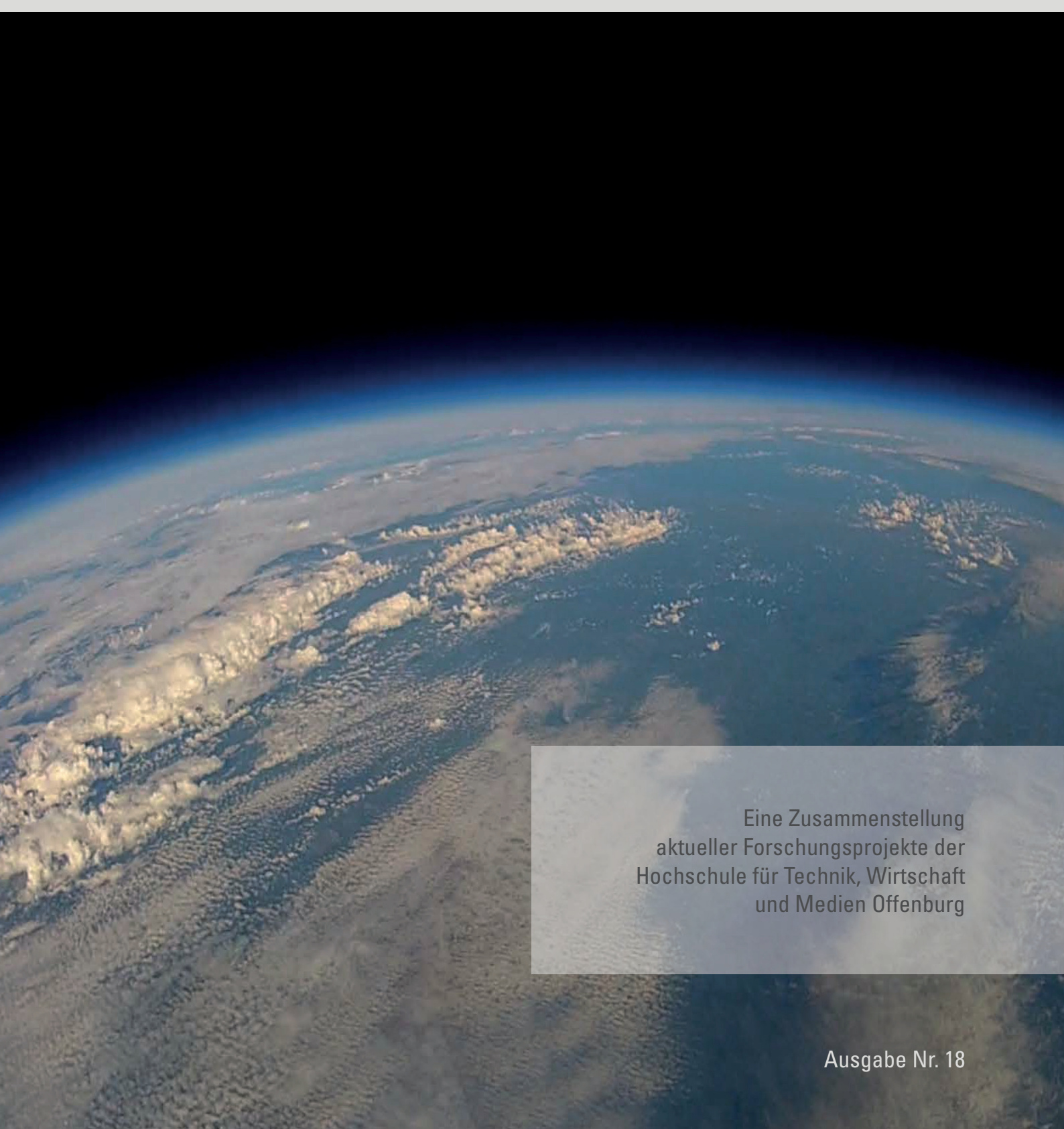
