

## KOMPASSION

### Compact adaptive terminal antenna for interference-free satellite navigation



Unmanned flying vehicles such as quadcopters are being used ever more. Long-discussed fields of application for this new technology are catastrophe relief services or the autonomous transport of such urgently required goods as donated organs. However, although there has been enormous progress in their development over recent years, these aircraft have not so far been used for safety-critical scenarios. Autonomous movement, it must be remembered, requires absolutely precise navigation.

The challenges, especially those relating to interference mitigation, cannot be met by commercially available satnav receivers, which are subject to errors in or even loss of location signals if the reception conditions are less than ideal. Such conditions arise particularly in urban and built-up areas with many high buildings and other objects which will reflect the signals being emitted by the GPS and Galileo satellites. If large numbers of these reflections overlap at the receiver, processing errors may result. Also, sa-

Project team members from Ilmenau University of Technology RF and Microwave Research Laboratory and from IMMS prepare to take measurements of interference suppression in the University IT Institute's anechoic chamber. Photograph: IMMS.

tellite signals are weakly powered and are thus easily jammed by other radio services. Not only deliberate and conscious jamming but also the coexistence of various different communications and navigations systems may affect the reception. There is an example to be seen in the aerospace field. The strong transmissions from classic airport landing support systems interfere with the signals of satellite-based navigation systems. As a consequence, the use of satellite-based navigation for autonomous landing at airports has not so far been possible.

A suitable method of effectively suppressing interference or multipath signals, has proved to be shared use of multiple antennas as group antennas which have customised electronics and algorithms to permit

the adaptive shaping and controlling of the signal beams. Like the human ear, group antennas with signal analysis as a second stage can detect interfering signals together with the direction from which they come and block them out. The distance between the individual antennas will usually be approximately half the wavelength of the signals to be received. A group antenna of this kind is thus naturally much larger than a navigation antenna which consists of a single element. For instance, the edge of a square array with four individual emitters will be about 30 cm long. The size and weight of the receiver have thus often prevented the use of group antennas on mobile platforms.

The "KOMPASSION" project sees IMMS in cooperation with a number of partners developing new designs, technology and algorithms to

