



- Fahrzeugbasierte Antennen- und Funksysteme für terrestrische Mobil- und Satellitenkommunikation, Sensorik und Satellitennavigation
- Vernetzte Fahrzeuge, car-to-X, ITS-G5, Mobilkommunikation 5G, 6G
- Messung, Modellierung und realitätsnahe Emulation des Funkkanals für verschiedene Funkdienste
- Over-the-air Ende-zu-Ende Test und Bewertung automobiler Funksysteme in virtueller Umgebung
- Elektromagnetische Umweltverträglichkeit: Expositionsmessung und -bewertung fahrzeuginterner und -externer Funkdienste



Ihr Ansprechpartner:

Univ.- Prof. Dr. rer. nat. habil. Matthias Hein

Sprecher ThIMo-Projekt

Direktor (k) fakultätsübergreifendes Institut
für Mobilitätsforschung – IMF-ThIMo

Leiter des Fachgebiets Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik

Tel.: +49 3677 69-2832

Email: matthias.hein@tu-ilmenau.de





VISTA: Virtuelle Straße – Simulations- und Testanlage

Die Virtuelle Straße – Simulations- und Testanlage (VISTA) dient der Forschung, Entwicklung und Systembewertung fahrzeuggebundener Funksysteme und zugehöriger Messverfahren sowie der echtzeitfähigen Prüfstandvernetzung. Die Testanlage umfasst eine mit elektromagnetischen Pyramidenabsorbern ausgekleidete klimatisierte Schirmkammer mit den Abmessungen 16 m × 12 m × 9 m.

Der Hauptfrequenzbereich von 400 bis 6000 MHz wird mit 111 dual polarisierten Antennen im Elevationsbereich von -20° bis +90° abgedeckt; hier arbeiten Funkdienste wie DVB-T, GNSS, SDARS, LTE, ITS-G5. Der Nebenfrequenzbereich 70 bis 400 MHz wird durch 22 dual polarisierte Antennen abgedeckt und ermöglicht u.a. die zusätzliche Berücksichtigung von analogem und digitalem Rundfunk. Der Drehtisch mit einem Durchmesser von 6,5 m lässt sich über 360° mit 0,1° Genauigkeit einstellen. Der maximale EMV-Mess-Abstand beträgt 5 m. Der mit bis zu 2.500 kg belastbare Vier-Rollen-Prüfstand für Radstände bis 3,5 m ermöglicht Fahrgeschwindigkeiten bis 100 km/h.

Über ein zusätzliches mechanisches Positioniersystem (Gantry, Genauigkeit 0,02°) kann mit einem beliebigen Antennensystem (< 20 kg) der Bereich des Drehtisches auf Kreisbahnen mit 3 m Durchmesser (Elevation ±110°) bis in den Millimeterwellen-Frequenzbereich ausgeleuchtet werden.

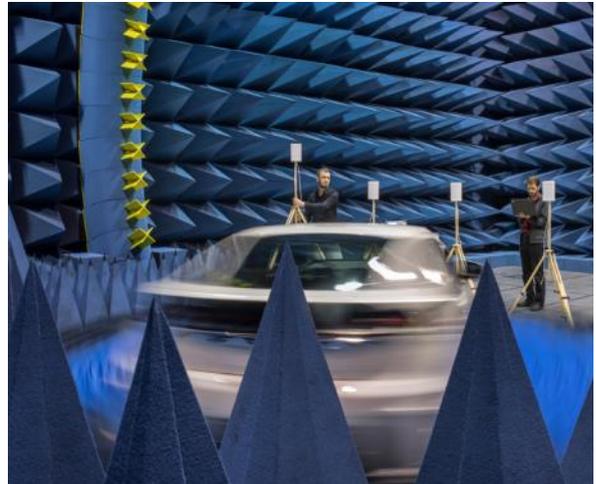




VISTA – Virtuelle Straße – Simulations- und Testanlage

- Kombination funk- und fahrzeugtechnischer Messverfahren mit Fokus auf Antennen, Radarsensoren, System-Performance
- Nachbildung von Umgebungs- und Betriebsbedingungen und deren Wechselwirkungen (installed performance)
- Verifikation & Validierung in virtueller Umgebung, over-the-air-Testmethoden
- Konzepte für vernetztes automatisiertes Fahren auf Straße und Schiene: Fahrzeugantennen, Sensorik, EMV/U, Kombination Mobil- und Satellitenkommunikation, Radar, Navigation