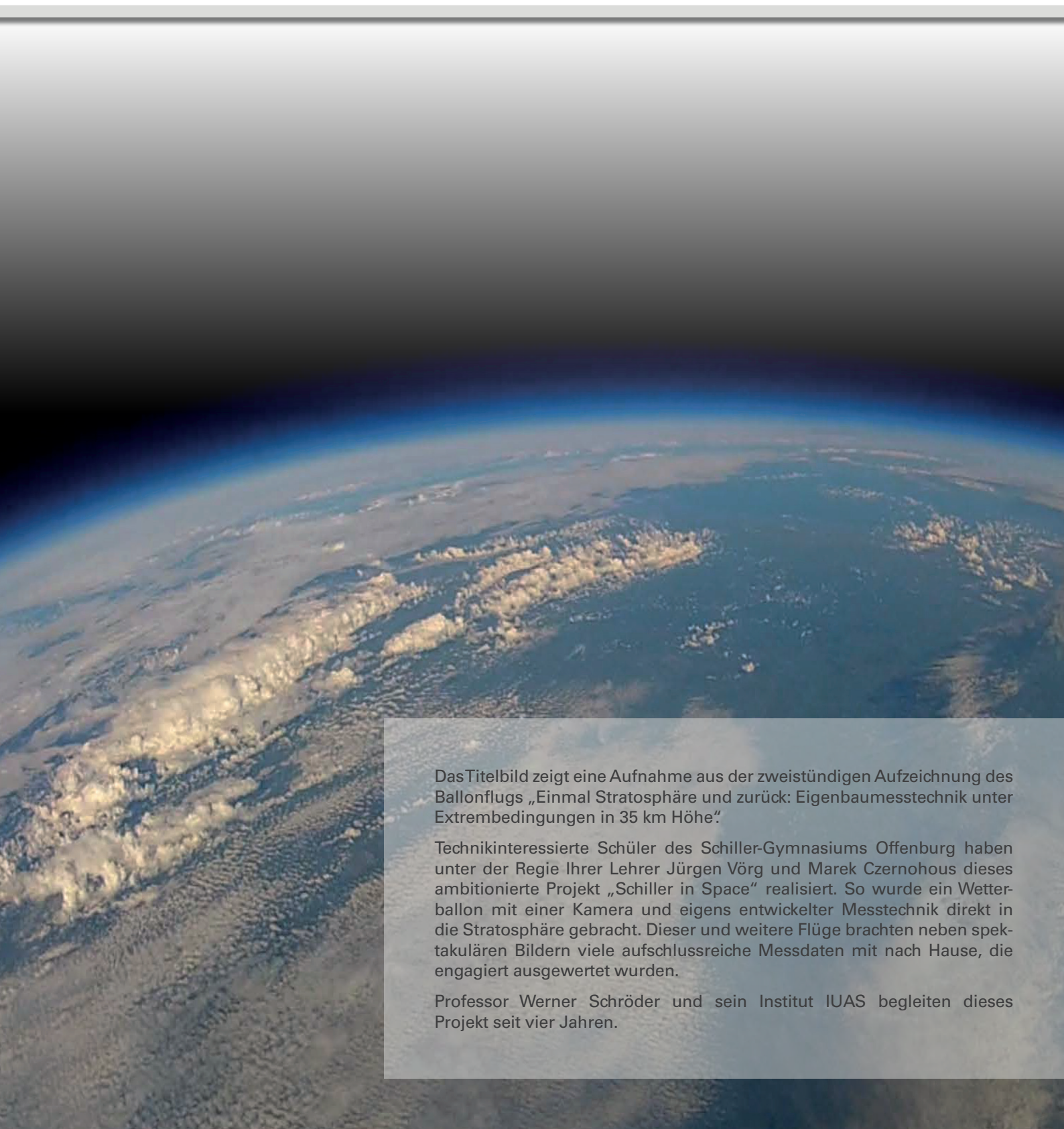