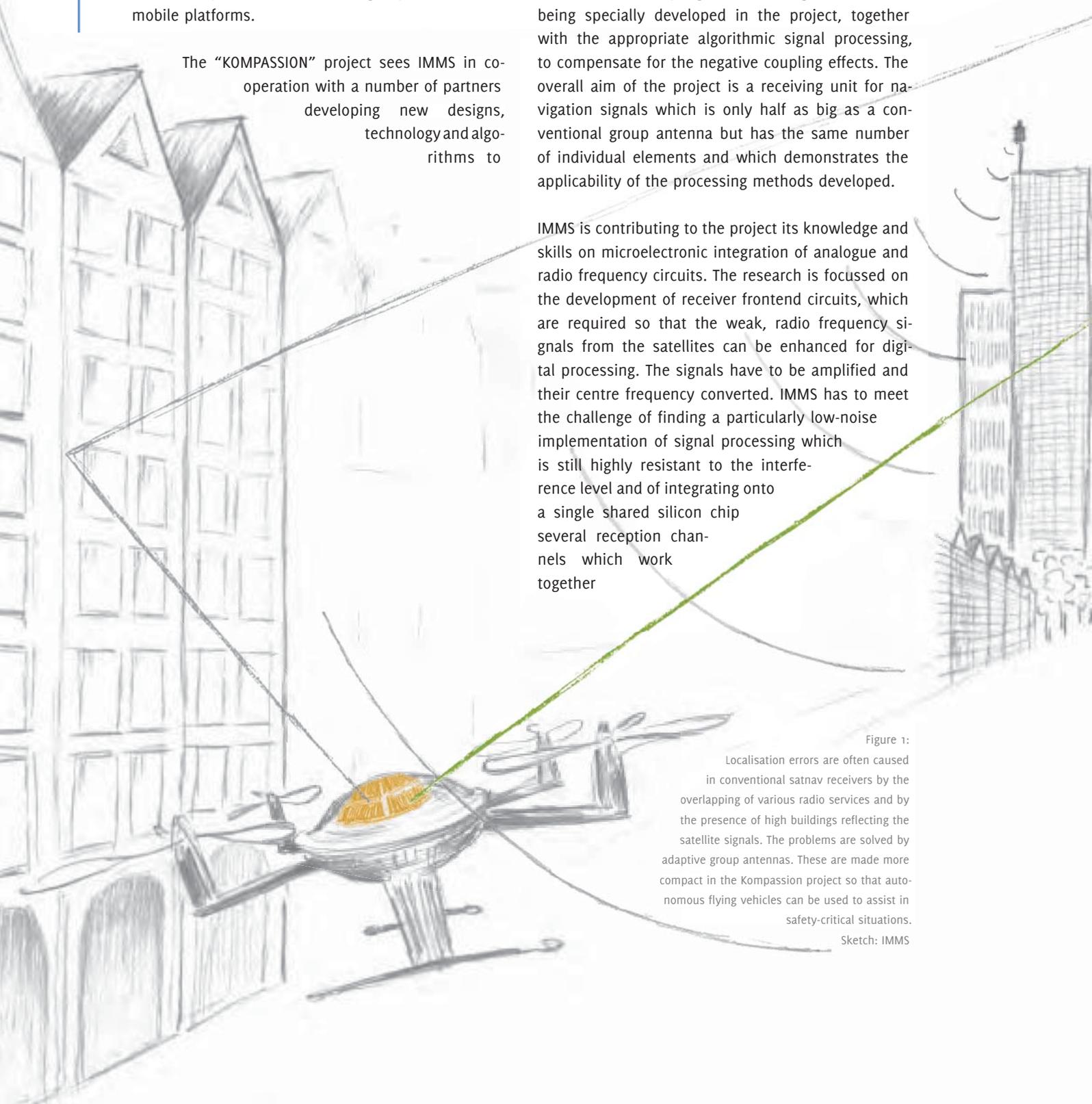
assist in the manufacture of group antennas distinguished by their compactness. The German Aerospace Centre is in the coordinator role. The other partners are the RF and Microwave Research Laboratory at Ilmenau University of Technology and the Chair of Electrical Engineering and Computer Systems at RWTH Aachen University. To achieve the smaller antennas, the distances between the individual elements have to be reduced. If they are less than half a wavelength apart, the coupling of the individual antennas rises steeply, so that the group antenna loses more and more of its directional sensitivity and thus of its effectiveness. Decoupling and matching networks are being specially developed in the project, together with the appropriate algorithmic signal processing, to compensate for the negative coupling effects. The overall aim of the project is a receiving unit for navigation signals which is only half as big as a conventional group antenna but has the same number of individual elements and which demonstrates the applicability of the processing methods developed.

IMMS is contributing to the project its knowledge and skills on microelectronic integration of analogue and radio frequency circuits. The research is focussed on the development of receiver frontend circuits, which are required so that the weak, radio frequency signals from the satellites can be enhanced for digital processing. The signals have to be amplified and their centre frequency converted. IMMS has to meet the challenge of finding a particularly low-noise implementation of signal processing which is still highly resistant to the interference level and of integrating onto a single shared silicon chip several reception channels which work together

Figure 1:

Localisation errors are often caused in conventional satnav receivers by the overlapping of various radio services and by the presence of high buildings reflecting the satellite signals. The problems are solved by adaptive group antennas. These are made more compact in the Kompassion project so that autonomous flying vehicles can be used to assist in safety-critical situations.

Sketch: IMMS



coherently. The frontend is thus the link between the group antenna and the digital processing electronics (in which the algorithms for interference suppression are implemented). Currently, there is no commercial solution available which is capable of meeting the requirements for compactness and for adaptation to the system as a whole. It is therefore IMMS' intention to develop in successive stages a frontend chip and the various peripherals ready for a demonstrator. The circuit diagram of the receiver IC is to be seen in Figure 2. IMMS has elaborated this architecture with the project partners, agreed the conditions and developed the circuit concept on the basis shown. In contrast to commercially available chips, this unit has four decoupled reception paths on a single shared IC. The degree of interference and noise resistance demanded has received particular attention. To ensure coherence among the four paths, all four are driven by a shared frequency synthesizer which is also located on the chip. It will be possible to calibrate the critical components via a digital interface so as to cope with the manufacturing tolerances necessitated by the technology.

IMMS has designed two test chips so far and has subjected them to measurement. Most of the testing was carried out in the Institute itself. The noise measurements on the naked chip were of great interest as far as the continuing progress of the project is concerned. It was possible for us to draw on the long experience of IMMS with characterisation methods for RF circuits and RF technology itself.