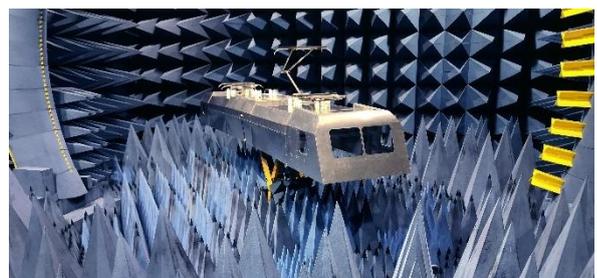
Schirmkammer	16 m × 12 m × 9 m
Frequenzbereich	70...6000 MHz
Drehtisch	Ø 6,5 m, (360±0,1)°
EMV Messabstand	≤ 5 m
Geschwindigkeit	≤ 100 km/h
Fahrzeug-Radstand	≤ 3,5 m, Masse ≤ 2,5 t



Antennenmessungen in VISTA

- Messungen von Fahrzeug-Antennen im Einbauzustand
- Antennencharakteristik, Gewinn, Polarisation, abgeleitete Messgrößen (TRP, XPD, AR u.ä.), Einfluss von Montageort und -umgebung
- Umfangreiche Software zur digitalen Nachbearbeitung der Messdaten
- Antennenmessbogen mit Multiprobe-Technik

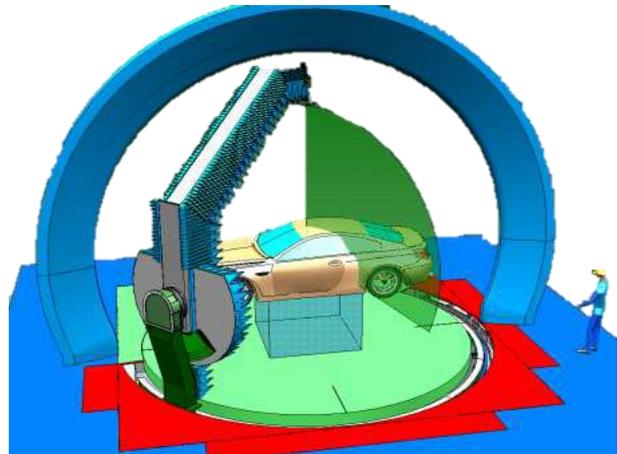
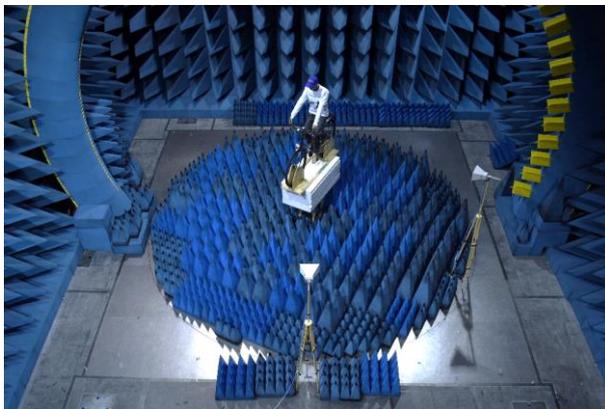
Hersteller	Satimo Industries SAS
Messverfahren	Sphärisches Nahfeld
Frequenzbereich	70...6000 MHz
Messsonden (Auflösung)	111: 400...6000 MHz (1°) 22: 70...400 MHz (5°)
max. Objektgröße	4 m (< 220 MHz) 5,2 m (< 3300 MHz) 3 m (5800 MHz)
typische Messzeit	30 Min. für 3D-Messung bis zu 10 Frequenzen





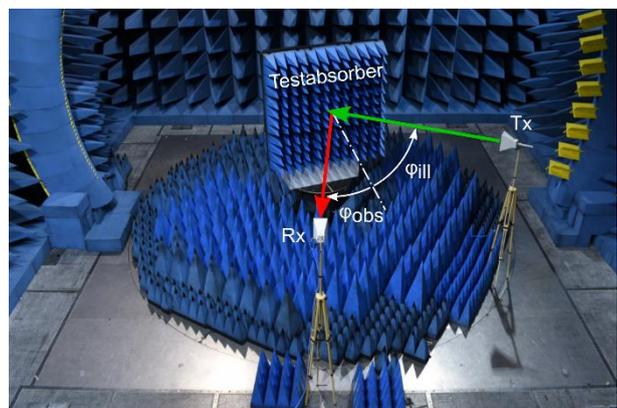
Mono- und bi-statische RCS-Messungen (Mikrowellen und Millimeterwellen)

- Monostatische und bi-statische RCS-Messungen in den Frequenzbereichen 0,8...26,5 GHz und 67...115 GHz
- Messungen mit variablen Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln (2D, 3D)
- Breitbandige dual-polarimetrische Vermessung unterschiedlicher verkehrsrelevanter Radarobjekte (reale Größen sowie skaliert)
- Leistungskalibrierung mittels zertifizierter Referenzobjekte
- Umfangreiche digitale Signalnachbearbeitung