forschung im fokus



Eine Zusammenstellung
aktueller Forschungsprojekte der
Hochschule für Technik, Wirtschaft
und Medien Offenburg

forschung im fokus



Das Titelbild zeigt eine Aufnahme aus der zweistündigen Aufzeichnung des Ballonflugs „Einmal Stratosphäre und zurück: Eigenbaumesstechnik unter Extrembedingungen in 35 km Höhe“.

Technikinteressierte Schüler des Schiller-Gymnasiums Offenburg haben unter der Regie Ihrer Lehrer Jürgen Vörg und Marek Czernohous dieses ambitionierte Projekt „Schiller in Space“ realisiert. So wurde ein Wetterballon mit einer Kamera und eigens entwickelter Messtechnik direkt in die Stratosphäre gebracht. Dieser und weitere Flüge brachten neben spektakulären Bildern viele aufschlussreiche Messdaten mit nach Hause, die engagiert ausgewertet wurden.

Professor Werner Schröder und sein Institut IUAS begleiten dieses Projekt seit vier Jahren.



Institute for Unmanned Aerial Systems

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder, Institutsleitung IUAS

Das Institut für Unmanned Aerial Systems wurde vor nunmehr fast 3 Jahren gegründet. Anfänglich standen Problemstellungen und Entwicklungsarbeiten für autonome Helikopter allein im Vordergrund. Fluggenehmigungen auf der Internationalen Luftfahrtausstellung und Flüge in großen Höhen zeigen die Leistungsfähigkeit der bisherigen Entwicklungsergebnisse.

Es haben sich aber bald weitere Themenbereiche eröffnet, die in einem technologischen Zusammenhang mit Lösungswegen im UAV-Bereich stehen. Hier sind zunächst Entwicklungsarbeiten in der Kanalsanierung zu erwähnen. Es wurde ein akustisches Verfahren zur Inspektion von Kanalrohren entwickelt, über das an anderer Stelle berichtet wird. Hieraus ist ein weiteres Projekt für ein System für die Kanalnavigation entstanden, das derzeit in Arbeit ist. Weitere Projekte im Bereich Navigation sind in der Antragsphase.

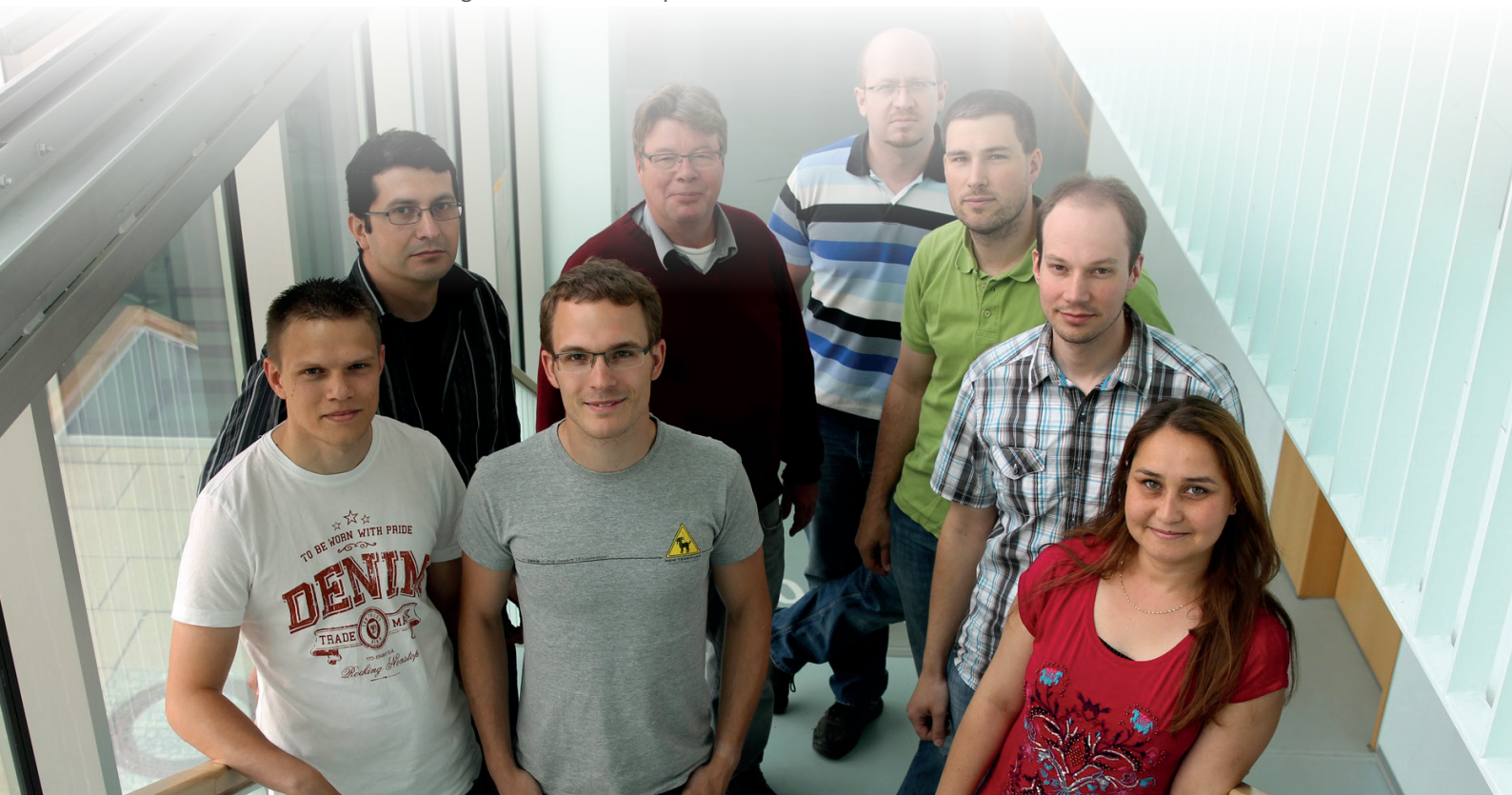
Vorarbeiten in der optischen 3D-Erfassung haben zu einem Entwicklungsprojekt in diesem Bereich geführt. Ein entsprechendes Labor-

