Innovative Applikationen durch fortschrittliches Prüfen und Simulieren





Der Beitrag befasst sich mit drei Aspekten moderner strategischer Technologieentwicklungen: Sub-THz-Bereich, EM-Simulation und Radar-CAN.

Die **IMST GmbH** ist ein 1992 gegründetes deutsches Ingenieurbüro und Systemhaus für drahtlose Kommunikation, Hochfrequenztechnik und Mikroelektronik mit Sitz in Kamp-Lintfort (Nordrhein-Westfalen).

IMST GmbH
contact@imst.de
www.imst.de

Sub-THz-Bereich: hohe Bandbreite, großes Applikationspotenzial

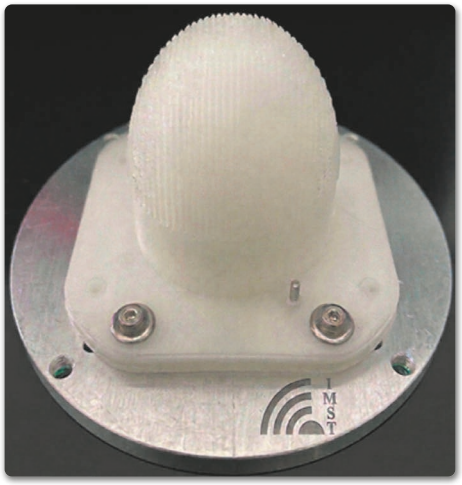
Während die kommerzielle Nutzung niedrigerer Frequenzbänder weitgehend etabliert ist, rücken das D-Band und der Sub-THz-Bereich zunehmend in den Fokus strategischer Technologieentwicklungen. Die Motivation liegt vor allem in den massiven verfügbaren Bandbreiten: Diese ermöglichen einerseits Sensorsysteme mit einer bisher unerreichten räumlichen Auflösung und andererseits Kommunikationsverbindungen mit extrem hohen Datenraten.

Für IMST stellt dieser Bereich einen strategischen Schwerpunkt dar, in den das Unternehmen seit zehn Jahren systematisch investiert. Wir überführen die wissenschaftlichen Grundlagen konsequent in industrielle Anwendungen – ein Prozess, der bereits in zahlreichen Projekten erfolgreich implementiert wurde, um den kommenden Wachstumsmärkten mit leistungsfähigen Systemkonzepten zu begegnen.

Technologisch setzt IMST hierbei auf einen konsistenten Ansatz: Die Umsetzung erfolgt über sogenannte Brick-Integrationskonzepte, die eine effiziente Integration von 2D-Arrays im D-Band ermöglichen. Um die Richtwirkung breitbandig zu erhöhen, kommen zudem linsenbasierte Ansätze zum Einsatz.

Da die Verfügbarkeit kommerzieller Standardkomponenten im D-Band derzeit noch begrenzt ist, knüpft man engmaschige strategische Partnerschaften mit führenden Halbleiterherstellern und Forschungseinrichtungen, wie IHP und Infineon. Dieser Zugang zu modernsten Chip-Technologien ist die Voraussetzung, um innovative Komponenten schrittweise in serienreife industrielle Systeme zu überführen

Zunächst liegt der Fokus auf hochauflösenden Sensorsystemen und der zerstörungsfreien Prüfung (Non-Destructive Testing, NDT). Die im D-Band verfügbaren enormen Bandbreiten von mehreren 10 GHz ermöglichen in Kombination mit den kurzen



3D-gedruckte Linse für Sub-THz-Frequenzen mit integrierter Antireflexschicht auf Basis von Gitterstrukturen zur Minimierung von Fehlreflexionen in Sensoranwendungen

Wellenlängen eine räumliche Auflösung im Submillimeterbereich. Dies erlaubt die Detektion kleinster Materialfehler, Risse oder Schichtdickenvariationen, womit die D-Band-Sensorik eine Schlüsseltechnologie für eine neue Generation industrieller Inspektionssysteme wird. Mit fortschreitender Reife der Halbleiterintegration wird perspektivisch der Weg in den Automotive-Sektor geebnet. Insbesondere Fahrerassistenzsysteme (ADAS) und autonome Fahrfunktionen könnten von der präziseren Objekttrennung in komplexen urbanen Szenarien profitieren. IMST bereitet diesen Übergang bereits heute durch die Entwicklung spezifischer Antennen- und In-Package-Integrationskonzepte vor. Langfristig eröffnet das Sub-THz-Spektrum zudem das Potenzial für Hochleistungskommunikation. Ob als drahtlose Backhaul-Verbindungen für Small Cells im Rahmen von 6G oder für Inter-Satellite-Links (ISL) in LEO-Satellitenkonstellationen – die hohe Richtwirkung und die massiven Datenraten bieten eine technologische Basis für die nächste Generation globaler Hochgeschwindigkeitsnetzwerke.