Modellierung elektromagnetischer Mikrowellenabsorber

- Breitbandige Reflektivitätsmessungen im Frequenzbereich 0,8...18 GHz
- Automatisierte monostatische und bi-statische Messungen bei variablen Beleuchtungs- / Beobachtungswinkeln
- Charakterisierung schwach reflektierender Mikrowellen-Absorber bis zu -60 dB
- Vertikale Testfläche (1,80 m x 1,80 m) zur Messung unterschiedlicher Absorber-Konfigurationen
- Vergleich mit numerischen Simulationen (Vollwellensimulation und Strahlenverfolgung – ray tracing)



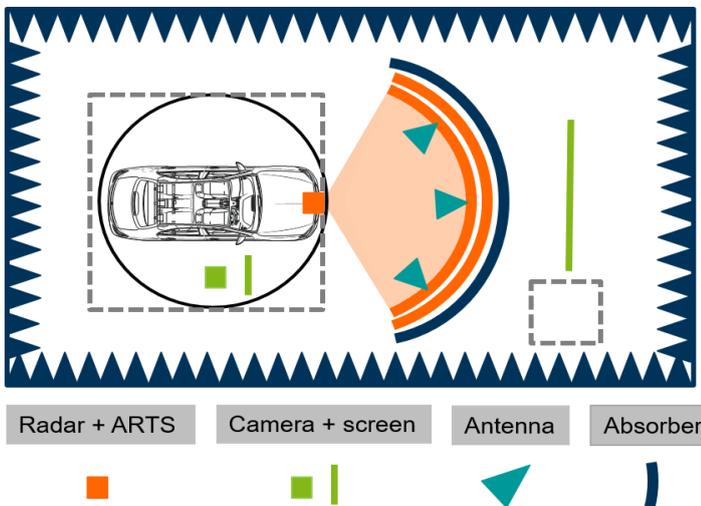
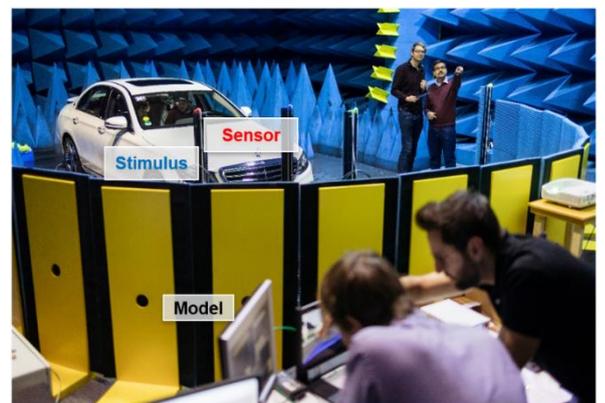
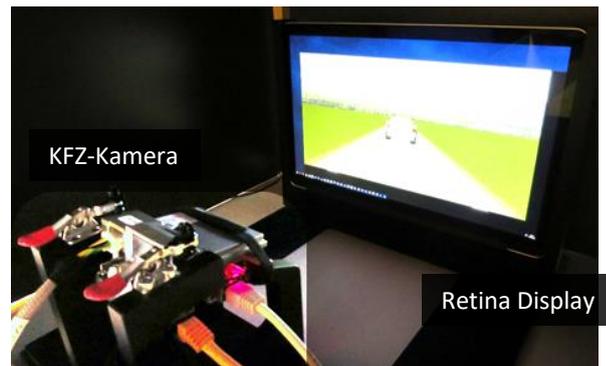
Funk- und Informationstechnik

2. Mess- und Analysesysteme



Messplatz zur Systembewertung von Fahrzeugradaren

- Hersteller- und plattformunabhängiger Over-the-Air Test für Kfz-Radarsysteme in VISTA
- Digitaler Radarzielsimulator
Automotive Radar Test System zur echtzeitfähigen und breitbandigen Nachbildung von Dopplerverschiebung und Radarstreuquerschnitten
Typ: dSPACE DARTS-9030 M
Frequenzbereich: 75...82 GHz
Chirp Signalbandbreite: 1000 MHz
Minimale Distanz: 7,5 m
Maximale Distanz: 1000 m
Anzahl Sendemodule: 8
- Szenarien-basierte Kamerastimulation
Fotorealistische HiL-Tests der KFZ-Kamera
Retina Display (Auflösung 2560 x 1600; 227 dpi)
Stand-Alone-Betrieb oder Fusion mit KFZ-Radar
Externe Anbindung via Fahrzeug-CAN-Datenbus
- Hardware-in-the-Loop (HiL) Testsystem Scalexio E31275 mit ControlDesk, ConfigurationDesk und AutomationDesk
- Spektralanalyse bis 110 GHz inklusive Analyse von Modulationsinhalten bis 4 GHz Bandbreite



