

INTEGRIERTE ANTENNENSYSTEME FÜR VERNETZTE FAHRZEUGE



driven by communication





“Konnektivität” – einer der Schlüsselbegriffe, die beim Kauf eines Fahrzeugs von entscheidender Bedeutung ist. Alles ist heutzutage vernetzt: Unsere Smartphones, unsere Uhren, unsere Autos. Die Technologie hinter der drahtlosen Konnektivität ist die Hochfrequenztechnik, und die dafür benötigte Ausrüstung ist die Antenne.

Je mehr vernetzte Funktionen uns im Auto angeboten werden, desto mehr Antennen müssen im Auto untergebracht werden. Diese Aufgabe hat sich zu einer Herausforderung für die Ingenieure in der Automobilindustrie entwickelt. Über viele Jahre hinweg gab es genau eine Antenne pro Auto. Eine klassische Stabantenne, mit deren Hilfe man AM/FM Rundfunk empfangen konnte.

Moderne Fahrzeuge hingegen werden mit bis zu 20 Antennen ausgestattet. Es ist offensichtlich, dass die herkömmlichen Methoden zur Platzierung von Antennen im Auto überholt sind. Welche neuen Wege und Möglichkeiten es dazu gibt, wird im Folgenden aufgezeigt.

1. Überblick Fahrzeugantennen

1.1 Entwicklung der Fahrzeugantennen

Bereits unmittelbar nach der Erfindung des Automobils hielt der Rundfunkempfang als Standardausstattung in allen weltweit verkauften Neufahrzeugen seinen Einzug. Radioempfang im Auto verband Fahrer und Passagiere mit der Außenwelt und stellte neben allerlei Unterhaltung, z. B. Musik, auch die Verfügbarkeit kritischer Informationen wie Verkehrsberichte, Notfallwarnungen oder Nachrichten sicher.

Die große Herausforderung damals war die Bereitstellung des Hochfrequenz-Empfangs in einem mobilen System, anstelle eines stationären. Alle für den Funkempfang erforderlichen Komponenten, z. B. Antennen, Verstärker und Elektronik, mussten entsprechend im Automobil untergebracht werden. Das war damals wie heute keine leichte Aufgabe angesichts der EMV- (elektromagnetische Verträglichkeit) und Umwelt-Anforderungen im rauen Alltagsbetrieb.

Heute, im Jahr 2025, erleben wir eine stetige Zunahme von Funkdiensten im Alltag (siehe Bild 1: Zunahme Funkdienste im Fahrzeug). Viele davon haben bereits den Weg in unsere Fahrzeuge gefunden. Heutzutage ist alles vernetzt, ganz besonders im Auto.

Neue Anwendungen wie V2X (Vehicle to everything), ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), FOTA (Firmware Over the Air), Fahrzeugdiagnose, Echtzeitnavigation etc. erfordern immer größere Datenflüsse in das und aus dem Auto heraus. In der Folge steigen auch Menge und Vielfalt der Antennen. Neue Frequenzbereiche und Richtdiagrammanforderungen treiben die Entwicklung einer stetig wachsenden Zahl neuer Antennenvarianten voran. Unterschiedliche Funkstandards und Bandbreiten erhöhen den Bedarf an zusätzlichen Antennen. Zur Verbesserung des Datendurchsatzes kommt

häufig das MIMO- (Multiple-Input Multiple-Output) Prinzip zum Einsatz. Hierbei werden mehrere Antennen gleichzeitig genutzt, um maximale Bandbreite und optimalen Signalempfang sicherzustellen.

Für bestmögliche Leistung sind der Verbauort und die Umgebungsbedingungen des Antennensystems entscheidend. Je mehr Antennen im Fahrzeug verbaut werden, umso schwieriger wird die Suche nach geeigneten Bauräumen. Hirschmann Car Communication entwickelt seit über 100 Jahren Antennensysteme für die Automobilindustrie. Aus jahrelanger Erfahrung kennen wir alle Faktoren, die in Antennenarchitekturen eine Rolle spielen und entwickeln darauf basierend neue, zukunftsfähige Lösungen.

Dieses White Paper liefert einen Überblick über neue Antennen- und Architekturkonzepte, die Ingenieure zur Entwicklung der nächsten Generation von Fahrzeugsystemen nutzen können.