Die Realisierung hochleistungsfähiger Sub-THz-Lösungen gelingt bei IMST vor allem durch die Synergie aus langjähriger Expertise im Design von Phased Arrays, tiefgreifender Forschung und strategischen Partnerschaften. Mit diesem konsequenten Fokus auf die industrielle Umsetzbarkeit positioniert sich das Unternehmen als Wegbereiter für Technologien, die in den kommenden Jahren neue Möglichkeiten in der industriellen Sensorik sowie in der globalen Kommunikation eröffnen.

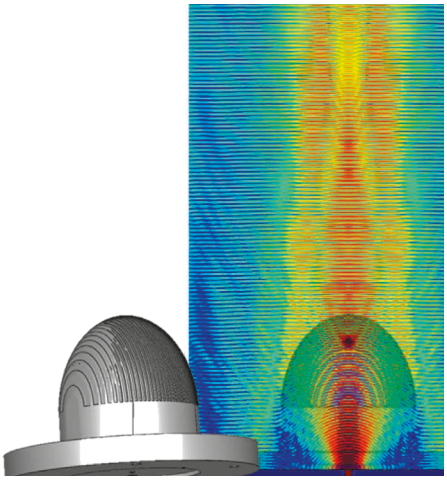


Linsen-Phased-Array: Die Kombination aus klassischen Phased-Array-Konzepten und quasi-optischer Strahlformung ermöglicht 2D-Strahlsteuerung im Sub-THz-Bereich.

Empire XPU: Effiziente Antennen- und Schaltungsintegration in konformen Bauräumen

Die dynamische Entwicklung in den Bereichen Kommunikation, Positionierung und Radar stellt immer höhere Anforderungen an das HF-Design: Antennen und Hochfrequenzschaltungen müssen kleiner, leistungsfähiger und energieeffizienter werden – und sich zunehmend an geometrisch anspruchsvolle Einbauorte anpassen. Ob an der Außenhaut von Luft- und Raumfahrzeugen, an Fahrzeugkarosserien, Rumpfstrukturen von Schiffen oder an gebogenen Gehäusen von Endgeräten: Die verfügbaren Bauräume sind selten eben, oft eng bemessen und durch störende Umgebungseinflüsse geprägt. Hier setzt Empire XPU an – der leistungsstarke 3D-EM-Simulator von IMST.

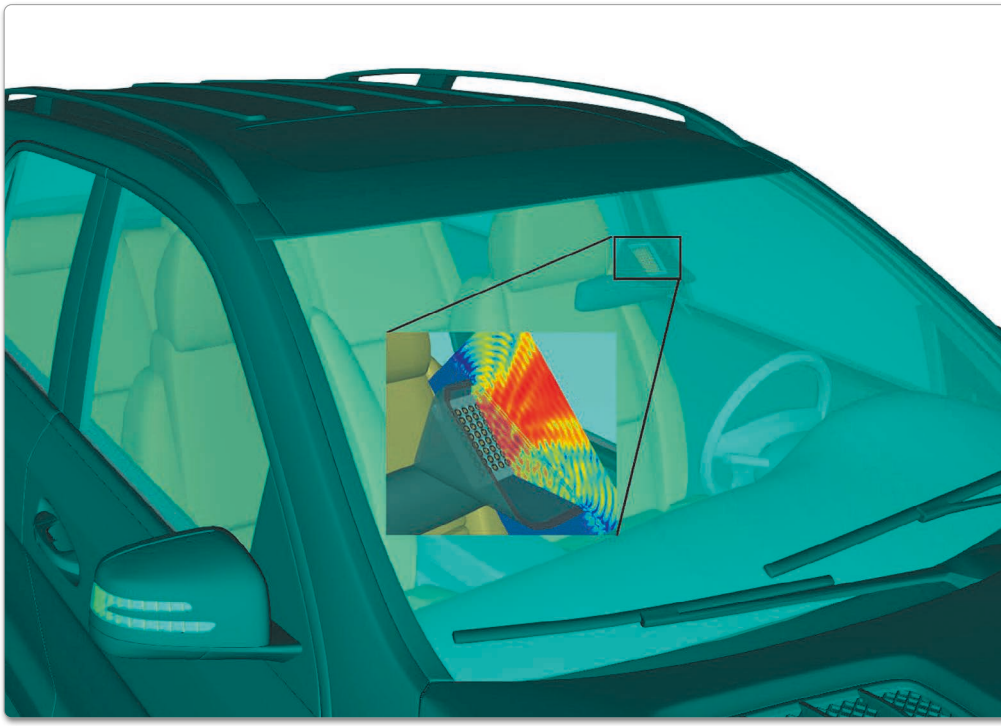
Empire XPU ist seit 1998 am Markt und wurde von IMST-Ingenieuren kontinuierlich weiterentwickelt. Als solides Entwicklungswerkzeug für Antennen und HF-Komponenten hat es sich in der Industrie fest etabliert. Im Kern löst Empire XPU die diskreten Maxwell-Gleichungen mittels der FDTD-Methode (Finite-Difference-Time-Domain) in 3D. Daraus lassen sich S-Parameter, Nah- und Fernfelder sowie Strahlungsdiagramme und weitere Kenngrößen mit hoher Genauigkeit ableiten – selbst für elektrisch große und strukturell komplexe Geometrien.