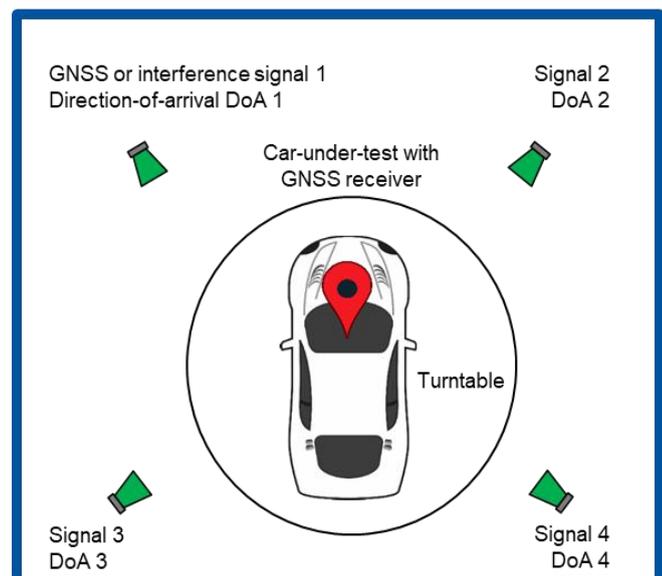


Anpassbare elektromagnetische Randbedingungen für Antennenmessungen

- Untersuchungen zum Einfluss der elektromagnetischen Randbedingungen auf das Strahlungsverhalten von Fahrzeugantennen
- Künstliche Massefläche für Antennen
- Kunststoff - Rahmenkonstruktion:
 - Durchmesser: 5,8 m
 - Höhenverstellbar: 0,7...2,3 m
- Stoffbespannung: Unterschicht aus versilberter Nylon-Fallschirmseide mit leitfähiger PU-Beschichtung (Shieldex® Berlin RF)
 - Flächenwiderstand: Durchschnittlich 300 mΩ/m² (max < 500 mΩ/m²)
 - Abschirmwirkung: Durchschnittlich bis > 60 dB im Frequenzbereich 0,3...5 GHz
- Oberschicht aus versilberter Nylon-Fallschirmseide mit zusätzlicher Kupfer/Nickel Beschichtung (Shieldex® Nora Dell CR)
 - Flächenwiderstand: Durchschnittlich 9 mΩ/m²
 - Abschirmwirkung: Durchschnittlich bis zu 95 dB im Frequenzbereich 0,3...10 GHz



Shielded anechoic chamber (VISTA)



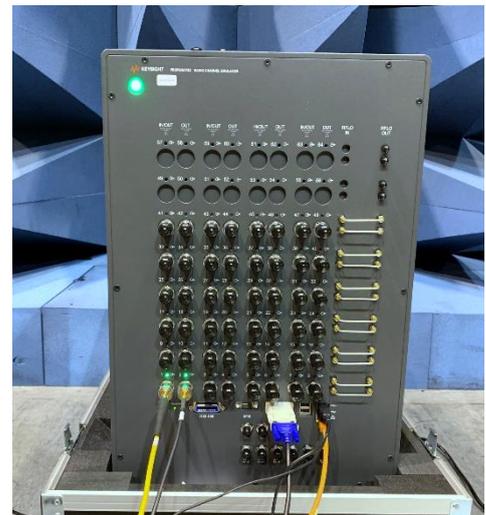
Emulation von Satellitennavigation

- GNSS Satellitensimulation mit 4 synchronisierten Rode & Schwarz Signalgeneratoren Typ: SMBV100B
- Beleuchtung des Szenarios aus unterschiedlichen Richtungs-winkeln (Azimut, Elevation) zur Nachbildung der realistischen Einfallsrichtung der Satellitensignale
- Erzeugung von definierten Täusch- und Störsignalen zur Kontrolle der Störfestigkeit von Empfängern
- Test kompletter Empfänger im eingebauten Zustand
- Szenarien mit GPS und Galileo auch gemischt darstellbar