The Ilmenau TU RF and Microwave Research Laboratory has particular skills and equipment for the characterisation of antenna systems shortly before practical application. The receiver system is being tested in the context of the Institute's very close cooperation with the Laboratory, whose head is Professor Matthias Hein. The tests in the anechoic chamber involve real satellite and interference signals and realistic conditions of use. The Laboratory also has state-of-the-art noise measuring equipment that establishes the noise parameters for the whole boards on which

the newly developed frontend chips are installed. The investigations carried out so far have confirmed the initial theory. The results have been jointly published with the project partners.<sup>1</sup>

The frontend chip developed by IMMS achieves the high performance required, particularly in respect of noise and interference resistance. Further refinements to the system definition are to be implemented in the frontend by mid-2013 and it will be tested as an element of the demonstrator system. The system will be implemented as a 2 x 2 group antenna, reduced to half the size of conventional types. The project will be concluded with a final test in GATE (the Galileo Test Environment) at Berchtesgaden.

Funding for the project has come from the Space Agency of the German Aerospace Centre, using resources (reference 50 NA 1009) from BMWi, the federal German ministry of economics and technology, as decreed by the federal German parliament.

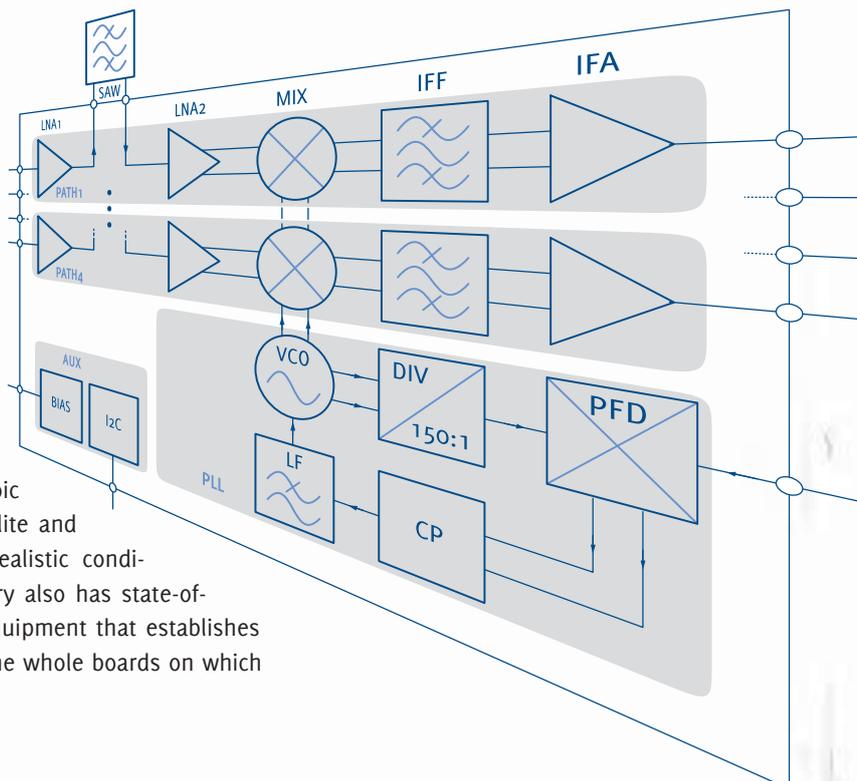
**Contact:**

Eric Schäfer, M.Sc., [eric.schaefer@imms.de](mailto:eric.schaefer@imms.de)

**Bibliography:**

<sup>1</sup> IMMS published several papers in 2012 on this subject – cf. no. 4, 17, 24 and 55 in the publications list, p. 49ff.

Figure 2: Circuit diagram, receiver IC. Schematic diagram: IMMS.