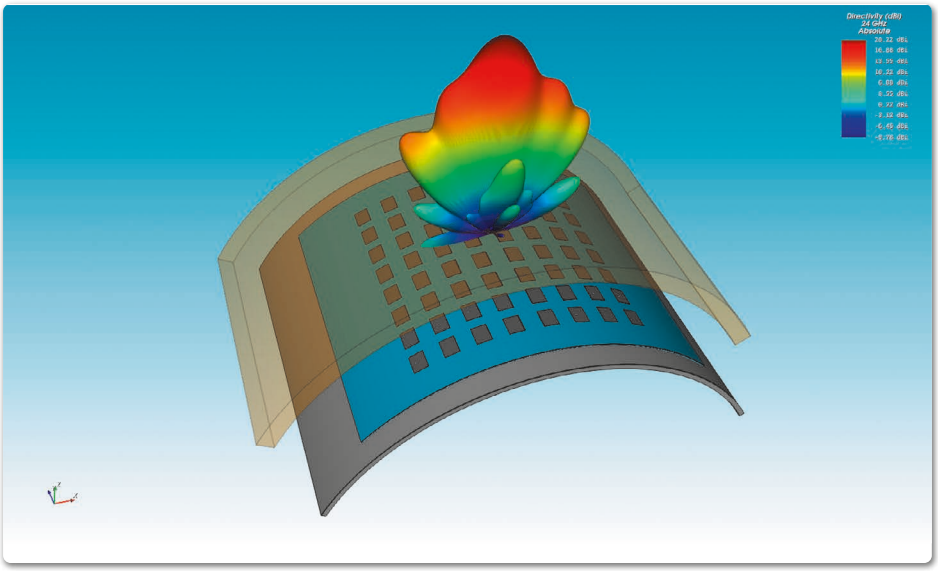
Transformation einer sphärischen Welle in eine ebene Welle zur Realisierung einer hohen Richtwirkung: E-Feld-Simulation einer Linse mit metallischem Target (berechnet mit Empire XPU)

Ein besonderer Vorteil von Empire XPU ist die effiziente Simulation großer Strukturen bei gleichzeitig geringem Speicherbedarf. Dabei wird besonderer Wert auf die realistische Einbeziehung der Umgebung gelegt: Enge Bauräume, benachbarte Strukturen, Metallflächen und Gehäuse werden exakt im Modell berücksichtigt. So lässt sich das Verhalten einer Antenne dort simulieren, wo sie tatsächlich zum Einsatz kommt – und nicht isoliert im freien Raum.