Funkkanalemulation in VISTA

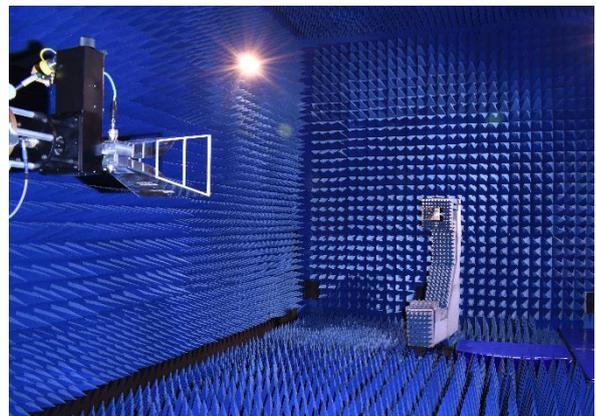
- Kombinierte Hardware- und Software-basierte Nachbildung von Mobilfunkdiensten (LTE, 5G, DSRC, C-V2X) mit Over-the-air Verfahren
- Nachbildung von Strahlenbündeln (cluster) mittels sektorisierter Antennengruppen
- MIMO-Funktionalität
- Einstellung von Dopplerverschiebung, Signalverzögerung (delay) und Winkelrichtungen bzgl. Absolutwerten und Spreizungen (spread)
- Messung qualitätsrelevanter Übertragungsparameter wie Datendurchsatz in Uplink und Downlink, RSRQ, RSRP, RSSI, CQI und SINR
- Kanalemulator: Keysight Prosim F32
 - 24 Kanäle
 - Frequenzbereich 0,35...6 GHz
 - Bandbreite 40 MHz
 - Kanalmodellierungssoftware für LTE-A und MANET Szenarien
 - Nachbildung von Abschattungen (shadowing, large-scale fading) von 0 bis 100 dB in 0,01 dB-Schritten
 - Fernkonfiguration und -steuerung von Emulationen



Antennenmesslabor (ergänzend zu VISTA)

Antennencharakterisierung mittels Fernfeldmessungen, optionale Nahfeld-Fernfeld-Transformation (sphärischer Nahfeld-Scanner)

Hersteller:	Nearfield Systems, Inc.
Messsystem:	NSI-800F-10x mit Nahfeldmessooption NSI-SW5305
Schirmkammer:	8,9 m x 5,1 m x 5,1 m
Frequenzbereich:	0,8 ... 110 GHz
Positionierbelastbarkeit:	10 kg
Messabstand:	5 m
Winkelauflösung:	0,03°





Funkkanal-Messtechnik Channel Sounder

Sub-6-GHz-Sounder

- Messgerät: MIMO Channel Sounder
- Spezifikationen:
 - 160 MHz Bandbreite
 - bis zu 1 h Echtzeitdaten-Speicherung
 - Vollprogrammierbares Sendesignal
 - Multiband und Vielfach-Sounder Betrieb
 - Schaltbarer MIMO Zugang
 - Frequenzbänder:
2,0...2,2; 2,5...2,7; 3,4...3,6; 5,0...6,0 GHz
 - Vermessung von 4G- und 5G-Funkkanälen
- Untersuchungen:- Channel Sounding, BS-UE, AP-UE, D2D, inklusive V2X
 - Räumlich-zeitliche Charakterisierung
 - Hochauflösende Mehrwege-Parameterschätzung



Mess- und –Soundertechnik im mm-Wellen bis THz-Bereich

- Messgeräte:
 1. Nichtlineare HF Charakterisierung mit PNAX bis 67GHz
 2. Netzwerkmesstechnik bis 340 GHz
 3. Breitbandtechnik bis 16 GHz Bandbreite (AWG7000 und DPO70000)
 4. Multi-Band UWB Channel Sounder bis 300 GHz
- Spezifikationen UWB Channel Sounder:
 1. ≤ 7 GHz Bandbreite
 2. bis 2h Echtzeitdaten-Speicherung mit 4 Kanälen
 3. Multiband-Betrieb von bis zu 3 Frequenzbändern parallel
 - Mikrowellen-Bereich: 0...3,5 GHz / 3,5...10 GHz
 - mm-Wellen-Bereich: 24...40 GHz / 57...66 GHz / 71...78 GHz
 - THz-Bereich: 180...220 GHz/ 280...340 GHz
 4. Vermessung von 5G- und 6G-Funkkanälen
- Untersuchungen:- Channel Sounding, BS-UE, AP-UE, D2D, inklusive V2X
 - Räumlich-zeitliche Charakterisierung des Funkkanales
 - Test von 5G und 6G Technologien