muster läuft, derzeit sind die ersten Prototypen im Aufbau.

Problemstellungen in der Inspektion von Beton mündeten in ein Entwicklungsprojekt im Bereich Ultrawideband-Radar. Ein erstes System wurde realisiert und wird derzeit optimiert. Aus diesen Arbeiten haben sich weitere Anwendungsbereiche für UWB-Radare ergeben; hier werden derzeit Konzepte erstellt und Finanzierungsquellen eruiert.

Das Institut hat inzwischen erfahrene Mitarbeiter und eine breite technologische Basis: Navigation, Flugregelung, Trägerphasen-GPS, HF-Kommunikationssysteme, optische 3D-Erfassung, Ultrawideband-Radar, inverse 3D-Rekonstruktionsalgorithmen, akustische Systeme etc. Die Auftragslage und Auslastung ist gut, und es darf gehofft werden, dass sich auf dieser Basis noch einige interessante Entwicklungen ergeben werden.

Natürlich sind Absolventenarbeiten und Projektarbeiten im Institut gern gesehen.



Entwicklung eines FMCW-Radarsystems zur Brückenanalyse

Julien Schultz M. Sc., Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

In dem Projekt HIMSAR wird ein computergestütztes, berührungsloses Verfahren zur Schadensanalyse von Betonbauwerken entwickelt. Dazu wurde bereits ein „Humidity Imaging Synthetic Aperture Radar (HIMSAR)“ entwickelt. Neben dem Messverfahren werden nun ebenfalls die Signalverarbeitung zur visuellen Darstellung der Betonstruktur und die Methode zur Auswertung der Messergebnisse entwickelt. Dabei wird insbesondere darauf geachtet, dass die Darstellung der Betonstruktur später auch von ungeschultem Personal sicher interpretiert werden kann.

Humidity Imaging Synthetic Aperture Radar (HIMSAR) is a computer added, contactless process to analyze damage in concrete constructions. Additionally signal processing algorithms for visualization and a method to interpret the results are developed by the IUAS. Untrained personal should be able to interpret the results, so we focused to represent the results easily.

Einleitung

Deutschlandweit gibt es allein in Bundesbesitz etwa 40 000 Brücken. Die DIN 1076 regelt die Prüfung und Überwachung dieser Brücken hinsichtlich ihrer Stand- und Verkehrssicherheit sowie Dauerhaftigkeit. Innerhalb dieser Norm ist unter anderem festgelegt, dass alle drei Jahre größere Prüfungen (sogenannte einfache Prüfungen bzw. Hauptprüfungen) durchgeführt werden müssen. Dabei sind teilweise „handnahe Prüfungen“ vorgeschrieben, bei denen die Mitarbeiter mit einem Abklopfhammer die gesamte Betonoberfläche der Brücke abklopfen, um Hohlstellen festzustellen. Diese Untersuchungsmethode weist jedoch mehrere Nachteile auf:

- Zum einen handelt es sich hierbei um eine akustische Methode, die zum einen subjektiv von den Mitarbeitern bewertet wird und
- zum anderen gerade bei befahrenen Brücken wie Autobahnbrücken durch den Verkehrslärm deutlich erschwert wird.
- Hinzu kommt der Zeit- bzw. Kostenaufwand bei den Hauptprüfungen.
- Die händischen Prüfungen werden meist von einem Team aus ca. fünf Mitarbeitern durchgeführt, was bei größeren Autobahnbrücken mehrere Tage in Anspruch nehmen kann.
- Um die Arbeitssicherheit während dieser Prüfungen zu gewährleisten, müssen verkehrssicherheitstechnische Einrichtungen aufgebaut bzw. der Verkehr umgeleitet werden. Dies führt zu enormen Kosten und einem behinderten Verkehrsfluss.

