

Schlussbericht (öffentlich)

ZE: Technische Universität Dresden	Förderkennzeichen: 16AVF2125A
Vorhabenbezeichnung: ATLAS60G	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2018 bis 30.06.2021	

Alle Arbeiten erfolgten für ein ziviles Fahrzeugradarsystem.

Überblick der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse

A. Technische Universität Dresden

A.1 Überblick:

Die Hauptaufgaben der Technischen Universität Dresden waren die Koordination des Projektes (AP1), schaltungstechnische Aspekte und der Entwurf der Hardware (AP3, AP4) und des Testsystems und die experimentelle Charakterisierung der Leistungsfähigkeit des Systems (AP5) im Rahmen der in Atlas60G adressierten Machbarkeitsstudie.

A.2 Überblick der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse:

- **Integrierter 60 GHz phase locked loop (PLL)-Schaltkreis in IHP-Technologie gefertigt, auf eine Leiterplatte gebondet und erfolgreich im Labor experimentell verifiziert:**

Das PLL-basierte Signalgeneratorsystem basiert auf einer integrierten Frequenzsynthesizer-Schaltung (IC). Die Komponenten dieses ICs sind ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO), ein Frequenzverdreifacher und ein Frequenzteiler. Der VCO basiert auf einer differentiellen Colpitts-Topologie in Kollektorschaltung und erzeugt Frequenzen von etwa 20 GHz in Abhängigkeit von einer Eingangsabstimmspannung (V_{ctrl}), welche von der PLL-Ladungspumpe geliefert wird. Ein Frequenzverdreifacher, der auf der Filterung der dritten Harmonischen basiert, wird zusammen mit einem Ausgangspuffer verwendet, um das zu übertragende Ausgangssignal mit einer entsprechenden Frequenzvariation um 60 GHz zu erzeugen. Das Rückkopplungssignal zur PLL wird mit einer statischen Frequenzteilerschaltung erzeugt.

Um die Systemkomplexität zu reduzieren, den Stromverbrauch zu senken und den Integrationsgrad zu erhöhen wurde für das finale System eine Lösung mit Phasenregelschleife (phase locked loop, PLL) aufgebaut. Diese Lösung basiert auf dem im Projekt entwickelten integrierten Schaltkreis bestehend aus spannungsgesteuertem Oszillator (VCO), Frequenzmultiplizierer und Frequenzteiler (A.4). Der Schaltkreis bildet mit seinem VCO die Signalquelle, die weiteren Funktionen der Phasenregelschleife (Phasendetektor, Ladungspumpe, Fractional-Teiler) werden von einem kommerziellen PLL-Chip übernommen, welcher mit einer Eingangsfrequenz bis 6 GHz arbeiten kann.

Der VCO in unserem Schaltkreis wurde auf geringes Rauschen optimiert und arbeitet um etwa 20 GHz. Der interne Frequenzteiler teilt diesen Bereich durch 4, womit das

Rückkopplungssignal für die PLL unter 6 GHz liegt. Ein Frequenzmultiplizier mit Faktor 3 setzt das 20 GHz-Signal des VCOs in den 60-GHz-Bereich um.

Die gemessene Leistungsaufnahme dieses Signalgenerators beträgt nur 0,44 W und liegt damit deutlich unter dem DDS-Signalgenerator. Das Phasenrauschen ist wie erwartet etwas schlechter. Ebenso ist die Ausgangsleistung mit -20 dBm ohne Pufferverstärker unzureichend für die Verwendung im Gesamtsystem. Es muss also in jedem Fall ein Verstärker nachgeschaltet werden.

Es wurden zwei Varianten als Leiterplatten aufgebaut: Variante 1 mit eigenem Pufferverstärker-Chip und Variante 2 nur mit dem eigenen VCO-Chip.

Für Variante 1 wurde ein direktes Chip-zu-Chip-Bondinterface realisiert, um die Signalverluste bei 60 GHz gering zu halten und eine gute Impedanzanpassung zu gewährleisten. Erwartet wurde für diese Variante ein Gewinn von etwa 15 dB am Ausgang, um etwa 0 dBm Ausgangspegel zu erreichen. Leider hat sich im Verlauf der Messung herausgestellt, dass der Pufferverstärker zwar bei On-Wafer-Messungen mit Messspitzen das erwartete Verhalten gezeigt hat, auf der Leiterplatte jedoch zum Schwingen neigte. Aus diesem Grund wurde die Variante mit dem eigenen Pufferverstärkerchip verworfen.