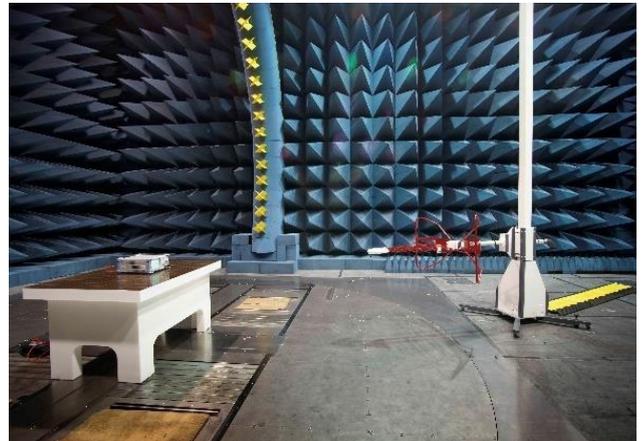




EMV-Messtechnik

Entwicklungsbegleitende EMV-Messungen der gestrahlten und geleiteten Emission im Prüffeld VISTA

- EMV-Halle: Geschirmte Absorberkammer, 16 m x 12 m x 9 m
- Antennenmast: Einstellbare Messhöhe 1...4 m
- Messgeräte: EMI Testempfänger Rohde & Schwarz ESR-7, Netznachbildung Rohde & Schwarz ENV432
- Frequenzbereich: 9 kHz ... 6 GHz
- Messabstand: 3...5 m



EMVU-Messtechnik (HF und NF)

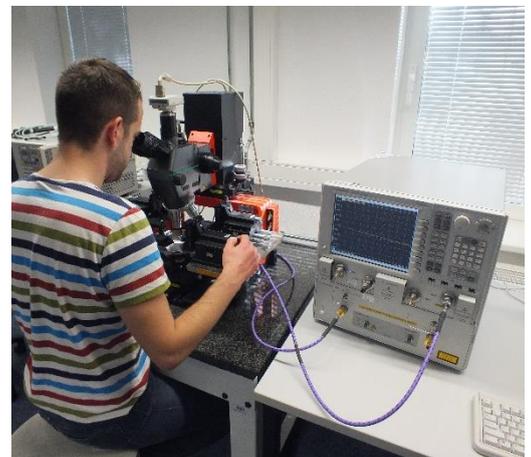
- Messgerät HF: Tragbares selektives Strahlungsmessgerät Narda SRM-3006
- Frequenzbereich: 9 kHz bis 6 GHz
- Sonde: Triaxiale E-Feld-Antennen
0,027... 3,0 GHz
0,42 ... 6,0 GHz
- Besonderheiten: Codeselektive UMTS- und LTE-Messungen
- Untersuchung: Vorortmessung der elektrischen Feldstärke durch verschiedene Funkquellen mit Bezug zur EM Feld-Exposition von Personen
- Messgerät NF: kombinierter E- und H- Feldanalysator Narda EHP-50F
- Frequenzbereich: 1 Hz bis 400 kHz
- Besonderheiten: „Weighted peak“ Bewertung, FFT-Spektrumanalyse
- Untersuchung: Vorortmessung der elektrischen und magnetischen Feldstärken an Anlagen der Energieversorgung (Hochspannungsleitungen, Transformatorstationen)





Mikrowellenmesstechnik (Frequenz- und Zeitbereich)

- Koaxiale Vektornetzwerkanalysatoren:
 - Agilent PNA-X N5242, 4-Port Testset,
 - nichtlineare X-Parameter 0,01...26,5 GHz
 - Lichtwellen-Komponenten-Analysator Agilent N4376D,
 - Agilent PNA E8361A: 0,01...67 GHz,
 - Keysight PNA N5222B: 0,01...26,5 GHz und 67...115 GHz
 - 4-Tor Testset 0,01...50 GHz,
 - Puls-Testset 0,2...40 GHz;
 - Anritsu MS4630B (10 Hz bis 300 MHz)
 - Keysight FieldFox N9952A - Microwave Analyzer bis 50 GHz
- Maury-Tuner basierte Rauschparametermessung 1...26,5 GHz
- Rauschfaktoranalysator 0,01...26,5 GHz (Agilent N8975A)
- Spektrumanalysatoren
 - 50 GHz und 75...110 GHz (Agilent PSA E4448A, ext. Mischer)
 - 26 GHz (Rohde & Schwarz FSEM)
 - 32 GHz (Anritsu MS2802A)
 - 50 GHz (Keysight FieldFox N9952A)
- Waferprober-Messplätze:
 - Suesc PM4
 - Cascade Summit 9000
 - evakuierbarer Waferprober Suesc MicroTec PMV150 mit ThermoChuck (-40 bis 150oC)
- Zeitbereichsreflektometer (LeCroy SDA100G)
- Transientenanalyse (HP 70820A)
- 4-GHz Vierkanal Echtzeit-Oszilloskop (Keysight DSOS404A mit Smart-Mixer 60...90 GHz)
- 11-GHz Vierkanal Echtzeit-Oszilloskop (LeCroy SDA 11000)
- 20 GHz Agilent Infiniium DCA-X 86100D Oszilloskop mit optischen Eingängen 750...1650 nm
- 70-GHz Sampling-Oszilloskop (LeCroy SDA 100G)
- Signal Source Analyzer 26,5 GHz (Rohde & Schwarz FSUP)
- Signalquellen: z.B. Agilent PSG E8257D bis 50 GHz ; SMIQ06B bis 6 GHz; Vector Signal Generator R&S SMBV100B (GPS, Galileo)
- Optisches Profilometer "Alicona infinite focus" (Auflösung: vertikal 20 nm, horizontal 600 nm)
- Leiterplatten-Prototyping mit LDK ProtoMat S103
- Nahfeld-Antennenmesssystem EMSCAN RFXpert RFX2-62 zur schnellen Messung der Strahlungseigenschaften planarer Strukturen 0,3...6 GHz
- Compute server Windows- und Linux-basiert
- Simulationswerkzeuge für HF-Schaltungsentwurf: MicroSim (Pspice), Serenade
- Simulationswerkzeuge für 2D/3D Mikrowellen-Feldberechnungen: Keysight ADS, Ensemble (MoM), IE3D (MoM), Ansoft HFSS (FEM), CST Microwave Studio (FDTD) einschließlich aktueller Desktop-Rechentechnik
- Datenverarbeitung: MatLab mit SimuLink Toolboxes (The Mathworks)