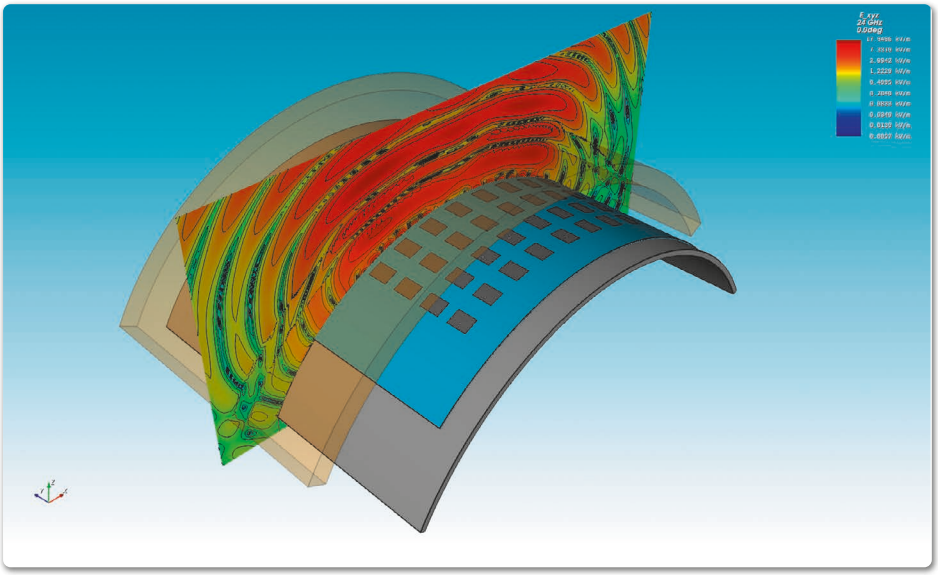
Für die Integration in konforme Bauräume bietet Empire XPU ein zentrales Feature: die konforme Abbildung (Wrapping) planarer Layouts auf gekrümmte Oberflächen.



Im Rückspiegel integrierte Kommunikationsantenne



Konforme Array-Antenne mit Richtcharakteristik



Konforme Array-Antenne mit Visualisierung des abstrahlenden elektrischen Feldes

Damit lassen sich Polygone auf zylindrischen Formen mit eindimensionaler Krümmung abwickeln. Längen und Winkel des ursprünglichen Layouts bleiben dabei exakt erhalten.

Das bedeutet: Ein in planarem Zustand geprüftes und optimiertes Design kann ohne Verzerrung auf die konforme Oberfläche übertragen werden.

Der praktische Nutzen ist erheblich: Antennen und HF-Schaltungen, die ursprünglich für flexible Leiterplatten (Flexible PCBs) entworfen wurden, können unmittelbar auf gebogene Bauräume angewendet und simuliert werden. Da Design- und Optimierungsvariablen beim Wrapping erhalten bleiben, steht das gewohnte Vorgehen – parametrisches Design, Optimierung und Sensitivitätsanalyse – auch für konforme Strukturen uneingeschränkt zur Verfügung.

Für die effiziente Auslegung konformer Antennen und Schaltungen sind oft zahlreiche Variantenberechnungen nötig.

Hier spielt Empire XPU seine volle Stärke aus: Der eigens entwickelte XPU-Algorithmus nutzt Multi-Core-Prozessierung mit Multiple Timestepping direkt im Cache der CPU-Kerne. Die Simulationsgeschwindigkeit skaliert somit linear mit der Anzahl der CPU-Kerne – ganz ohne teure GPU-Hardware.

Anspruchsvolle HF-Systemmodelle werden dadurch deutlich schneller berechnet, während der geringe Speicherbedarf auch komplexe Modelle auf Standard-Workstations praktikabel macht.

Ergänzt wird dies durch effiziente Optimierungsalgorithmen und die intelligente Verteilung von Aufgaben auf PC-Cluster: Mehrere Varianten- oder Optimierungsläufe werden automatisch im Netzwerk verteilt, was die Gesamtlaufzeiten drastisch verkürzt. Zudem ermöglicht ein einfacher Datenimport aus anderen EM-Simulatoren einen schnellen Einstieg und minimiert die Einarbeitungszeit.

Empire XPU wird heute routinemäßig in folgenden Bereichen eingesetzt:

- **Antennen**
  Design und Integration in und an großräumigen, auch konformen Strukturen
- **Mikrowellen- und HF-Komponenten**
  Entwicklung von Filtern, Kopplern und Wellenleitern
- **HF-Schaltungs- und Chipdesign**
  Hochfrequenzelektronik und Interconnects
- **EMV/EMI und Expositionsanalysen**
  Bewertung der elektromagnetischen Verträglichkeit und von Grenzwerten