Projektziel

Ziel des Projekts ist es, ein fahrbares und kostengünstiges Radarmessgerät zu entwickeln, mit dem die Betonoberfläche der Brücken manuell oder automatisch abgefahren werden kann. Die erfassten Messdaten sollen sowohl gespeichert als auch unmittelbar an einen Computer zur Berechnung und Darstellung der Betonstruktur übertragen werden. Die Betonstruktur soll mit einer 3D-Software dargestellt und im Hinblick auf ihre Eigenschaften analysiert werden. Dies trägt zu einer besseren Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse bei, da es sich nun um eine objektive Bewertung handelt.

Grundlagen

Zum Verständnis der Funktionsweise des HIMSAR-Scanners wird an dieser Stelle auf einige Grundlagen der Radartechnik sowie der Signalverarbeitung eingegangen.

FMCW-Radar vs. Impulsradar

Heutzutage werden Radarsysteme in vielen Anwendungen eingesetzt, wie in Füllstandsmessgeräten und Abstandssensoren an Fahrzeugen. Jedoch basieren die meisten dieser Systeme auf der Laufzeitmessung eines kurzen Impulses. Das Problem an solchen Impulsradaren ist, dass deren Signal und die darin enthaltenen Frequenzanteile eher zufällig sind.

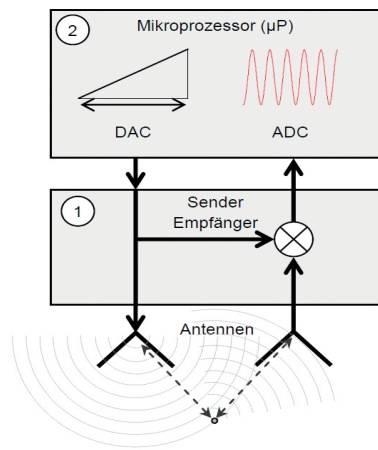


Abb. 1:
Principalschaubild
FMCW-Radar

Anders ist es bei FMCW-Radar-Systemen (Frequency Modulated Continuous Wave); dort wird über Modulation eines längeren Signals eine Pulskompression erreicht, die deterministisch und wiederholbar ist. Beim FMCW-Radar sind Sende- und Empfangsantennen getrennte Einheiten, deren Signale über einen Mischer wieder zusammengefügt werden. Die daraus resultierende Frequenzdifferenz ist aufgrund der Modulation maßgebend für die Laufzeit des Signals. Das Problem beim FMCW-Radar ist zum einen die starke direkte Kopplung zwischen Sende- und Empfangsantenne sowie die Korrektur der nichtlinearen Kennlinien der Bauteile im System.

HF mit Mikrokontroller – wie geht das?

Der Vorteil des FMCW-Radar Systems ist, dass man zur Konvertierung des Empfangssignals lediglich einen handelsüblichen Analog-Digital-Wandler (ADC) verwenden muss. Dies funktioniert, da der Sende- und Empfangszweig über einen Mischer wieder zusammengeführt werden. Mathematisch formuliert ist das eine Multiplikation zweier Cosinus-Signale:

$$\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{\cos(a + b) + \cos(a - b)}{2}$$