Funk- und Informationstechnik

2. Mess- und Analysesysteme



FORTE-Versuchsanlage des Fraunhofer IIS (Facility for Over-the-Air Research and Testing)

- Freifeldmesseinrichtung für mobile Satellitenterminals im Ku- und Ka-Band mit Bewegungs- und Kanalemulatoren
- Vermessung von 5G Phased-Array Antennen im Frequenzbereich FR2 (> 6 GHz)
- Over-the-air Testumgebung für Kommunikations- und Navigationssysteme (GNSS) bis 6 GHz
- Emulation realistischer, dreidimensionaler und virtueller elektromagnetischer Umgebungen unter Verwendung der Emulationsmethoden Wellenfeldsynthese für elektrisch kleine Testobjekte und „wireless cable“ für elektrisch große Testobjekte

Ausführliche Informationen unter:

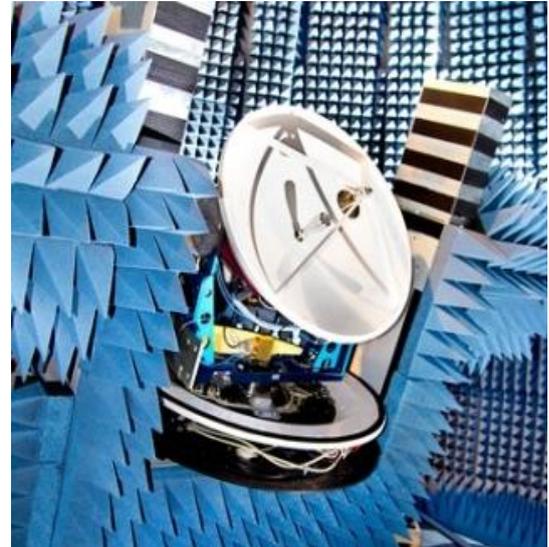
<https://www.iis.fraunhofer.de/en/profil/standorte/forte.html>

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen:

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Markus Landmann

markus.landmann@iis.fraunhofer.de



Funk- und Informationstechnik

2. Mess- und Analysesysteme



FORTE-Versuchsanlage des Fraunhofer IIS (Facility for Over-the-Air Research and Testing)