## KOMPASSION

### Kompakte adaptive Terminalantenne zur störungsfreien Satellitennavigation



Der Einsatz von unbemannten Fluggeräten, wie Quadcopter, nimmt immer stärker zu. Katastrophenrettung oder autonomer Transport von eiligen Gütern, wie beispielsweise Spenderorgane, sind seit langem diskutierte Anwendungsfelder dieser neuen Technologie. Obwohl die Entwicklung in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht hat, werden solche unbemannten Fluggeräte bisher für sicherheitskritische Szenarien nicht verwendet, denn für eine autonome Fortbewegung ist eine absolut genaue Navigation unabdingbar. Die hohen Anforderungen, insbesondere in Bezug auf die Störsicherheit, lassen sich mit handelsüblichen Satellitennavigationsempfängern nicht erfüllen. Mit diesen kann es zu Ortungsfehlern oder gar -abbrüchen durch nichtideale Empfangsbedingungen kommen. Diese treten vor allem in urbanen und stark bebauten Umgebungen mit vielen hohen Gebäuden und anderen Objekten auf, welche die von den GPS- und Galileo-Satelliten ausgesandten Signale reflektieren. Überlagern sich viele dieser Reflexionen am Empfänger, kann es zu Fehlern bei der Auswertung kommen. Zudem haben Satellitensignale eine geringe Leistung und können daher leicht von anderen Funkdiensten überlagert werden. Neben der bewussten Beeinträchtigung durch Störsender können

Projektmitarbeiter des Fachgebiets Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der Technischen Universität Ilmenau und des IMMS bereiten Messungen der Störunterdrückung im Antennenmesslabor des Instituts für Informationstechnik der Technischen Universität Ilmenau vor. Foto: IMMS.

koexistente Kommunikations- und Navigationssysteme den Empfang beeinflussen. Ein Beispiel lässt sich in der Luft- und Raumfahrt finden. Die starken Aussendungen von klassischen Assistenzsystemen für den Landeanflug von Flughäfen interferieren mit den Signalen satellitengestützter Navigationssysteme. Dieser Umstand verhindert bisher den Einsatz von satellitengestützten Navigationssystemen zur autonomen Landung an Flughäfen.

Um Störsignale und Mehrwegeempfang effektiv zu unterdrücken, hat sich besonders der gemeinsame Einsatz von mehreren Antennen (Gruppenantennen) in Verbindung mit angepasster Elektronik und Algorithmen zur adaptiven Strahlformung und -steuerung als geeignet erwiesen. Ähnlich wie unsere Ohren können Gruppenantennen mit einer nachfolgenden Signalauswertung Störsignale und deren Herkunftsrichtung ausmachen und ausblenden. Der Abstand zwischen den Einzelantennen entspricht üblicherweise etwa der halben Wellenlänge der Empfangssignale. Eine derartige Gruppenantenne ist daher naturgemäß

deutlich größer als eine Navigationsantenne, die lediglich aus einem Einzelement besteht. So hat z. B. ein quadratisches Array mit vier Einzelstrahlern bereits eine Kantenlänge von etwa 30 cm. Bisher verhindern Größe und Gewicht der Empfangseinheit oft den Einsatz von Gruppenantennen auf mobilen Plattformen.

Im Projekt „Kompakte adaptive Terminalantenne zur störungsfreien Satellitennavigation“ (KOMPASSION) erforscht das IMMS gemeinsam mit dem Institut für Kommunikation und Navigation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt als Koordinator, dem Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der Technischen Universität Ilmenau und dem Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Datenverarbeitungssysteme der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen neue Kon-

zepte, Technologien und Algorithmen zur Herstellung kompakter Gruppenantennen. Für solche kleinen Antennen müssen die Abstände der Einzelemente verringert werden. Sind diese weniger als eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt, so steigt die Verkopplung der einzelnen Antennen stark an, die Gruppenantenne verliert zunehmend ihre Richtungsempfindlichkeit und damit ihren Zweck. Spezielle, im Projekt entwickelte Entkoppel- und Anpassnetzwerke und eine angepasste algorithmische Signalverarbeitung kompensieren die negativen Effekte der Verkopplung. Projektergebnis soll eine Empfangseinheit für Navigationssignale sein, die nur halb so groß ist wie eine konventionelle Gruppenantenne mit gleicher Anzahl an Einzelementen und die die Anwendbarkeit der entwickelten Verfahren demonstriert.

Das IMMS bringt seine Kompetenzen zur mikroelektronischen Integration von Analog- und Hochfrequenzschaltungen in das Projekt ein. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Entwicklung von Empfänger-Frontend-Schaltungen. Diese sind nötig, um die schwachen und hochfrequenten Satellitensignale so aufzubereiten, dass sie digital weiterverarbeitet werden können. Die Signale müssen dafür verstärkt und in ihrer Frequenzlage umgesetzt werden. Neben einer besonders rauscharmen, aber Störpegel-robusten Signalverarbeitung liegt die Herausforderung in der Integration von mehreren kohärent-arbeitenden Empfangskanälen auf einem gemeinsamen Siliziumchip. Das Frontend bildet damit das Bindeglied zwischen der Gruppenantenne und der digitalen Auswertelektronik, auf der die Algorithmen zur Störunterdrückung implementiert sind. Eine kommerzielle Lösung, die die Anfor-