1.2 Aktuelle Antennensysteme

Zunächst werden im Folgenden die heute gebräuchlichen kommerziellen Antennensysteme gezeigt:

Rundfunk

Antennensysteme für terrestrischen Rundfunk ermöglichen den Empfang analoger/digitaler Rundfunk- und TV-Standards. Während TV-Dienste im Auto nach wie vor ein Nischenmarkt sind, verfügt heute nahezu jedes Fahrzeug über Rundfunkempfang. Dabei werden klassische Analogfunkdienste wie AM/FM zunehmend durch digitale Funkdienste wie DAB, HD und DVB-T/DVB-T2 ergänzt. Viele Jahre lang waren Rundfunk-Antennensysteme die einzigen Antennensysteme im Automobilbereich. Terrestrische Rundfunkantennen können grundsätzlich auf drei verschiedene Arten im Fahrzeug verbaut werden.

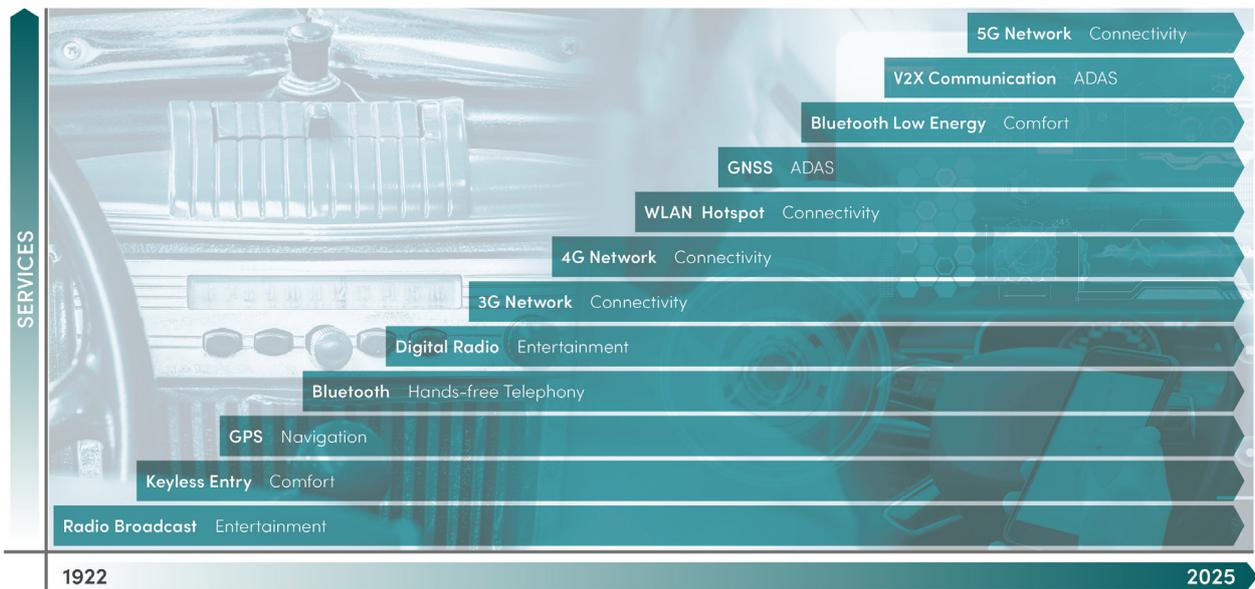


Bild 1: Zunahme der Funkdienste im Fahrzeug

Stabantenne

Bei dieser Konstruktion ist die Antenne ein außen am Fahrzeug deutlich sichtbares Element. In den Anfangszeiten wurden lange Antennen (ca. 80 cm) auf dem Kofflflgel verbaut. Die heutigen Antennen sind wesentlich klrzer (ca. 30 cm) und befinden sich in der Regel auf dem Fahrzeugdach.

Scheibenantenne

Scheibenantennen sind metallische, in die Oberflche der Heckscheibe integrierte Strukturen. Manchmal werden auch die Heizdrhte als Teil der Antenne genutzt. Diese Antennenart ist "unsichtbar" und wird daher manchmal auch als integriertes System bezeichnet.

Folienantenne

Bei Folienantennen wird die Antennenstruktur als Teil einer Kunststoffolie auf nichtleitende Fahrzeugteile aufgebracht, z. B. in den Seitenspiegeln oder den Stoßstangen.