Da aufgrund der Schwingneigung des Pufferverstärkers keine sinnvollen Messergebnisse von der PLL selbst zu erwarten waren, wurde Variante 2 ohne den Verstärker aufgebaut. Aufgrund von Kabelverlusten im Bereich von etwa 16 dB und Verlusten im Bondinterface von etwa 10 dB war die erreichte Ausgangsleistung mit -28...-26 dBm nur sehr gering. Das Phasenrauschen und die Funktionalität (Frequenzen einstellen, Frequenzrampen erzeugen) konnte jedoch erfolgreich validiert werden. Bei deutlich höherer Ausgangsleistung ist zudem zu erwarten, dass das Phasenrauschen sich auch weiter verbessert. Der Aufbau der Variante 2 sowie Messaufbau und Messergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

- **Entwurf und erfolgreicher Labortest eines Frequenzgenerators mit Ausgangsfrequenz um 60 GHz:**

Zwei Stationen wurden entworfen und auf Leiterplatten aufgebaut mit Standardkomponenten. Beide Stationen erzeugen Frequenzrampen bei 60 GHz mit der spezifizierten Bandbreite als lokales Oszillatorsignal für das Gesamtsystem. Die Stationen wurden erfolgreich im Labor experimentell verifiziert.

- **Evaluation des Zeitabfolgeprotokolls mit einem DDS (direkte digitale Synthese)-System:**

Für die Bereitstellung einer frühen Lösung im Projekt für ein 60-GHz-FMCW-System wurden verschiedene kommerzielle Komponenten in diesem Frequenzbereich recherchiert und evaluiert. Diese können einfach beschafft werden und dienen als Platzhalter, bis die im Projekt geplanten anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreise entworfen und gefertigt sind.

Eine wichtige Komponente des Radarsystems (neben dem Empfänger) stellt der Signalgenerator dar. Eine Signalquelle auf Basis der direkten digitalen Synthese (direct digital synthesis, DDS) schien am besten geeignet. Die Hauptanforderung der Erzeugung einer kontinuierlichen Frequenzrampe für das FMCW-Prinzip des Radarsystems kann einfach erfüllt werden. Als zusätzlicher Vorteil kann das geringe mögliche Phasenrauschen im Vergleich zu einer Phasenregelschleife (PLL) angesehen werden. Nachteile eines solchen Systems sind jedoch die Komplexität, der sehr hohe Stromverbrauch und auch die eingeschränktere Bandbreite. Der kommerzielle DDS-Chip wird von einem Referenzquarz gespeist. Das Ausgangssignal des DDS wird gefiltert (Anti-Aliasing) und verstärkt und dann einem

kommerziellen PLL-Schaltkreis als Referenzfrequenz zugeführt. Der PLL-Schaltkreis verwendet einen Multiplikator. Nach erneuter Verstärkung folgt ein Frequenzverdopplerchip, welcher dann das 60-GHz-Signal ausgibt. Die Kaskade der Schaltungen begrenzt das Frequenzband.

- **Feldsimulationen, Entwurf und Vermessung von HF-Leiterplatten für die Integration eigener Chips bei 60 GHz einschließlich**
 - 60 GHz rauscharmer Verstärker (low noise amplifier, LNA)
 - 60 GHz Empfänger-Frontend (low noise amplifier and mixer)
 - 60 GHz Leistungsverstärker (power amplifier, PA)
 - 60 GHz super-regenerative oscillator (SRO)
 - 60 GHz spannungsgesteuerter Oszillator und Frequenzteiler (VCO and prescaler)
- **Entwurf und Vermessung von HF-Antennen für 60 GHz-Radarsysteme**

Fan-Antenne: Die Fan-Antenne Nr. 1 zeigte dabei die beste Kombination aus Abstrahlbreite, Bandbreite und Gewinn. Die Abstrahlrichtung ist in der Ebene der Leiterplatte (end fire radiation). Es wurde ein Antennengewinn von 5.3 dBi in Hauptabstrahlrichtung gemessen. Die Strahlbreite konnte nur simuliert werden und betrug mehr als 180° in der Ebene der Leiterplatte.

Patch-Antenne: Die Patch-Antenne Nr. 3 wurde als eine weniger komplexe Alternative entworfen, optimiert und gefertigt. Es zeigte sich eine Mehrfachresonanz, welche die Bandbreite gegenüber einem einzelnen Patch erhöht. Der maximale Gewinn beträgt 7.7 dBi in Hauptstrahlrichtung. Die Abstrahlbreite wurde zu 80° simuliert.
- **Entwurf, Aufbau und erfolgreiche Labormessungen neuer optimierter Leiterplatten für 60-GHz-Basisstationen mit geringer Signaldämpfung; dabei Nutzung und Integration einiger eigener Chips (spannungsgesteuerter Oszillator und Frequenzteiler, Empfänger-Frontend, PLL-Schaltkreis) zusammen mit kommerziellen Komponenten:**

Die Basisstation für das ATLAS-System benötigt neben dem 60-GHz-Signalgenerator (bestehend aus PLL und VCO-Chip) auch einen Empfänger (bestehend aus unserem eigenen Empfängerchip) und eine Basisbandsignalverarbeitung (bestehend auf kommerziell erhältlichen Verstärkern und einem Analog-Digital-Wandler, ADC).