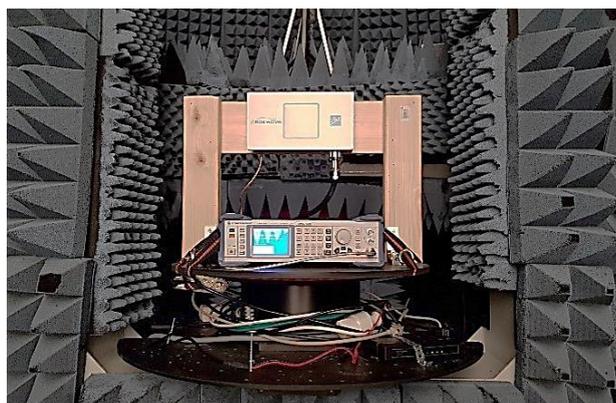
Forschungsplattform SatCom

- Test von SatCom-on-the-move (SOTM) Terminals für:
 - Global VSAT Forum SOMAP Type Approvals
 - Terminalhersteller und Satellitenbetreiber
- Kompetenzen:
 - Synchronisierte realistische Profilwiedergabe über Satelliten-, Bewegungs-, Kanal- und GPS-Emulatoren
 - Test mit Standardbewegungsprofilen für landmobile und maritime Anwendungen
 - Bewegungsimulator: Neigungswinkel: $\pm 45^\circ$
Geschwindigkeit: 3000/s
Beschleunigung: 10000/s²
 - Satelliten-Payload: 50m Antennenturm für Satellitennutzlastemulatoren mit 80 MHz Bandbreite
 - Kanalemulator: Realistische C/N und realistische Schattenprofile
 - Sensorarray auf dem Antennenturm zur präzisen Schätzung des Antennen-De-Pointing und der Nachbarsatelliteninterferenz



Forschungsplattform 5G-mmWave

- Test von 5G Beamforming-Antennen im Frequenzbereich FR2
 - Plattformenwicklung innerhalb nationaler öffentlicher Projekte
 - Projekte mit Industrie z.B. Anokiwave, Alcan, Kymeta
- Kompetenzen:
 - Vermessung von Antennencharakteristiken im Fernfeld: Antennenmuster, Gewinn, HPBW, SLL
 - Vermessung von Beamforming- und Null-Steering-Fähigkeiten



Funk- und Informationstechnik

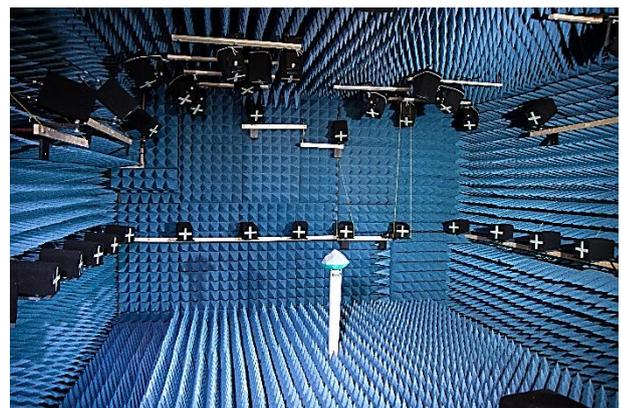
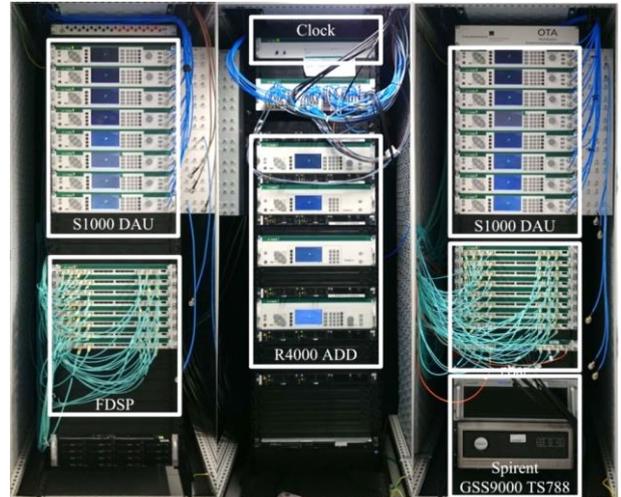
2. Mess- und Analysesysteme



FORTE-Versuchsanlage des Fraunhofer IIS (Facility for Over-the-Air Research and Testing)

Forschungsplattformen MIMO-OTA

- Test von MIMO-Transceivern bis 6 GHz für:
 - Mobiles Breitband (inkl. LTE Testbed, 5G)
 - GNSS: Positioniergenauigkeit, Störimmunität etc.
 - Industrielle Kommunikation
 - V2V und V2I
- Signalerzeugung
 - GNSS Emulator Spirent GNS9000
 - Mobilfunk: Rohde & Schwarz CMW 500
- Ansätze
 - Wellenfeldsynthese für kleinere Testobjekte
 - Wireless Cable für größere Testobjekte (z.B. Fahrzeuge)
- Kanalmodellierung
 - (Geometriebasierte) stochastische Kanalmodelle (z.B. 3GPP TS 38.901)
 - Ray tracing
 - Gemessene Kanäle
 - Technische Parameter
 - Frequenzbereich: 0.3...6 GHz
 - Bandbreite: 80 MHz
 - RF Output: + 10 dBm
 - Konnektivität: 12 Eingänge x 32 Ausgänge = 384 Kanäle
 - 3072 Taps / Impulsantwort



Ausführliche Informationen unter: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/profil/standorte/forte.html>