Fur den Satellitenempfang werden spezielle Antennenarten benotigt:

Patch-Antenne

Patch-Antennen kommen ausschlielich fur SDARS- (Satellite Digital Audio Radio Services) Empfang zum Einsatz. SDARS ist ein satellitenbasiertes System, daher muss eine Patch-Antenne immer mit freiem Blick auf den Himmel verbaut werden, in der Regel auf dem Fahrzeugdach.

Kommunikation

Hierzu zahlen alle Dienste jenseits des Rundfunkempfangs. Dieses Feld umfasst eine groBe Bandbreite von Diensten: Mobilfunk, WiFi®, Bluetooth®, RKE (Remote Keyless Entry), UWB (Ultra-Wide Band) und V2X (Vehicle to Everything). Zwischen Kommunikations- und Rundfunk-Diensten wird wie folgt unterschieden: Alle bidirektionalen Datenflusse zahlen zu den Kommunikations-Diensten alle unidirektionalen Datenflusse in nur eine Richtung gehoren zu den Broadcast (Rundfunk)-Diensten. Aber keine Regel ohne Ausnahme: Obwohl GNSS (Global Navigation Satellite System) ein ausschlielicher Empfangsservice ist, wird er dennoch normalerweise zur Kommunikation gezahlt.

Als Anfang dieses Jahrtausends der Mobilfunk seinen Siegeszug durch die Welt antrat, fanden diese Mobilfunktechnologien (2G bis 5G) und andere Kommunikationstechnologien sehr schnell Einzug ins Auto.

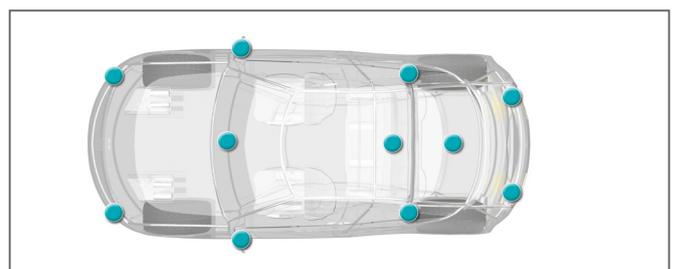


Bild 2: Typische Antenneneinbauorte in einem modernen Antennensystem

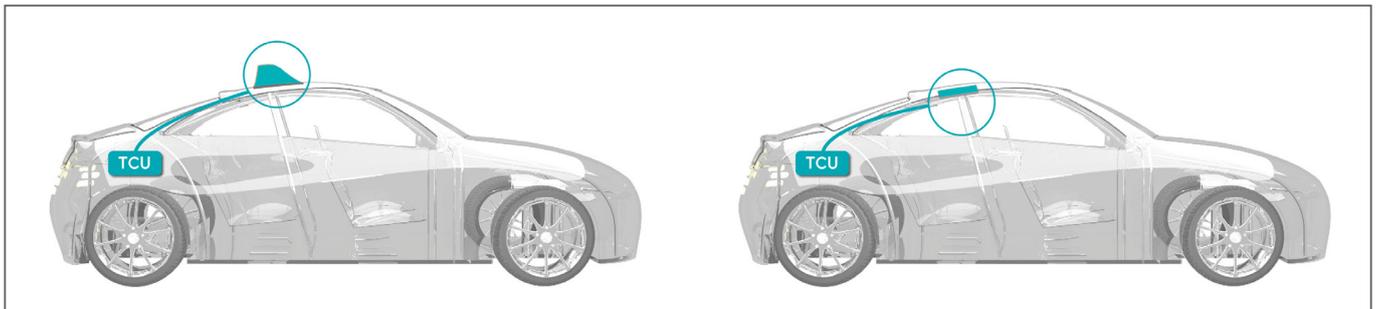


Bild 3: Platzierung Shark-Fin-Antenne und Antennen-Farm

Die verschiedenen Funkdienste und unterschiedlichen Ausprägungen der Antennen erschweren es, einen einheitlichen Bauraum zu finden. Ein beliebtes Design bei vielen Automobilherstellern, insbesondere für Mobilfunk- und Satellitenantennen, ist die Dachantenne. Das Dach ist der höchste Punkt des Fahrzeugs und daher der sinnvollste Platz für die Antennen. Dachantennen sind mit oder ohne Kurzstab erhältlich. Antennen ohne Kurzstab nennt man Haifischoder Shark-Fin-Antennen.