Der Empfängerchip integriert dabei die Komponenten LNA (low noise amplifier) und den Mischer. Aufgrund seines voll differentiellen Eingangs kommt direkt nach dem Steckverbinder noch ein Leiterplatten-Balun zum Einsatz. Der Sendeverstärker (PA) ist ein kommerzieller 60-GHz-Verstärker. Als PLL kommt (neben unserem eigenen VCO-Chip) ebenfalls ein selbst entwickelter PLL-Schaltkreis des Lehrstuhls f. Schaltungstechnik und Netzwerktheorie zum Einsatz, welcher auch auf die Leiterplatte gebondet wird. Somit besteht der Entwurf insgesamt aus 5 gebondeten Schaltkreisen, wovon 3 Eigenentwicklungen darstellen:

- VCO + Frequenzmultiplizierer + Frequenzteiler-Chip für die Erzeugung des Signals bei 60 GHz
- PLL-Chip für die Stabilisierung des VCOs und die Erzeugung von Frequenzrampen
- Empfänger-Chip bestehend aus LNA und Mischer
- Kommerzieller Sendeverstärker
- Kommerzieller LO-Pufferverstärker

Daneben beherbergt die Leiterplatte noch zahlreiche Spannungsregler für die Bereitstellung der Versorgungs- und Vorspannungen der Chips.

- **Demonstration der grundsätzlichen Funktionalität (Primärradarfunktion und passive Abstandsmessung) mit der neuen 60-GHz-Basisstation im Labor:**
- **Machbarkeitsstudie der vorhandenen Algorithmen zusammen mit der 60-GHz-Basisstation in einem Abstandsmessszenario im Labor:**

Es konnte gezeigt werden, dass mit dem entwickelten 60-GHz-System prinzipiell sehr genaue Abstandsmessungen für zivilen Fahrzeugradarsysteme für das autonome Fahren und Parken möglich sind.

A.3 Gewonnene Erkenntnisse

Beim ersten Aufbau des PLL-Signalgenerators (und auch des DDS-Signalgenerators) mit eigenen, zu bondenden Schaltkreisen haben sich einige wissenschaftliche und technische Probleme und Herausforderungen bei hohen Signalfrequenzen um 60 GHz herauskristallisiert, die beim Entwurf und Aufbau des Gesamtsystems angemessen berücksichtigt werden müssen:

- Ein typisches Interface beim Drahtbonden kann bei 60 GHz etwa 8-10 dB Signalverlust hervorrufen.
- Beim Aufbau einer Leiterplatte mit mehreren Chips bei 60 GHz (z.B. Empfängerchip, Senderverstärker, Oszillator, etc.) muss daher auf genügend Reserve beim Signalpegel zwischen den Stufen geachtet werden. Ggf. müssen weitere Pufferverstärker vorgesehen werden, welche den Entwurf und Aufbau jedoch verkomplizieren.
- Um die Verluste des Bond-Interface zu reduzieren, müssen die Drahtlängen weiter reduziert werden. Dies ist nur möglich, wenn man die Chips nicht auf die Leiterplattenoberfläche klebt, sondern in eine Kavität, so dass am Ende die Chip- und Leiterplattenoberflächen auf gleicher Höhe liegen. Diese Variante wurde beim Frequenzverdoppler des DDS-Signalgenerators genutzt und bedeutete dort etwa 8 dB mehr Ausgangleistung. Die Kavität für den Einzelchip wurde in diesem Fall von Hand mit sehr feinen Werkzeugen geschnitten.
- Das Schneiden von Kavitäten ist nur sinnvoll für einzelne Chips ohne viele Signal-Pads. Das lässt etwas Toleranz beim Schneiden. Ansonsten beschädigt man sehr schnell die feinen Signalleitungen auf der Leiterplatte am Chip und das gesamte Board wird unbrauchbar.
- Die automatische Fertigung von Kavitäten direkt beim Leiterplattenhersteller wurde ebenfalls probiert. Leider sind die Toleranzen bei der Fertigung so hoch, dass manuelle Nacharbeit notwendig ist. Zudem steigen die Kosten pro Leiterplatte stark an.
- Um die Signalverluste weiter zu reduzieren, können bessere, verlustärmere, aber auch teurere und instabilere Leiterplattenmaterialien verwendet werden. Um die bei 60 GHz schon relevante Oberflächenrauigkeit gering zu halten und die Verluste durch den Skin-Effekt zu reduzieren bietet sich z.B. eine Versilberung der Oberfläche an. Diese wurde bei der Fertigung der Antennen angewendet. Bei der Fertigung der Signalgenerator-Leiterplatten wurde aus Kostengründen darauf verzichtet.
- Die beste Lösung für ein 60-GHz-System scheint die Vollintegration so vieler Funktionen wie möglich in einen einzelnen Chip, um Signalschnittstellen auf der Leiterplatte und Bond-Interfaces zu vermeiden. Im Idealfall sind die einzigen Bond-Interfaces bei 60 GHz jene zur Sende- und Empfangsantenne. Leider war diese Lösung aufgrund von Zeitbeschränkungen im Projekt nicht mehr machbar.

