollen die Jod-Laseruhren für den Einsatz im Weltraum qualifiziert werden. Anforderungen sind eine geringe Größe, Robustheit und Langlebigkeit. Im Hinblick auf die nächste Galileo-Generation spielen auch Laserterminals zur Datenübertragung, die Synchronisierung der Satellitenuhren und hochpräzise Entfernungsmessungen eine Rolle.

Weitere beteiligte DLR-Institute sind das Institut für Softwaretechnologie, das die Betriebssoftware liefert, und der DLR-Raumflugbetrieb, der die Vorbereitung und Durchführung des Gesamtbetriebs unterstützt und übernimmt. Weiterhin spielt das Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik in Hannover eine bedeutende Rolle bei den terrestrischen und raumfahrtbasierten Quanteninnovationen.

Eine weitere Komponente wird im Projekt „Robust Precise Timing Facility“ (RPTF) des Galileo-Kompetenzzentrums untersucht. Hier werden die für den Galileo-Betrieb notwendigen Bodensysteme zur genaueren Zeitverteilung für das Navigationssystem entwickelt.

HALI IN BERLIN

Einsatzfahrzeuge der Polizei, der Feuerwehr und der Rettungsdienste verfügen dank „Martinshorn“ und Signallampen („Blaulicht“) über Mittel, im Straßenverkehr ihren Bevorzugungswunsch kundzutun. Im Stadtgebiet bleiben die Fahrzeuge jedoch häufig an „auf rot“ stehenden Ampeln im stehenden Verkehr stecken. Gelänge es, die Ampeln entlang der Einsatzroute so zu steuern, dass sie für die Einsatzfahrzeuge rechtzeitig „auf grün“ geschaltet werden, könnte das ihre Fahrt erheblich flüssiger gestalten.

In Berlin wurde nun ein Projekt vorgestellt, bei dem einige Einsatzfahrzeuge und mehrere Lichtzeichenanlagen mit einer speziellen Kommunikation und Ampelsteuerung ausgestattet wurden. Die Routen der Fahrzeuge im Einsatz werden mit einem gewissen Vorlauf gemeldet, sodass auch mehrere Ampeln hintereinander entsprechend geschaltet werden können. Nun sind Vorrangschaltungen für bestimmte Verkehrsteilnehmer grundsätzlich nichts Neues. Diese scheinen bislang mit Funksteuerung zu funktionieren. Bemerkenswert ist, dass für das eingesetzte GNSS der Galileo Public Regulated Service (PRS) verwendet wird. Durch den Einsatz dieses störungssicheren GNSS-Dienstes werden zugleich die Manipulationsmöglichkeiten reduziert. Auch wenn die Zahl der Fahrzeuge mit fünf und die Zahl der Ampeln mit acht noch überschaubar ist, kann das System für die am häufigsten genutzten Einsatzrouten wertvollen Zeitgewinn bedeuten. Allerdings erfordert ein möglicher operationeller Einsatz von PRS für derartige Zwecke eine deutliche Miniaturisierung der PRS-Empfänger. Der Name „HALI“ leitet sich aus dem finnischen ab; in der dortigen Variante kam jedoch noch GNSS mit offenen Diensten zum Einsatz.

KARTE VON KORREKTURDATENDIENSTEN

Das Europäische GNSS Service-Center der Euspa hat Anfang September 2021 eine Karte von GNSS-Korrekturdatendiensten veröffentlicht. Die interaktive Karte zeigt für die ganze Welt, welche Dienste in den jeweiligen Ländern verfügbar sind. Nach einem Klick zeigt eine Tabelle den Provider-Namen, die Art des Dienstes (RTK, PPP, VRS etc.) und die Abdeckung. Alle aufgeführten Provider unterstützen Galileo – deshalb mögen Interessierte den einen oder anderen bekannten Dienst vermissen. Je nach Art des Dienstes und der Nutzerhardware können so Meter- bis Zentimeter-genaue Positionierungen erreicht werden. Je nach Anwendung kann man aus der Tabelle den am besten geeigneten Dienst auswählen. Die Webadresse der Karte ist: https://www.gsc-europa.eu/gnss-market-applications/augmentation-providers-map.

FUGRO SPACESTAR PPP IN SPACE

Seit Ende Juni erlaubt der Dienst „SpaceStar GNSS Precise Point Positioning (PPP) Service“ der niederländischen Firma Fugro die hochgenaue Positionierung für Erdsatelliten. SpaceStar nutzt die präzise Punktpositionierung PPP mit der Übertragung von Orbit- und Uhrkorrekturdaten via geostationären Satelliten, um dezimetergenau in Echtzeit zu positionieren. Als erster Satellit nutzt YAM-2, ein Low Earth Orbiter der Firma LoftOrbital, die hochgenaue Positionierung. Der Kleinsatellit der YAM-Serie fliegt in einem sonnensynchronen Orbit in 525 km Höhe und wurde im Juni gestartet.