Weitere Antennen Einbau-Orte sind: im Armaturenbrett (IP), der Mittelkonsole, den Stoßstangen oder den Seitenspiegeln. Normalerweise sind diese Antennen nicht von außen sichtbar.

1.3 Aktuelle Entwicklungsherausforderungen bei Antennensystemen

Die Dachantenne spielt heute eine dominierende Rolle bei den automotiven Antennensystemen. Rein technisch betrachtet ist das Dach der ideale Ort für die Antenne. Jedoch können wirtschaftliche oder technische Einschränkungen bei der Kombination vieler unterschiedlicher Dienste in ein einziges Antennensystem auch andere Bauräume oder Konstruktionen erforderlich machen:

Design

Die Dachantenne ist für jedermann sichtbar; daher muss ihr Design ansprechend sein. Aus Ästhetik und Kraftstoffeffizienzgründen sollten Dachantennen so klein wie möglich sein. Wenn jedoch immer mehr Dienste im Fahrzeug benötigt werden, kann die Größe des Antennensystems zu einer echten Herausforderung für das Fahrzeuggesamt-Design werden.

Schäden

Aufgrund ihrer exponierten Lage sind Dachantennen sehr anfällig für Beschädigungen oder Vandalismus.

2. Ein neuer Ansatz: Integrierte Antennensysteme

Heute findet sich überall im Fahrzeug eine große Bandbreite von Einzel- und Multifunktionsantennen, in der Regel Shark Fin- und Dachantennen. Angesichts einer zunehmenden Anzahl von Antennen und der dazugehörigen Koaxial-Verkabelung entstehen jedoch neue Herausforderungen. Entsprechend suchen Fahrzeughersteller nach innovativen, neuen Wegen zur Integration von Antennensystemen im Fahrzeug.

Ihre Ziele sind dabei:

- geringer Einfluss auf das Gesamtdesign – d. h. die Antenne sollte nicht von außen sichtbar sein
- bessere Signalqualität – durch kürzer Abstände zwischen Antennen und TCU (Telematic Control Unit)
- weniger Verkabelungsaufwand und geringere Kosten durch Kombination mehrerer Antennen in einem einzigen Gehäuse

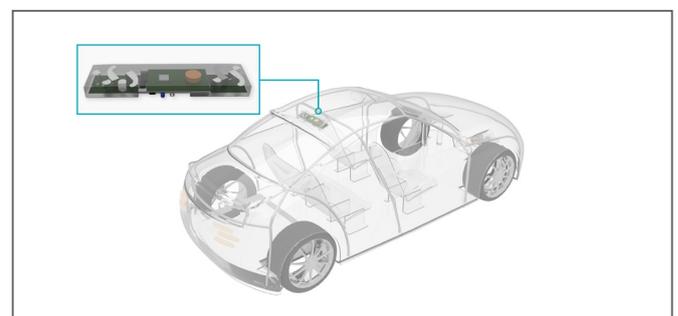


Bild 4: Antennen-Farm mit TCU im Dach

Es gibt viele Möglichkeiten für das Design von Antennensystemen, die alle diese Anforderungen erfüllen. Zwei davon sind jedoch vorherrschend: Der erste Designansatz trennt die Antennen von der TCU über eine analoge RF-Schnittstelle (Koaxialleitungen). Beim zweiten Designansatz wird die TCU mit den Antennen kombiniert und über eine digitale Schnittstelle an den Fahrzeugkabelbaum angeschlossen.

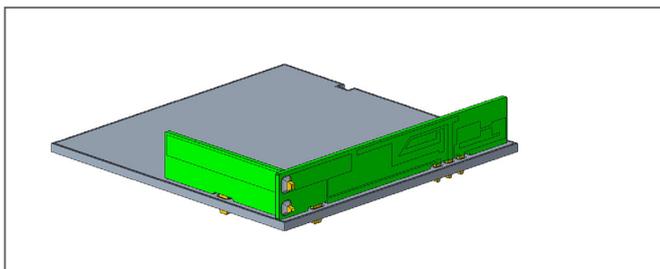


Bild 5: TCU-Boxdesign mit Antennenelementen

2.1 Trennung von Antennen und TCU

Ein klassisches Beispiel für ein getrenntes System ist eine über Koaxialkabel mit der im Kofferraumbereich befindlichen TCU verbundene Shark-Fin-Antenne. Dieser Ansatz wird vor allem für Fahrzeuge mit mehreren Konnektivitätsfunktionen verwendet. Er bietet große Flexibilität, gute Leistung und kann einfach und kosteneffizient über mehrere Baureihen umgesetzt werden.