B. BOSCH

B.1 Überblick

Die Hauptaufgaben von BOSCH bestanden in der Unterstützung der Partner bei Systemspezifikation (AP2) und Systementwurf (AP3, AP4), sowie beim Systemtest (AP5).

B.2 Überblick der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse:

- **Spezifikation für Echtzeit-Lokalisierung in Parkhäusern.**

Es wird ein hochpräzises Echtzeit-Lokalisierungssystem für ein hochautomatisiertes Parken im automobilen Umfeld angestrebt. In Abgrenzung zu aktuellen Entwicklungen, z.B. Automated Valet Parking, bei denen Fahrzeuge ferngesteuert werden und ihre Position über ein Sensorleitsystem (Lidar, Laser) überwacht und gesteuert wird, liegt der Fokus hier auf zukünftige autonom fahrende Fahrzeuge im Parkhaus, mit stark eingeschränktem GPS-Empfang, die ihre Position mit Hilfe von Radar-Basisstationen exakt bestimmen.

Anforderung	Nebenbedingung		Kommentar
Anzahl der Fahrzeuge die Lokalisierungsinformationen abfragen	gleichzeitig pro Cluster	< 20	Große Parkhäuser besitzen mehrere Cluster
Positionsgenauigkeit	$v < 10 \text{ km/h}$	1 cm	
	$10 < v < 40 \text{ km/h}$	20 cm	fahren durch Parkhaus
Auswertzeit für Lokalisierungsabfrage		10 ms	
Wiederholung der Messung (kontinuierlich)		10 ms	
Leistungsverbrauch einer Basis Station		300 mW	aus Projektantrag: Eigenevaluation
Lebensdauer Batterie für Basisstation		6 Jahre	Kundenwunsch

Das ATLAS60G-Konsortium sieht das Thema Leistungsverbrauch der Basisstation als wichtig an. Dennoch haben wir dieses Kriterium für den Prototyp zurückgestellt, weil für die Neuentwicklung eines integrierten mm-Wellen-MMICs, mit diesen stromsparenden Eigenschaften, eine deutlich längere Entwicklungszeit als in diesem Förderprojekt vorgesehen, notwendig ist.

- **Übertragung der Spezifikationen in ein Radar-Anforderungsprofil.**

Wir unterscheiden zwischen optischen, radarbasierten und akustischen Verfahren. Bei den radarbasierten Verfahren kommen im freien Feld häufig Systeme zum Einsatz, welche nur die Signalstärke der empfangenen Basis-Stationen auswerten. Diese sind jedoch für die angestrebten Genauigkeiten zu ungenau. WLAN-basierte Lokalisierungsverfahren sind ebenfalls verfügbar, aber auch diese können die angestrebten Genauigkeiten von wenigen cm nicht liefern. Hochwertige UWB-Lokalisierungssysteme besitzen eine Zieltrennung von ca. 30 cm (Bandbreite 500 MHz) und können ohne Funkmehrwegeausbreitung Genauigkeiten von wenigen mm erreichen. Erst das 60 GHz Band liefert eine Bandbreite von bis zu 7 GHz, welche unterschiedliche Signallaufwege von wenigen cm auflöst.

- **Vorstellen verschiedener Systemkonzepte mit abschließender Bewertung und Auswahl.**

a) Passive Basisstation

Eine passive BS kommt ohne Stromversorgung aus und reflektiert das empfangene Radarsignal mit einer charakteristischen Antwort. Eine sinnvolle Ausführungsform wurde nicht gefunden.

b) Aktive Basisstation

Zwei Ausführungsmöglichkeiten wurden untersucht:

- SILO: Ein geschalteter "Locked Injection" Oszillator synchronisiert sich beim Einschalten mit dem empfangenen Signal, verstärkt es und sendet es wieder aus. Der Oszillator ist nur solange eingeschaltet, wie das empfangene Signal in Phase mit dem Oszillator-Ausgangssignal ist. Würde dieser nicht abgeschaltet, würde am Ende der Einschwingzeit die Oszillatorfrequenz durch den Resonanzschaltkreis des Oszillators selber bestimmt werden.