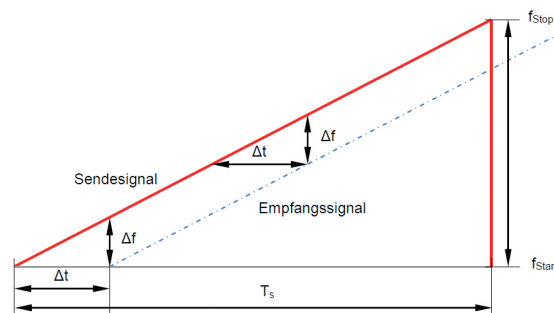


Abb. 2:
Laufzeitdifferenz und daraus entstehende Frequenzdifferenz

Dabei sind a und b Frequenzen im HF-Bereich, weshalb die Summenfrequenz deutlich über der Abtastfrequenz des Mikrokontrollers liegt. Die Differenzfrequenz jedoch ist bei einem linearen Sweep konstant (kleiner 50 kHz) und somit problemlos mit einem ADC abtastbar. Um eben solch eine konstante Differenzfrequenz über das Frequenzspektrum zu erhalten, ist es entscheidend, einen linear verlaufenden Sweep generieren zu können. Durch Nichtlinearitäten in den HF-Bauteilen wird ein linear angesteuerter Sweep verfälscht und es entstehen Nebenkeulen in der FFT der Differenzfrequenz. Um dies zu vermeiden, hat das IUAS eine iterative Kalibration entwickelt, mit der die Standardabweichung der Phase $< 0.3\text{rad}$ beträgt. Jeder Reflektor erzeugt eine Differenzfrequenz, die maßgebend für dessen Entfernung ist. Das Ergebnis ist die Überlagerung der Differenzfrequenzen aller Reflektoren, die anschließend in der Signalverarbeitung für den Anwender verständlich visuell dargestellt werden müssen.

Radar – Was misst man damit?

Bei dem HIMSAR-System messen wir die Reflektion, die von den zu messenden Körpern zurückgestrahlt wird. Aus der Hochfrequenztechnik ist bekannt, dass bei Impedanzsprüngen der Reflektionsfaktor abhängig von der Impedanzänderung ist. Bei der Radartechnik misst man die Dielektrizitäts-Konstanten (Leitfähigkeit) der Materialien. Ändert diese sich sprunghaft, so ist eine Reflektion zu messen.

Eindringtiefe versus Auflösung

Ein ständiger Begleiter in der Radartechnik ist der Kompromiss zwischen Eindringtiefe und Auflösung. Bei höheren Frequenzen erreicht man meist eine größere Bandbreite und dadurch eine bessere Ortsauflösung. Jedoch nimmt die Eindringtiefe bei höheren Frequenzen deutlich ab, weshalb man an dieser Stelle einen Kompromiss passend für den Anwendungsfall treffen muss.

Hardware

Die Hardware wurde modular konzipiert, um möglichst schnell und flexibel auf verschiedene Anwendungsfälle reagieren zu können. So gibt es ein Antennenmodul, ein HF-Modul und ein NF-Modul, das für HF-Frequenzbereiche gleich bleiben soll. Die Elektronik basiert auf einem STM32F407-Mikrokontroller und einem externen 16-Bit-ADC pro Eingangskanal. Um trotz der großen Bandbreite des Ultrawideband-Radarsystems von aktuell 800 MHz – 2.4 GHz einen stabilen Antennenschwerpunkt zu haben, wurde im Haus eine Vivaldi-Antenne für unsere Ansprüche entwickelt und hergestellt. Zuvor gekaufte Log-Pair-Antennen hatten eine Änderung des Antennenschwerpunkts von ca. 20 cm, welche eine präzise Messung praktisch unmöglich machten.

Messungen

Messungen mit Sandkasten

Für die ersten Messungen wurde ein Kreuztisch angeschafft, um eine gleichmäßige Rasterung der Messungen zu erreichen. Damit lässt sich relativ einfach ein 3D-Bild des gescannten Bereichs erstellen. Zudem wurde ein mobiler Sandkasten konstruiert, in dem diverse Objekte versteckt und mit dem HIMSAR entsprechend gesucht werden. Unter anderem wurden darin bereits Metallstangen, Wasserflaschen und auch feuchter Sand entdeckt und in einem 3D-Bild dargestellt. Abbildung 3 zeigt solch ein 3D-Bild des leeren Sandkastens. Man erkennt die Sandkastenoberseite und die Sandkastenunterseite sowie den eigentlichen Boden (Rechteck außen herum) und die Räder ganz unten. Die Räder befinden sich vermeintlich unter dem eigentlichen Boden; diese Verzerrung stammt von der langsameren Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen im Material.