Wenn jedoch immer mehr Telematik-Dienste benötigt werden, kommt die Shark-Fin-Antenne größtenteils an ihre Grenzen. Sie ist in der Höhe gesetzlich auf max. 70 mm begrenzt. Außerdem würde die Form ab einer bestimmten Länge und Breite zu „klobig“ wirken.

Zur Lösung dieses Problems ersetzen immer mehr OEMs das Shark-Fin-Konzept durch die Integration der Antennen in einer „Farm“ unter dem Dach, genannt Antennen-Farm. Diese Konstruktion führt zu einer verringerten Kopffreiheit für die Passagiere auf den Rücksitzen aufgrund des Platzbedarfs der Antennen-Farm. Damit ein solches Antennen-Farm-Konzept gleich für mehrere Baureihen ausgelegt werden kann, müssen entsprechende mechanische Einbauuntersuchungen und eine detaillierte Planung erfolgen.

Obwohl eine Antennen-Farm meist beträchtlich größer ist als eine Shark-Fin-Antenne (zumindest was Länge und Breite angeht), ist sie dennoch in der Regel kostengünstiger, weil die sonst geforderte Wasserdichtigkeit und Lackierung entfallen können.

Noch kostenattraktiver wird dieses Konzept, wenn zusätzliche Antennen integriert werden müssen. Allerdings zeigen bestimmte Antennentypen verringerte Leistungswerte, wenn sie im Dach „vergraben“ werden, da ihre Strahlungscharakteristik beeinträchtigt ist. Dieser Effekt kann verringert werden, wenn die Antenne mehr Platz hat. Letztendlich wird das optimale Design immer ein Abwägen zwischen gewünschter Leistung und Größe erfordern.

Einen technischen Vergleich zwischen Shark-Fin-Antenne und Antennen-Farm zeigt Tabelle 1.

Funkdienst	Shark Fin (oberhalb vom Dach)	Antennen-Farm (unterhalb vom Dach)
Mobilfunk	Gut	Mittel
WiFi / Bluetooth extern	Gut	Mittel
WiFi / Bluetooth intern	NA	Gut
GNSS	Gut	Gut
SDARS	Gut	Gut
V2X nach vorne	Mittel	Schlecht
V2X nach hinten	Gut	Mittel

Tabelle 1: Technischer Vergleich Shark-Fin-Antenne und Antennen-Farm

Bei beiden Beispielen ist der Antennenteil abgetrennt vom TCU-Teil verbaut. Dadurch können OEMs beide Komponenten unabhängig voneinander beziehen. Der Kabelbaum muss für mehrere Koaxialkabel ausgelegt sein.

2.2 Kombination von Antennen und TCU

Eine Möglichkeit, wie man den Leistungsabfall einer unter dem Dach verbauten Antennen-Farm verringern kann, ist die Integration der TCU in der Antennen-Farm selbst. Dies eliminiert die HF-Kabeldämpfung, welche insbesondere bei höheren Frequenzen beträchtlich sein kann. Dieser Ansatz ist auch wesentlich kostengünstiger, da auf Koaxialkabel und Steckverbinder verzichtet werden kann. Aber obwohl der kombinierte Ansatz auf den ersten Blick große Vorteile gegenüber dem unter 2.1 beschriebenen getrennten Ansatz zu bieten scheint, gibt es auch Einschränkungen.