Diese Schaltung verstärkt das gesendete Oszillatorsignal phasenkorrekt. Als problematisch werden die folgenden Szenarien eingeschätzt:

- Die Basisstation empfängt die Signale von mehreren Fahrzeugen
-> Abhilfe: ein externes Timing (separater Funkkanal) sorgt dafür, dass immer nur ein Fahrzeug sendet
- Aufgrund von Mehrwegeempfang empfängt die BS überlagerte Signale mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten.

Zweibänder Übertragung: Bei der Zweibänder Übertragung wird. Das TAG im Fahrzeug sendet in der unteren Band (57-60.5 GHz) und empfängt im oberen Band (60.5-64 GHz). Nur Basisstationen werden im oberen Band senden. Alle passiven Reflektoren liefern keinen Beitrag. Über eine zusätzliche Modulation können die Basisstationen im Empfänger zugeordnet werden.

Die Hauptproblematik für dieses Konzept besteht in der Entwicklung sehr guter Filter in den Empfangswegen und ggf. einer weiteren Reduzierung des Frequenzbandes, wegen den verbleibenden Flankensteilheiten.

c) Sekundäres FMCW-Radar

Während beim primären Radar die TAGs im Fahrzeug der Master sind, benötigt das sekundären FMCW-Radar einen externen Master, der eine spezielle Timing Sequenz den BS und TAGs mitteilt, so dass sich TAG und BS entweder im Sende- oder Empfangsmodus befinden. Dafür wird zusätzlich ein separater schmalbandiger Funkkanal benötigt. Die aktive Basisstation nimmt im Empfangsmodus das empfangene Signal auf, generiert es neu und sendet das Signal wieder aus, wenn der Sendemodus aktiv ist.

Ein Nachteil bei den sekundären Radarverfahren ist die zusätzliche Synchronisation zwischen Sender und Empfänger. Zudem wird zwischen ToA (Time of Arrival) und TDoA (Time Difference of Arrival) unterschieden. Letztere Verfahren erfordern eine sehr gute Synchronisation der BS untereinander. Dafür bieten sie den Vorteil, dass das TAG im Fahrzeug nicht sendet, sondern nur empfängt. Bei diesem Verfahren ist die Anzahl der Fahrzeuge in der Parkgarage unkritisch, da sich die TAGs untereinander nicht beeinflussen.

Auswahl des Systemkonzepts:

Kriterium	SILO-Radar	Zwei-Bänder	Sekund. ToA	Sekund. TDoA
Einfluss des Phasenrauschens	niedrig	Medium (3.5 GHz Oszillator)	Hoch > 80 dBc/Hz 100kHz	Hoch > 80 dBc/Hz 100kHz
Störungen bei mehreren Fahrzeugen	Ja	Ja	Ja	Nein
Identifikation der BS	Über SILO Takt	Modulation	externer Master	externer Master
Dynamik	gut	gut	sehr gut	sehr gut
Komplexität (Demonstrator)	Bei TUD demonstriert	Benötigt sehr gute Filter und Rückkopplungsunterdrückung	Aufbau auf bestehende Basisbandverarbeitung (TUD)	Aufbau auf bestehende Basisbandverarbeitung (TUD)
Synchronisationsaufwand TAG und BS	keiner	keiner	BS und TAG < 60 ps	BS < 60 ps
Zieltrennung	>5 cm	10 cm	2.5 cm	5 cm

Als sehr hoch wurden die Störungen bewertet, die mehrere Fahrzeuge verursachen können. Insbesondere Ereignisse wie Theater, Kino, Sportveranstaltungen und Ladenschluss können Szenarien herbeiführen, wo in der Parkgarage eine große Anzahl von Fahrzeugen gleichzeitig ein-, bzw. ausparken wollen. Das TDoA-Verfahren verhält sich hier störungsmäßig so wie das GPS. Aus diesem Grunde wurde das TDoA-Verfahren für den Demonstrator ausgewählt. Da die Primär-Radarlösungen bei vielen Fahrzeugen zu Störungen führen, wurde auch entschieden, kein primäres Radar aufzubauen, sondern sich auf das TDoA Verfahren zu fokussieren. Die hohen Anforderungen bezüglich der Frequenzstabilität beim TDoA lassen zeitlich keine duale MMIC Entwicklung für ein primäres Radar zu.

- **Softwaremäßige Kalibration unter Berücksichtigung von Multipfadausbreitung mit hoher Zieltrennung.**

Eine der Herausforderung beim TDoA Verfahren ist die drahtlose Synchronisation der Oszillatoren von Sender und Empfänger. Im Projekt wurde eine zusätzliche Synchronisationsstrategie für starke Mehrwegeausbreitung unter Verwendung der gesamten Bandbreite entwickelt und kann ggf. später in den Demonstrator mit aufgenommen werden. Dieses Verfahren setzt eine Vorkalibrierung voraus, die dafür sorgt, dass Empfänger- und Sendefrequenzrampe überlappen.