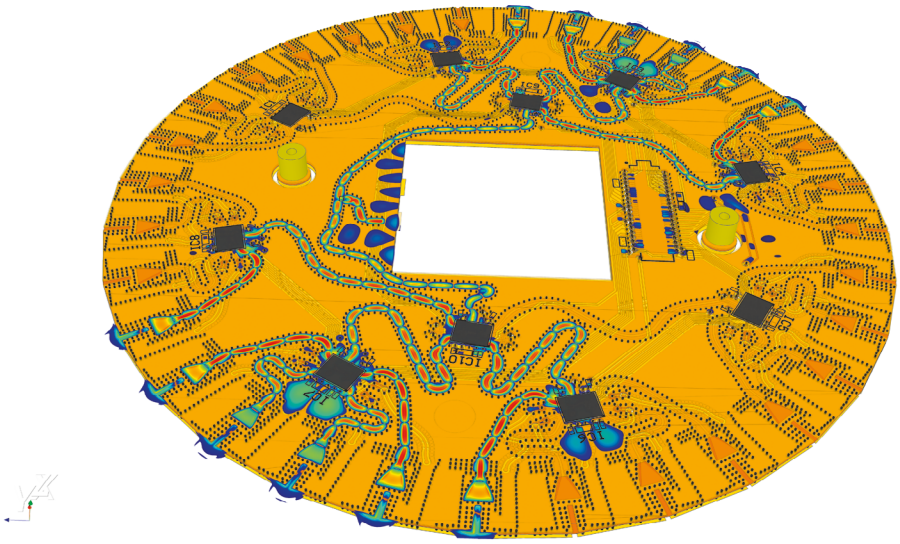
Zur Erweiterung der Simulationsfähigkeit bietet IMST EM Twin an: Damit entstehen hochpräzise Antennen-Zwillinge (Digital Twins), die aus gemessenen Feldaufnahmen oder Prototyp-Simulationen erzeugt werden.

Diese reproduzieren das Strahlungsverhalten echter Antennen ohne detaillierte Geometriebeschreibung und ermöglichen so die schnelle Platzierung und Bewertung von Antennen in komplexen Umgebungen.

Über das Angebot „Simulation as a Service“ können Anwender ihren Simulationsprozess ganz oder teilweise an erfahrene IMST-Designer auslagern. Sie profitieren dabei von unserem leistungsstarken Hochleistungs-Simulationscluster sowie fachkundiger Beratung beim Aufsetzen der Simulation und der Interpretation der Ergebnisse.

IMST-Phased-Array-Technologie: Schneller und risikoärmer zur Lösung

Die Entwicklung leistungsfähiger Phased-Array-Systeme stellt hohe Anforderungen an Antennen-Design, HF-Integration, elektronische Strahlsteuerung, mechanische Integration und Thermomanagement. Mit der Radar-CAN hat IMST ein skalierbares, aktives Millimeterwellen-Frontend entwickelt, dessen Architektur- und Designkonzepte als Grundlage für kundenspezifische Phased-Array-Systeme dienen können (s. Kasten). Die Plattform vereint Antennenarrays mit integrierter HF-Technik,



PCB

Board mit integrierter HF-Elektronik und Beamforming ICs

Beamforming-ICs zur elektronischen Steuerung von Phase und Amplitude sowie eine kompakte modulare Brick-Architektur. Bereits heute ist das System für verschiedene Frequenzbereiche, beispielsweise um 20, 30 und 40 GHz, ausgelegt und unterstützt sowohl horizontal als auch vertikal polarisierte Signale.

Für Kunden entsteht dadurch ein entscheidender Entwicklungsvorteil: Anstatt sämtliche Komponenten und Systemfunktionen von Grund auf neu zu entwickeln, kann auf bewährte Architektur- und Integrationskonzepte zurückgegriffen werden. Frequenzbereich, Antennengeometrie, Kanalzahl, Polarisation, HF-Verteilung und Beamforming-Funktionalität lassen sich dabei gezielt an die jeweiligen Anforderungen anpassen. Damit entsteht eine belastbare technologische Basis für Anwendungen, wie SatCom, Radar- und Detektionssysteme sowie zukünftige Kommunikations- und Sensorsysteme.

Das technische Herzstück der Radar-CAN bildet eine modulare Brick-Architektur, bei der mehrere mehrlagige Leiterplatten und gefräste Metallstrukturen zu einem integrierten Antennensystem gestapelt werden. Die Leiterplatten vereinen die Antennenelemente, aktive HF-Komponenten und Signalverteilnetzwerke. Integrierte Beamforming-ICs ermöglichen die individuelle Einstellung von Phase und Amplitude der einzelnen Antennensignale und damit die elektronische Steuerung der Abstrahlcharakteristik.