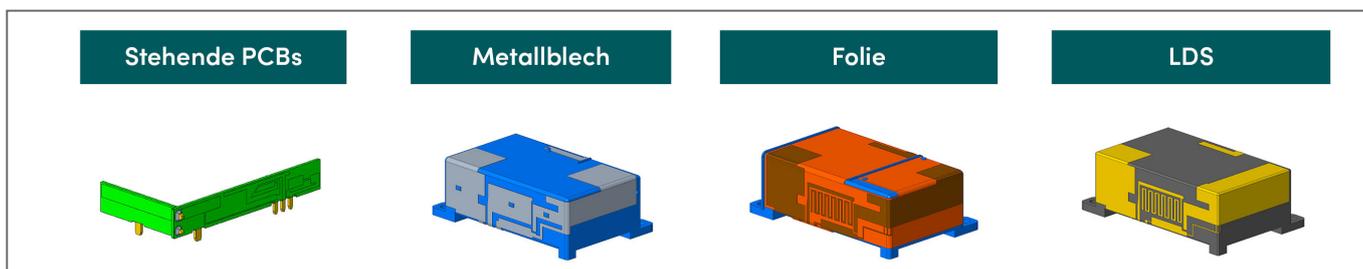


Bild 6: Überblick möglicher Antennen-Technologien zur TCU Integration

	Shark Fin ohne TCU	Antennen-Farm ohne TCU	Antennen-Farm mit TCU	TCU mit integrierten Antennen	Antennen-Farm mit Slim-TCU
Verbau-Ort	Oberhalb vom Dach	Unterhalb vom Dach	Unterhalb vom Dach	Armaturenbrett	Unterhalb vom Dach
Koaxiale Schnittstelle	Ja	Ja	Nein (digitale Schnittstellen)	Nein (digitale Schnittstellen)	Nein (digitale Schnittstellen)
Signaldämpfung auf der Leitung	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Bauraum-Integrierbarkeit	Einfach	Mittel	Schwierig	Sehr schwierig	Schwierig
Antennen-Verhalten	Gut	Gut bis Mittel	Gut	Schlecht	Gut
Lieferanten für TCU und Antennen	Trennung möglich	Trennung möglich	Aus einer Hand	Aus einer Hand	Aus einer Hand

Tabelle 2: Leistungsvergleich unterschiedlicher Antennenarchitekturen

Eine Antennen-Farm mit integrierter TCU braucht wesentlich mehr Platz unter dem Dach, da das TCU-System für mehrere Funktionalitäten verantwortlich und daher nicht gerade klein ist. Wenn aktive Elektronikkomponenten direkt unter dem Dach verbaut werden, stellt sich zudem das Problem des Wärmemanagements. Interne Tests an einem in der Sonne geparkten Fahrzeug haben eine Umgebungstemperatur von bis zu 105°C unter dem Dach ergeben. Dies kann die Entwärmung der TCU schnell zu einer großen Herausforderung machen und zusätzliche Kühlfunktionen, z. B. Thermoelemente, Ventilatoren, Lüftungskanäle von der B- oder C-Säule oder sogar einen Klimaanlageanschluss erfordern, mit der Folge weiter steigender Komplexität und Kosten.

In Fällen mit nicht ganz so hohen Leistungsanforderungen können auch andere Einbauorte für die Kombination von Antennen und TCU in Betracht gezogen werden, zum Beispiel im Armaturenbrett. Die Leistungsfähigkeit einer TCU-Farm im Armaturenbrett ist sicher nicht so gut wie im Bereich des Dachs, jedoch kann dieser Effekt etwas ausgeglichen werden, wenn das TCU-Gehäuse als Träger für die Antennen genutzt wird und dadurch den vorhandenen Platz am effektivsten nutzt. Metallstrukturen in unmittelbarer Nähe der TCU müssen sorgfältig betrachtet werden, um Leistungsverluste in diesem herausfordernden Umfeld möglichst zu vermeiden.

Antennenelemente können auf unterschiedliche Weise in die TCU integriert werden:

2D-PCB

Die Metallantennenstruktur ist Teil einer PCB-Platine, die dann auf die Hauptplatine bestückt und gelötet wird.

3D-Metallblech

Die Antenne wird als Metallblech ausgelegt und kann so auch auf die Hauptplatine bestückt und gelötet werden.

3D-Folienantenne

Die Metallantennenstruktur wird auf eine flexible Folie aufgebracht, welche auf einem Träger positioniert und in die TCU integriert wird.

3D-LDS-Antenne

Mit LDS (Laser Direct Structuring) können leitende Strukturen direkt auf Spritzgussteile aufgebracht werden. Hierfür können Kunststoffteile des TCU-Gehäuses verwendet werden.

2.3 Integration von Antennen-Farm und Slim TCU

Wenn aus Platz- und/oder Wärmemanagementgründen eine vollständige TCU-Integration nicht möglich ist, kann auch nur ein Teil der TCU integriert werden, vor allem RF-relevante Frontends wie mobiles NAD (Network Access Device), Bluetooth®/Wi-Fi® und V2X-Empfänger. In diesem Ansatz, Slim TCU Antennen-Farm genannt, kann die zentrale TCU an einer besser geeigneten Stelle platziert und über eine digitale Schnittstelle (z.B. Ethernet) an die Slim TCU-Antennen-Farm angeschlossen werden. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich der in diesem White Paper präsentierten Architekturen:

2.4 "Schwebende Masse" versus „fester Massebezug“

Bei der Umsetzung des Antennen-Farm-Ansatzes muss der Einfluss unterschiedlicher HF-Erdungsansätze und deren jeweilige Beeinflussung der Antenneneigenschaften berücksichtigt werden.