Da eine exakte 100% Hardwaresynchronisation nicht möglich ist, wurde ein Verfahren vorgestellt, dass eine nachträgliche Fehlerkorrektur für breitbandig modulierte Signale softwaremäßig ermöglicht. Dazu werden zwei Fehlerparameter eingeführt: F_{Off} und $\Delta\mu_{err}$ (Abweichung der Frequenzrampensteigung vom Sender). Für eine symmetrische Frequenzrampe lässt sich F_{Off} messtechnisch ermitteln und $\Delta\mu_{err}$ aus F_{Off} berechnen.

- **Entwicklung einer planaren Antenne mit Rückseitenmetallisierung zur kostengünstigen Integration in eine bestehende Sende-/Empfängerschaltung. Weitere Anforderungen an die Antenne sind hohe Bandbreite und halbraumförmige Abstrahlung.**

Ein wichtiges Kriterium für mm-Wellenschaltungen ist die Integration: Jeder Übergang bedeutet HF-Verluste und ggf. auch Stabilitätsprobleme. Von daher empfiehlt es sich die mm-Wellenkomponenten einschließlich der Antenne auf einem HF-Substrat zu integrieren.

Die mm-Wellenantenne haben wir wie folgt spezifiziert:

- nahtlose Integration in mm-Wellen Layouts (keine Bumps, Bonddrähte oder HF Stecker)
- keine hohen Anforderungen an die Lithographie (Leiterbreiten und Gaps $\geq 100 \mu\text{m}$)
- Rückseitenmetallisierung, so dass die Antenne in ein PCP mit Rückseitenmasse integriert werden kann
- Große Bandbreite: 57-64 GHz
- Öffnungswinkel in Elevation und Azimut (ideal: Halbraumabstrahlend)

Als Trägermaterial wurde das Laminat RO4350 und als Prepreg RO4450B ausgewählt.

Es wurden 4 Varianten aufgebaut. Die Messungen der Antennenimpedanzen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen. Die Anpassung ist über einen Frequenzbereich von 5 GHz besser als -15dB und über einen Frequenzbereich von 7 GHz besser als -10 dB.

C. BASELABS

C.1 Überblick

BASELABS ist für die Entwicklung von einem Datenfusion Subsystem und einem Demonstrator zuständig. Diese Aufgaben entsprechen Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 5. BASELABS soll bei AP2.3 beitragen und ist für AP5.1, AP5.2, AP5.3 und AP5.4 zuständig.

C.2 Überblick der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse:

• **Schnittstelle zwischen Positionsdaten und Datenfusion**

Im Rahmen von AP2.3 wird Schnittstelle der Datenfusion definiert. Die Schnittstelle besteht aus

- der Schnittstelle der Positionierung durch Radar oder GNSS
- der Schnittstelle der Bewegungsdaten des Egofahrzeugs und
- der Schnittstelle für die Ausgabe der Datenfusion.

Das definierte Interface ist auch für offline Entwicklung von Datenfusion zu verwenden. Eine offline Entwicklung ist eine Entwicklung mit aufgezeichneten Messdaten, die z.B. bei einer Testfahrt eines Fahrzeugs aufgezeichnet werden. Mit vorhandenen Messdaten kann das Resultat bei der Entwicklung reproduziert werden. Als die zugrundeliegende Technologie für die Datenübertragung wird die LCM

(Lightweight Communication and Marshalling) ausgewählt. Das Interface zeigt Abbildung 1.

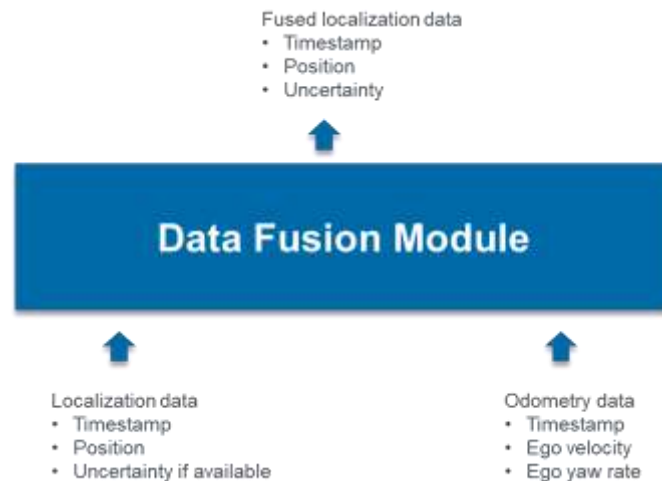


Abbildung 1: Das definierte Interface der Datenfusion.