Messungen an Probekörpern

Im Frühjahr 2015 fuhren Mitarbeiter des IUAS ins schwäbische Krauchenwies, um mit dem Industriepartner Messungen an realen, gealterten Betonteilen durchzuführen. Diese Teile stammen von diversen Abrissen und haben somit eine gewisse Alterung und eine durchschnittliche Masse von etwa zwei Tonnen. In Abbildung 4 ist der Versuchsaufbau in der Halle zu sehen. Absorber an der Seite sowie unter dem Antennengehäuse minimieren störende Reflektionen anderer metallischer Gegenstände.

Abb. 3:

3D-Bild des leeren Sandkastens. Zu sehen sind Ober- und Unterseite, der Boden sowie die Räder darunter

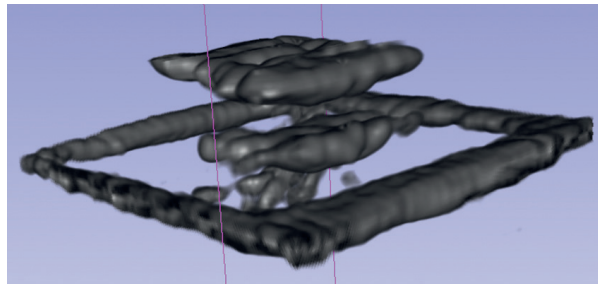


Abb. 4: Messaufbau bei Messungen in Krauchenwies



Weiter wurde auch der blanke Boden der Halle gescannt. Da dort der Unterbau bekannt ist, konnten wir unsere Messergebnisse gut verifizieren. In Abbildung 5 ist die Bodenplatte im 3D-Bild dargestellt. Man erkennt genau die Armierungsschichten und deren Ausrichtung.

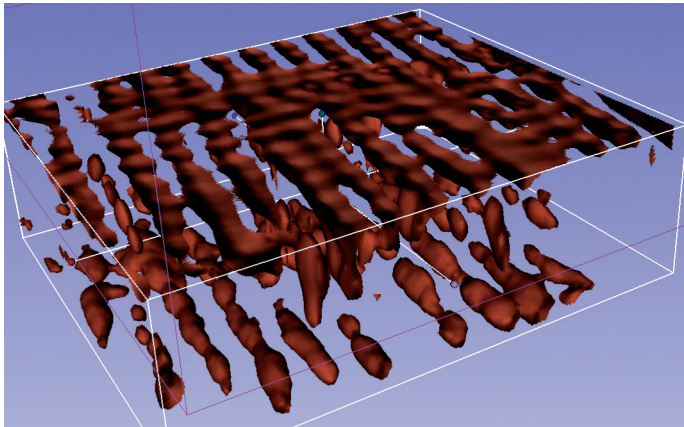


Abb. 5: 3D-Bild der Bewehrung im Hallenboden

Messungen an Brücken

Da der Kreuztisch lediglich ein Quadrat von 2 m Seitenlänge abfahren kann, musste die Messeinrichtung für eine Brückenmessung modifiziert werden. Dazu spannten wir die Antennen mit einem Holzgestänge vor einen Laborwagen. Das Rad des Wagens wurde mit Magneten und einem Hallsensor ausgestattet, um eine gleichmäßige Rasterung der Messungen zu erhalten. Da nur eine Sende- und Empfangsantenne auf dem Wagen montiert wurde, bekommt man als Resultat der Messung einen Querschnitt durch die Brücke, einen sogenannten B-Scan. Gemessen wurde der Radweg der Kinzigbrücke direkt an der Hochschule.

In Abbildung 6 oben ist der Querschnitt der kompletten Brücke zu sehen. Unten ist der markierte Bereich ausgeschnitten und vergrößert dargestellt. Im oberen Bild sind die querliegenden Trägerstrukturen gut zu erkennen, genauso wie die Fahrbahndecke und die metallische Dehnungsfuge am Anfang und am Ende der Brücke (weiße Punkte im Bild). Im vergrößerten Bild ist die feine Struktur des Metallgitters der Stahlarmierung direkt unter der Fahrbahndecke gut zu erkennen. In regelmäßigen Abständen bekommt man jeweils eine stärkere Reflexion.