A) Fester Massebezug

Beim fest geerdeten Ansatz wird die Antennen-Farm galvanisch mit dem Dach verbunden, wodurch eine große Massefläche für die Antennen entsteht. Dies verbessert die Strahlungseigenschaften, erfordert jedoch eine größere Höhe zur Erzielung der erforderlichen Mobilfunkantennenbandbreite. In der Regel stellt eine Modulhöhe von ca. 30 mm ein guter Kompromiss dar.

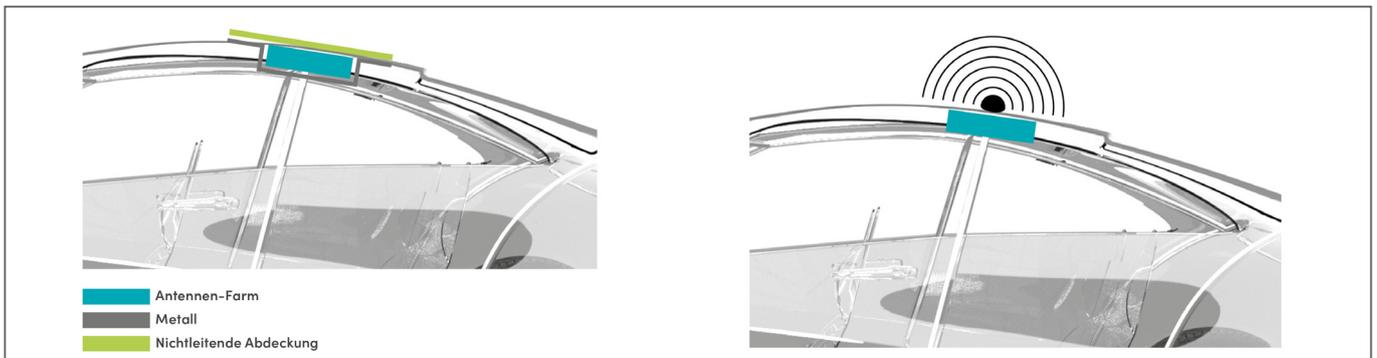


Bild 7: Integration des Kommunikationsmoduls im Fahrzeug beim Ansatz „Fester Massebezug“

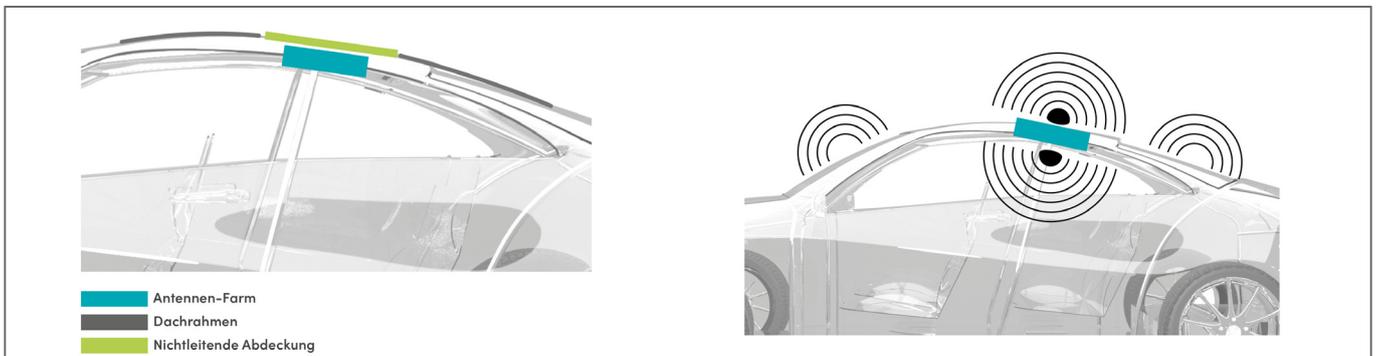


Bild 8: Ansatz „Schwebende Masse“

Bei diesem Ansatz kann die Karosserie als Wärmesenke genutzt werden und so einen Beitrag zum Wärmemanagement leisten. Im Fahrzeug wird der A- oder C-Querträger zu einer Wanne für die Antennen-Farm modifiziert, woraus ein riegelförmiges Design resultiert.