Darüber hinaus wird das Interface vom Demonstrator auch in AP2.3 konzipiert. Neben den Positionsdaten und Bewegungsdaten des Egofahrzeugs kann eine Karte zusätzlich dazu als der Hintergrund der Visualisierung in den Demonstrator eingegeben werden.

- **Eine modulare Architektur des Datenfusion Subsystems, welches die Positionsdaten aus Radaren mit den Bewegungsdaten des Egofahrzeugs fusioniert.**

Durch Datenfusion werden die Genauigkeit und Robustheit der Positionierung durch reine Radare verbessert. Die Verbesserung liegt an folgenden Faktoren:

- Die Genauigkeit der Positionierung kann durch zwei verschiedene Sensorprinzipien verbessert werden. Insbesondere sind die Odometriedaten robust gegen räumliche Reichbarkeit oder Geistdetektionen bei Verwendung von Radaren.
- Darüber hinaus ermöglicht die Nutzung der Rotationsgeschwindigkeit des Egofahrzeugs eine Schätzung der Fahrzeugausrichtung, was bei manchen potenziellen Applikationen, wie z.B. bei einem Parking-Assistance, von großer Bedeutung ist.
- Außerdem ist das mathematische Framework der Datenfusion in der Lage, die Unsicherheitsinformation gleichzeitig zu berücksichtigen.

- **Realisierung des Demonstrators**

Der Demonstrator hat folgende Features:

- Visuelle Darstellung der Positionsdaten auf einer Karte.
- Mit simulierten Lokalisierungsdaten getestet.
- Die Karte wird durch Tile-Server bereitgestellt und aktualisiert.

Der Demonstrator ist eine Applikation auf PC-Plattform, die das Resultat und die Funktionalität online demonstriert. Das im Projekt entwickelten Datenfusion Module wird in den Demonstrator integriert. Dazu wird ein Visualisierungsmodul entwickelt, das das Ergebnis des ganzen sichtbar macht. Um eine Entwicklung mit aufgezeichneten Daten zu ermöglichen, wird ein Offline Playback Modul entwickelt. Es ist für das Einlesen von aufgezeichneten Daten aus Dateien und die Übertragung der Daten nach Datenfusion Modul mit korrekter Datenrate zuständig. Die wichtigsten Komponenten im Demonstrator werden in blau in Abbildung 2 dargestellt.

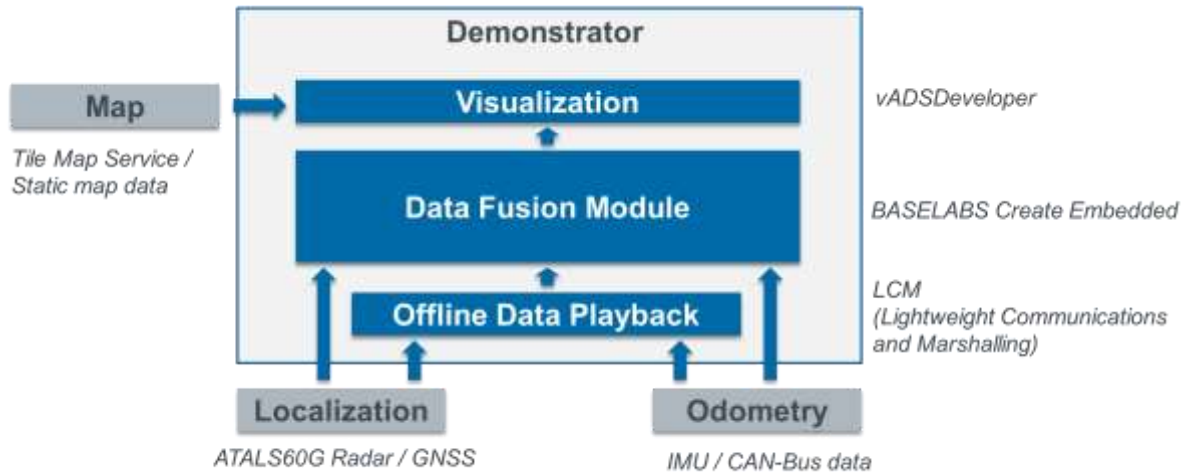


Abbildung 2. Die geplante Architektur des Demonstrators.

Die Realisierung der Data Fusion soll durch ein BASELABS Produkt, BASELABS Create Embedded erfolgen. Damit wird Datenfusion-Code entwickelt, der dann um eine Schicht mit einem LCM-Interface erweitert wird.

Für die Visualisierung wird die Funktionalität der vADSDeveloper benutzt. vADSDeveloper bietet eine Infrastruktur für Datenfusion-Entwicklung an, mit Möglichkeiten Datenfusionsergebnisse zu visualisieren.