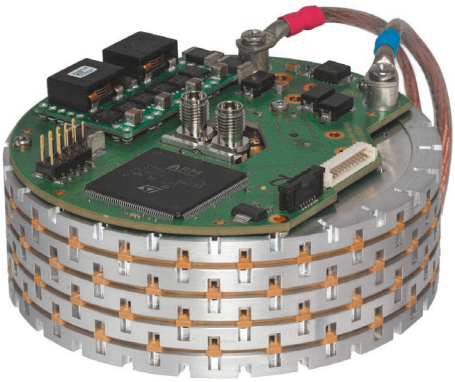
Die linear- oder dual-polarisierte Antennenstruktur, speziell ausgelegte HF-Verteilnetzwerke und eine durchdachte mechanische Integration ermöglichen eine hohe Integrationsdichte. Gleichzeitig übernehmen die Metallstrukturen Aufgaben bei der HF-Abschirmung, der Ausbildung der Antennenaperturen und der Wärmeverteilung. Ein leistungsfähiges Thermomanagement ist damit von Beginn an integraler Bestandteil des System-Designs. Die Architektur lässt sich durch zusätzliche Leiterplatten und Metallsegmente skalieren; auch Antennendurchmesser, Kontur und Elementanzahl können an die erforderliche Systemleistung und die definierten Bauräume angepasst werden.

Ein besonderer Vorteil der Radar-CAN liegt in ihrer Fähigkeit, auch in komplexen und geometrisch anspruchsvollen Bauräumen integriert zu werden. Die zugrunde liegende modulare Brick-Architektur ermöglicht eine flexible Anpassung der Antennen- und Systemgeometrie an verfügbare Einbauräume. Dadurch lassen sich leistungsfähige Radar-Phased-Array-Systeme auch dort realisieren, wo klassische ebene Antennenarchitekturen an mechanische Grenzen stoßen. Die bei IMST entwickelte Kombination aus elektromagnetischer Auslegung, mechanischer Integration, HF-Design und Thermomanagement schafft die Grundlage für kundenspezifische Sensorsysteme mit hoher Integrationsdichte und optimierter Raumausnutzung.

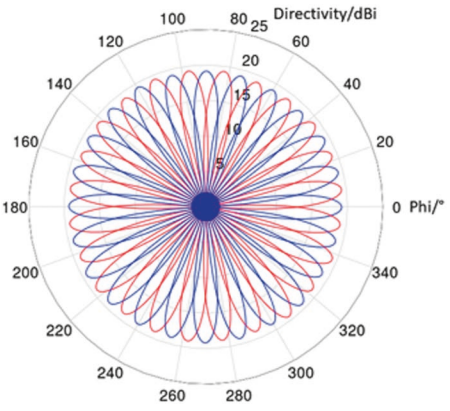
Ein weiteres wesentliches Merkmal der Radar-CAN ist die flexible und sehr schnelle Strahlsteuerung. Die Anordnung der Antennenelemente ermöglicht eine vollständige Abdeckung des Azimutbereichs durch perfekt überlappende Strahlen sowie eine elektronische Strahlschwenkung in Elevation. Darüber hinaus können mehrere Strahlen gleichzeitig konfiguriert werden. Die hierfür erforderliche hohe Schaltgeschwindigkeit wird durch speziell optimierte Mikrocontroller-Konzepte ermöglicht. Damit demonstriert die Plattform zentrale Funktionen moderner Phased-Array-Systeme und verbindet Antennentechnik, HF-Integration, Steuerung und thermische Auslegung in einem durchgängigen Design-Ansatz.

Für Kunden liegt der Mehrwert darin, auf diesen vorhandenen technischen Grundlagen aufzubauen, anstatt sämtliche Systemkomponenten neu entwickeln zu müssen. Die bei der Radar-CAN realisierten Architektur- und Integrationskonzepte können gezielt auf neue Anwendungen übertragen werden. Auch die Erfahrungen aus elektromagnetischer Simulation, Systemintegration und Gesamtbewertung bilden eine wertvolle Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Produkte.

Dadurch lassen sich Entwicklungsaufwand und technische Risiken reduzieren, während kritische Fragestellungen zur HF-Performance, thermischen Belastbarkeit oder Systemintegration bereits in frühen Projektphasen berücksichtigt werden können. Dies schafft eine belastbare Entwicklungsbasis, verkürzt den Weg vom Konzept zum funktionsfähigen System und verbessert die Planbarkeit komplexer Entwicklungsprojekte. ◄



Radar-Modul in der vierzeiligen Variante



Vollständige Abdeckung des Azimutbereichs durch sich perfekt überlappende Strahlen