B) Ansatz „Schwebende Masse“

Bei diesem Ansatz ist die Antennen-Farm „frei“, ohne galvanische Verbindung im Autodach montiert, mit einem Spalt von idealerweise 40 mm zwischen Modul und Dach. Die Modulhöhe kann dabei auf ca. 20 mm verkleinert werden ohne auf Mobilfunkbandbreite verzichten zu müssen. Allerdings verschlechtern sich mit sich verringernder Höhe die Abstrahlungseigenschaften, wobei das Hauptproblem die Abstrahlung der Mobilfunkantennen in Richtung Zenit ist.

Zudem wird ein Teil der HF-Energie anstatt nach außen in den Fahrzeuginnenraum abgestrahlt und dort absorbiert. Zusätzlich können bei diesem Ansatz elektromagnetische Interferenzen (EMI) aus dem Fahrzeuginnenraum auftreten. Außerdem wird in diesem Konzept das Wärmemanagement herausfordernd und kann entsprechende zusätzliche Kühlung erfordern.

2.5 Rundfunk-Antennenintegration

Auch die Rundfunk-Dienste können in eine Antennen-Farm integriert werden, welche zusätzlich auf dem Dach verbaut wird. Allerdings ist dieses Konzept teurer als traditionelle Scheibenantennensysteme und verbessert die Empfangsleistung nicht wirklich.

Aufgrund der großen Wellenlängen im Rundfunk muss zudem der Dachausschnitt groß genug für ein solches System sein, in der Regel mindestens 800 x 200 mm, um eine akzeptable Empfangsleistung sicherzustellen. Weil dies in vielen Fahrzeugen schwierig umzusetzen ist, wird dieses Konzept nur selten im Automobilbereich angewandt.



3. Fazit

Die hier vorliegende Publikation zeigt auf, dass es nicht die eine perfekte Antennenlösung für moderne Fahrzeugarchitekturen gibt. Jede Lösung bietet individuelle Vor- und Nachteile, die im Hinblick auf Vorstellungen zu Kosten, Performance und Bau- raum gegeneinander abgewogen werden müssen. Im Moment ist in der Automobilindustrie ein Trend zur Kombination von Antenne und TCU unter dem Dach zu beobachten. Zwar bringt dieser Ansatz neue technische Herausforderungen in Bezug auf Wärmemanagement und Einbauort mit sich, die technischen Vorteile scheinen jedoch diese Nachteile mehr als aufzuwiegen.

Als langjähriger Tier-1-Automobillieferant verfügen wir bei Hirschmann Car Communication über umfassende Erfahrung im Design und der Umsetzung von performanten Antennensystemen für aktuelle Fahrzeuge und für die Mobilität der Zukunft. Wir unterstützen unsere Kunden mit Konzeptentwicklung, HF-Simulation, Messungen und nahtloser Elektronikintegration. Unsere weltweite Lieferkette ermöglicht uns die Erstellung kosteneffizienter Lösungen für unsere OEM-Kunden und die Entwicklung maßgeschneiderter Antennenlösungen für Tier-1-TCU-Hersteller. Gerne unterstützen wir Sie bei der Lösung Ihrer Herausforderungen in der Architektur von Antennensystemen. Sprechen Sie uns jederzeit an.

Über Hirschmann Car Communication:

Die Hirschmann Car Communication GmbH mit Sitz in Neckartenzlingen bei Stuttgart ist einer der weltweit führenden Spezialisten für Sende- und Empfangssysteme in der mobilen Kommunikation. Das Portfolio innovativer Lösungen umfasst Antennen-, Tuner- und Infotainmentsysteme für die Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie sowie maßgeschneiderte M2M- und Telematiklösungen. Das Unternehmen verfügt über Standorte in Deutschland, Ungarn, Frankreich, China, Japan und den USA. Seit Oktober 2023 gehört Hirschmann Car Communication zu USI.

Weitere Informationen finden Sie online unter www.hirschmann-car.com.

Autoren

Steffen Lang | Hirschmann Car Communication

Adrian Sigg | Hirschmann Car Communication