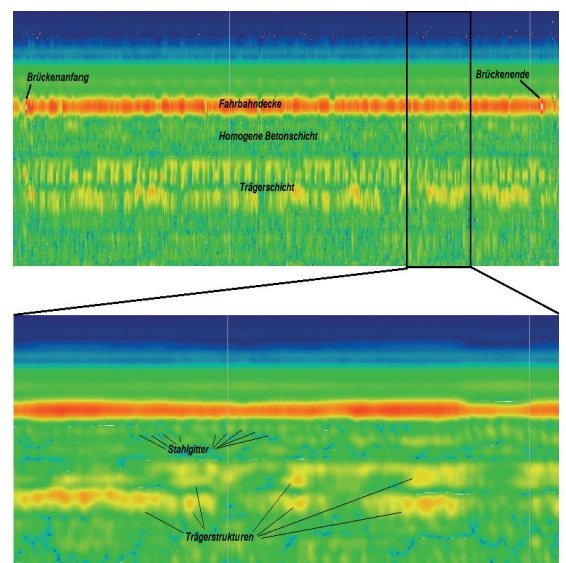


Abb. 6: B-Scan des Radwegs der Kinzigbrücke an der HSO

AUTOREN

Julien Schultz M. Sc.
Projektmitarbeiter IUAS
julien.schultz@
hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder
Leiter Institute for Unmanned
Aerial Systems
w.schroeder@hs-offenburg.de



Ausblick

Nachdem nun das System bei den physikalischen Grenzen angekommen ist, muss versucht werden, mit Mitteln der Signalverarbeitung die Auflösung und die Darstellbarkeit für den Anwender zu verbessern. Gerade Materialveränderungen, Korrosion am Bewehrungsstahl, Hohlräume sowie Feuchtigkeitseindring sind für die Analyse von Bauwerken von großer Bedeutung. Anstehende Messreihen sollen zeigen, inwieweit diese Eigenschaften mit einem Radarsystem dieses Frequenzbereichs zuverlässig dargestellt werden können.

Kontakt

Institut für Angewandte Forschung (IAF)

Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin

Institutsleitung
E-Mail: bollin@hs-offenburg.de

Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora
Stellvertretende Institutsleitung
E-Mail: axel.sikora@hs-offenburg.de

Badstraße 24 77652 Offenburg
Telefon: +49 781 205-272
<http://www.hs-offenburg.de/iaf/>

Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation (POI)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer

Institutsleitung
E-Mail: bruno.ismer@hs-offenburg.de

Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe
Stellvertretende Institutsleitung
E-Mail: harald.hoppe@hs-offenburg.de

Badstraße 24 77652 Offenburg
Telefon: +49 781 205-4640
E-Mail: poi@hs-offenburg.de
<http://www.hs-offenburg.de/poi/>

Institut für Energiesystemtechnik (INES)

Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin

Institutsleitung
E-Mail: bollin@hs-offenburg.de

Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferoth
Stellvertretende Institutsleitung
E-Mail: jens.pfafferoth@hs-offenburg.de

Institutsanschrift Campus Nord
Am Güterbahnhof 1a 77652 Offenburg
Telefon: +49 781 205-126
E-Mail: ines@hs-offenburg.de
<http://www.hs-offenburg.de/ines/>

Institute for Unmanned Aerial Systems (IUAS)

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

Institutsleitung
E-Mail: w.schroeder@hs-offenburg.de

Prof. Dr. Dan Curticapean
Stellvertretende Institutsleitung
E-Mail: dan.curticapean@hs-offenburg.de

Badstraße 24 77652 Offenburg
Telefon +49 781 205-271
<http://www.hs-offenburg.de/iuas/>

Ecological Photonics Advanced Research at Oberrhein (Eco-PhARO)

Prof. Dr. Dan Curticapean

Institutsleitung
E-Mail: dan.curticapean@hs-offenburg.de

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder
Stellvertretende Institutsleitung
E-Mail: w.schroeder@hs-offenburg.de

Badstraße 24 77652 Offenburg
Telefon: +49 781 205-271

Institut für kulturelle Kommunikation (IKK) – An-Institut

Prof. Dr. phil. Heinrich Behring

Institutsleitung
E-Mail: behring@hs-offenburg.de

Jürgen Stark
Stellvertretende Institutsleitung

Badstraße 24 77652 Offenburg
Telefon: +49 781 205-4723
<http://www.ai-ikk.de/>



Hochschule Offenburg
University of Applied Sciences

Badstraße 24 77652 Offenburg
Telefon: +49 781 205-0
www.hs-offenburg.de