Bild 1:  
Ortungsfehler handelsüblicher Satellitennavigationsempfänger werden oft durch die Überlagerung mit anderen Funkdiensten und durch hohe Gebäude verursacht, die die Satellitensignale reflektieren. Adaptive Gruppenantennen lösen diese Probleme. Sie werden im Projekt „KOMPASSION“ für kleine Mobilgeräte kompakter gemacht und damit sicherheitskritische Szenarien mit autonomen Fluggeräten ermöglichen.  
Grafik: IMMS.

derungen bezüglich Kompaktheit und Anpassung auf das Gesamtsystem erfüllt, ist derzeit nicht verfügbar. In mehreren Entwicklungsschritten sollen daher für den Demonstrator ein Frontend-Chip sowie die dazugehörige Peripherie entwickelt werden.

In Abbildung 2 ist das Blockschaltbild des Empfänger-ICs dargestellt. Dessen Architektur hat das IMMS mit den Projektpartnern diskutiert, Bedingungen festgelegt und das Schaltungskonzept auf dieser Basis entwickelt. Im Gegensatz zu kommerziell verfügbaren Chips werden hier vier entkoppelte Empfangspfade auf einem gemeinsamen IC verwendet. Besonders viel Wert wurde auf die anspruchsvollen Eigenschaften bezüglich Störfestigkeit und Rauschen gelegt. Um die Kohärenz zwischen den vier Pfaden zu sichern, werden diese mit einem gemeinsamen, ebenfalls auf dem Chip befindlichen Frequenz-Synthesizer betrieben. Die kritischen Komponenten sind über eine digitale Schnittstelle kalibrierbar, um die technologiebedingten Fertigungstoleranzen auszugleichen.

Das IMMS hat bisher zwei Testchips entworfen und vermessen. Der größte Teil der Tests erfolgte im eigenen Haus. Insbesondere die Rauschmessungen am ungehäuteten Chip waren für den weiteren Fortschritt des Projektes von großem Interesse. Wir konnten hier auf die langjährige Erfahrung mit Charakterisierungsmethoden von Hochfrequenz-Schaltungen und die Technik im Institut zurückgreifen.

Das Fachgebiet für Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik verfügt über besondere Kompetenzen und Ausstattung zur anwendungsnahen Charakterisierung von Antennensystemen. Im Rahmen der intensiven Zusammenarbeit mit dem oben genannten Fachgebiet um Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Matthias Hein wird das Empfangssystem in dessen Antennenmesslabor mit echten Satelliten- und Störsignalen unter realistischen Bedingungen getestet. Weiterhin betreibt dieses Fachgebiet einen Rauschmessplatz der neuesten Generation, mit dem die Rauschparameter der Gesamtplatinen bestimmt werden, auf denen die entwickelten Frontend-Chips aufgebaut sind. Die bisher durchgeführten Untersuchungen bestätigen

die theoretischen Ansätze. Die Ergebnisse wurden gemeinsam mit den Projektpartnern veröffentlicht.<sup>1</sup>

Das vom IMMS entwickelte Frontend erreicht die geforderten Werte, insbesondere können die hohen Anforderungen bezüglich Rauschen und Störfestigkeit erfüllt werden. Bis Mitte des Jahres 2013 werden weitere Verfeinerungen der Systemdefinition im Frontend implementiert. Dieses soll als Bestandteil des Demonstrator-Systems getestet werden. Das System wird mit einer 2 x 2 Gruppenantenne umgesetzt und auf die Hälfte der konventionellen Antennengröße verkleinert. Zum Abschluss des Projektes ist ein finaler Test im Galileo Test Environment (GATE) in Berchtesgaden geplant.

Das Projekt wird gefördert von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 50 NA 1009.

#### Kontakt:

Eric Schäfer, M.Sc., [eric.schaefer@imms.de](mailto:eric.schaefer@imms.de)

#### Literatur:

<sup>1</sup> Zu diesem Thema hat das IMMS 2012 mehrere Beiträge veröffentlicht, vgl. Nr. 4, 17, 24 und 55 der Publikationsliste, S. 49 ff.

Bild 2: Blockschaltbild des Empfänger-ICs.

Grafik: IMMS.