Das „Data Playback“ Modul realisiert das Parsen von Messdaten in binären Dateien (sog. LCM Log-Dateien). Zusätzlich dazu ist das Data Playback Modul auch dafür zuständig, die eingelesene Daten nach den in Daten eingebetteten Zeitstempeln abzuspielen

2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung.

Von der Verwendung eines Primärradars (Nutzung passiver Reflektoren) wie in der Vorhabensbeschreibung angegeben, wird abgesehen, da es sich in Untersuchungen als ungeeignet herausgestellt hat. Stattdessen wurde ein Sekundärradarsystem mit aktiven Reflektoren entworfen, um die Projektziele besser erreichen zu können.

3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?

Aufgrund des Ausbruchs von COVID-19 gab es Verzögerungen. Zur Kompensation wurde eine kostenneutrale Verlängerung von 3 Monaten beantragt und genehmigt.

4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?

Nein.

5. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Nein.

6. Welche öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen wurden im letzten halben Jahr durchgeführt bzw. sind im nächsten halben Jahr geplant? (Im Schlussbericht ist eine Übersicht über alle öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen innerhalb der Projektlaufzeit zu geben).

Die TUD konnte zahlreiche Publikationen veröffentlichen und auf internationalen Konferenzen vorstellen.

Das Projekt wurde auf dem 24. Workshop des Lehrstuhls f. Schaltungstechnik, 5.-9. August 2019 vorgestellt.

7. Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des ZE brauchen nicht offenbart zu werden):

Im Rahmen der Atlas60G Machbarkeitsstudie konnte die TUD zahlreiche Publikationen veröffentlichen und mehrere Doktoranden ausbilden. Die im Projekt erarbeiteten Forschungsergebnisse sind hilfreich für die TU Dresden für die Durchführung von Folgeprojekten. Die Ergebnisse stimulieren die Innovationsfähigkeit der Industriepartner.

ZE: Technische Universität Dresden	Förderkennzeichen: 16AVF2125A
Vorhabenbezeichnung: ATLAS60G	

Anmerkung: Die Materialien sind durch das IEEE- oder IET-Copyright geschützt und können in der entsprechenden Bibliothek abgerufen werden.

Veröffentlichungen

Die Forschungsergebnisse, die im Rahmen der Atlas60G Machbarkeitsstudie erarbeitet wurden, trugen zu folgenden Publikationen bei:

- H. Ghaleb, Y. Zhu, C. Carta and F. Ellinger, "A 0.2–18 GHz Schmitt Trigger with up to 13%–85% Duty-Cycle Tuning in 130nm SiGe BiCMOS," 2019 12th German Microwave Conference (GeMiC), Stuttgart, Germany, 2019, pp. 107-110.
- Adrian Figueroa ; Niko Joram ; Frank Ellinger "Intermediate frequency variation in long range FMCW radar for harmonics cancellation" ; IET Radar, Sonar & Navigation, Volume 14, Issue 5, p.764-772, 2020.
- Ali Ferschischi; Hatem Ghaleb; Sami Ur Rehman; Corrado Carta; Frank Ellinger; "A Broadband 60-GHz Low Noise Amplifier with 3.2 dB Noise Figure and 24 dB Gain" ; 15th European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC), pp. 223-236, 2021.
- M. V. Thayyil, S. Seyyedrezaei, N. Joram and F. Ellinger, "A 60 GHz Folded Switching Stage Down-Conversion Mixer with 21 dB Conversion Gain in 22 nm FDSOI Technology," 2021 IEEE International Microwave Symposium (IMS), Atlanta, GA, June 2021 (accepted).
- M. V. Thayyil, M. Cui, J. Pliva, N. Joram and F. Ellinger, "A 60 GHz Low Power Integrated Quasi-Circulator in 22 nm FDSOI Technology," 2021 IEEE 22st Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF), Virtual Conference, 2021, pp. 15-18.
- A. Figueroa, N. Joram, F. Ellinger, "A Fully modular, Distributed FMCW MIMO Radar System with a Flexible Baseband Frequency" ; IEEE Radar Conference (RadarConf21), pp. 1-6, 2021
- H. Ghaleb, A. Ferschischi, N. Joram and F. Ellinger, "A 60-GHz Receiver Frontend With Gain-Linearity Tuning for FMCW Radar Applications," 2021 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), 2021, pp. 22-25
- M. Sakalas, N. Joram, F. Protze and F. Ellinger, "A Broadband, High Dynamic Range DPST Switch and IF Amplifier IC," 2021 IEEE 21st Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), 2021, pp. 1-4
- A. Figueroa, N. Joram and F. Ellinger, "Automatic delay and phase mismatch calibration in FMCW MIMO radar," 2020 17th European Radar Conference (EuRAD), 2021, pp. 402-405