In Anbetracht der zunehmenden Zahl von Kleinsatelliten mit dem dafür notwendigen Management und den vielfältigen Erdbeobachtungsmissionen mit Kleinsatelliten kommt diesem Dienst eine große

Bedeutung zu. Man denke auch nur an die immer wichtiger werdende Notwendigkeit der Vermeidung von Zusammenstößen mit Weltraummüll und Manöver zum Andocken an andere Satelliten zur Inspektion. Auch für die Außerbetriebnahme, kontrollierte Abstürze nach Ende der Lebensdauer, ist die Positionierung nötig. Mit dem SpaceStar-Dienst haben nun auch Betreiber von Kleinsatelliten die notwendige Technik zur Überwachung und Sicherheit ihrer Satelliten. Fugro ist ein seit Langem im marinen Bereich erfolgreicher Korrekturdatenprovider. Die Kooperation in dieser Mission zum Nachweis der Leistungsfähigkeit soll die Navigation im Orbit demonstrieren und fördern.

COTS GNSS FÜR CUBESATS

Die ESA unterstützt mit ihrem „General Support Technology Programme“ (GSTP) die Entwicklung von GNSS-Hardware. Insbesondere die Nutzung von günstigen, kommerziell verfügbaren Komponenten („low-cost, commercial off-the-shelf“ (Cots)) ist ein Thema. Ein Ergebnis dieser Förderung wird derzeit von der rumänischen Firma „Romanian InSpace Engineering“ (Rise) entwickelt. Es handelt sich um einen Cots-basierten PPP-fähigen GNSS-Empfänger für Kleinsatelliten mit Namen Orbfix. Als Mehrfrequenz- und Multi-Konstellationsempfänger soll er eine Genauigkeit von besser als 10 Zentimeter bei niedrigfliegenden Satelliten erreichen. Besondere Eigenschaften seines Designs sind geringe Größe, geringe Leistungsaufnahme und geringe Kosten.

Raumfahrttaugliche GNSS-Empfänger für Satelliten gibt es schon seit einigen Jahren, jedoch gibt es durch die zunehmende Zahl von Missionen und Konstellationen einen wesentlich größeren Bedarf an solchen günstigen, kleinen und genaueren Empfängern zu Positionierung, Geschwindigkeitsschätzung und Zeithaltung. Der Orbfix-Receiver wird nun den Tests zur Qualifizierung für Raumflüge unterworfen. Vakuumkammer, Stratosphärenballon, GNSS-Simulatoren werden dafür eingesetzt. Die Software benutzt Algorithmen zur Positionierung mit künstlichen neuralen Netzen mit geringer Leistungsaufnahme. Damit wird der Weg für die Zertifizierung geebnet.

GNSS-KORREKTUREN FÜR AFRIKA

GNSS-Korrekturdienste ermöglichen eine erhebliche Genauigkeitssteigerung in der Positionierung von einigen Metern hinunter zu Dezimetern, wenn nicht gar Zentimetern. In vielen Fällen werden die Korrekturparameter über das Internet übertragen. Dies steht jedoch nicht überall zur Verfügung und so ist die Aussendung der Korrekturparameter über Satelliten eine Alternative. Im Allgemeinen werden die Signale über das L-Band geostationärer Satelliten abgestrahlt. Einer dieser geostationären Satelliten ist der nigerianische Nigcomsat-1R. Er wurde in China gebaut und 2011 mit einer chinesischen Trägerrakete gestartet, als baugleicher Nachfolger von Nigcomsat-1, der 2007 gestartet und 2008 aufgrund defekter Sonnensegel aus dem Dienst genommen wurde. Die französische Firma Geoflex demonstrierte unlängst erfolgreich die Verwendung ihrer Korrekturen in der Republik Kongo. Im Fußballstadion der Hauptstadt Brazzaville wurde mittels GPS- und Galileo-Zweifrequenzbeobachtungen und den eigenen Korrekturen, die es seit 2018 gibt, eine Positionierung mit einer Genauigkeit von einigen Zentimetern erreicht. Der Test wurde unter anderem durch die französische Raumfahrtagentur CNES, die bereits seit vielen Jahren an der Entwicklung der PPP-Korrekturtechnologie arbeitet, durch Thales Alenia Space aus Frankreich, durch den Satellitenbetreiber Nigerian Communications Satellite Ltd. und durch Asecna unterstützt, die „Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar“. Wie der Name schon sagt, ist Asecna in erster Linie an einer Verbesserung der Navigation im Luftraum über Afrika und dem indischen Ozean interessiert und ist in die Implementierung eines Satellitenaugmentierungssystems (SBAS) für Afrika involviert (wir berichteten, s. avn 2/2021).

Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
INSTITUT FÜR GEODÄSIE

Franziska-Braun-Straße 7 | 64287 Darmstadt
becker@psg.tu-darmstadt.de

Dr.-Ing. Wolfgang Söhne

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE
UND GEODÄSIE

Richard-Strauss-Allee 11 | 60598 Frankfurt am Main
wolfgang.soehne@bkg.bund.de