



MSO Meßtechnik und Ortung GmbH

Radarsensorik für Land- und Baumaschinen – Technologien und Anwendungen

Dr. Peter Hien, MSO Meßtechnik und Ortung GmbH

Dieses Whitepaper gibt, basierend auf [1] zum Stand November 2016 einen Überblick und Ausblick zu ausgewählten Radarsensorik Technologien und Anwendungen im Off-Highway Bereich für Land- und Baumaschinen. Der Fokus liegt dabei auf der Nutzung und Modifikation von ausgewählten Komponenten und Modulen aus Massenmärkten, die in hohen Stückzahlen industriell gefertigt werden.

1 Radar Historie

Radar : Radio Detection and Ranging ist die Bezeichnung für verschiedene Erkennungs- und Ortungsverfahren und -geräte auf der Basis von elektromagnetischen Wellen (zumindest für Nicht – Quantenphysiker) im Radiofrequenzbereich. Radar dient der berührungslosen Erfassung, Ortung und Bestimmung von Objekten und Objektparametern wie Geschwindigkeit, Abstand und Winkel. Die Entwicklung von Radar begann vor mehr als hundert Jahren. Christian Hülsmeier meldete 1904 sein „Verfahren, um entfernte metallische Gegenstände mittels elektromagnetischer Wellen einem Beobachter zu melden“ zum Patent an. Das Telemobiloskop von Hülsmeier wurde erfolgreich demonstriert, war jedoch seinerzeit kein kommerzieller Erfolg.

Militärtechnik war und ist ein wesentlicher Anwendungsbereich der Radartechnik. Im Hinblick auf militärische Anwendungen wurde die Anwendung von Radar u.a. zur Luftraumüberwachung, im Schiffsverkehr und als Bordradar für Flugzeuge vorangetrieben.

Im Landtechnikbereich wurde Radar zur berührungslosen Messung der wahren Geschwindigkeit über Grund (TGSS True Ground Speed Sensor) bereits früh beginnend vor über 30 Jahren eingesetzt. TGSS beruht auf der Messung der geschwindigkeitsproportionalen Doppler-Frequenzverschiebung mittels Gunnelementen und Hornantennen (heute kombiniert mit dielektrischen Linsen zur Fokussierung und Verringerung des Bauraums).

Bis heute ist diese Sensorik in Stückzahlen an z.B. Traktoren als Basis von Regelsystemen für die Ausbringung (Saat, Düngung, Pflanzenschutz) und zur Schlupfregelung im Einsatz.

Bewegungsmelder auf der Basis von Doppler–Radar fanden in den letzten Jahren weite Verbreitung z.B. für automatische Türöffner. Diese Radar Doppler Frontends können vielseitig eingesetzt werden, beispielsweise zur Geschwindigkeitsmessung und Erfassung von Gutstromparametern, wie im folgenden dargestellt.

Ein kaum für möglich gehaltener exponentieller Entwicklungs- und Stückzahlenschub für Radartechnologien verbunden mit erheblicher Kostenreduktion ist in den letzten Jahren aus dem Automotive Bereich und Bewegungsmelder zu verzeichnen. Als einer der ersten Kfz Hersteller führte 1999 Mercedes–Benz das ACC Bosch Distronic in die Serie ein. Handelte es sich anfänglich um Anwendungen im Premium Segment, sind Radartechnologien im Kfz Bereich heute in unterschiedlichen Anwendungen weit verbreitet.

Stichworte, die den automotiven Anwendungsbereich zur Erfassung und Wahrnehmung der Umgebung des Fahrzeuges umreißen sind (s. Abb 1.):

ACC Adaptive Cruise Control (abstandsgeregelter Tempomat), blind spot monitoring, cross-traffic alert, pre-crash detection, automated parking, perimeter surveillance, Radar Cocoon



Vehicle functions with InnoSent RADAR technology

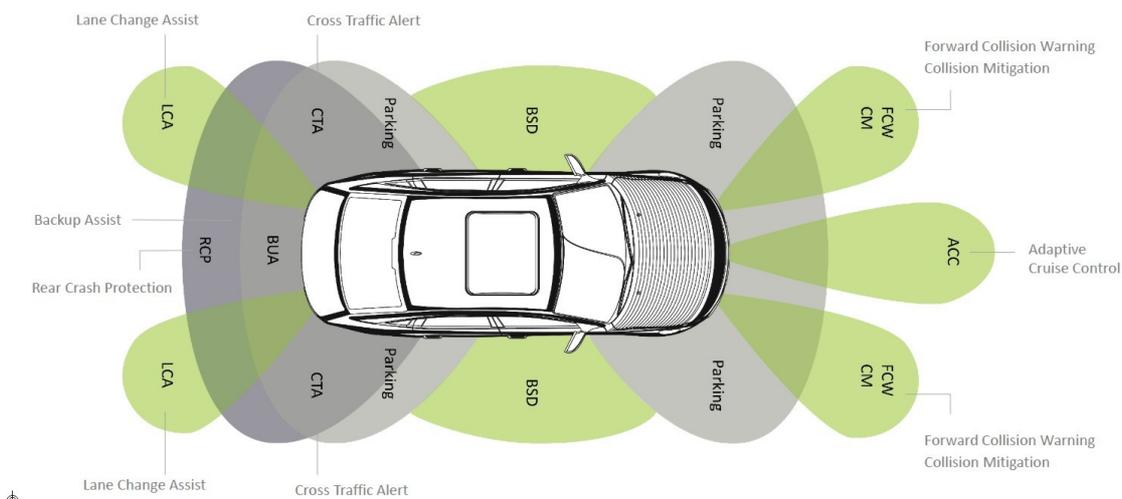


Abb. 1 : Radaranwendungen am Kfz [2]

Die Entwicklung von ADAS Advanced Driver Assistance System, Fahrerassistenz hin zu teil- und vollautonomen Systemen ist erkennbar. Radarsensorik bietet hier ein Element in Sensor-Fusionsystemen mit u.a. Kameras und LIDAR (light detection and ranging).

Die enorme Entwicklung der Radartechnologien wurde durch parallele Entwicklung von Halbleitertechnologie, Signalverarbeitung mittels leistungsfähiger MCUs, DSPs und FPGAs und Algorithmen und deren Softwareimplementierung ermöglicht.

2 Radar - Grundsätzliches

Der Frequenzbereich aktueller im praktischen Einsatz befindlicher Radarsysteme liegt hauptsächlich zwischen 24 GHz und 120 GHz. Internationale Regelungen bestehen für sogenannte ISM (Industrial Scientific Medical) Frequenzbänder bei 24, 60, 77, 120 GHz.

Die ausgesandte Leistung aktueller Kleinradare von z.B. 10 bis 20 mW EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) ist sehr gering im Vergleich zur Peak Leistung von 1.000 mW eines Mobiltelefons GSM-1800 oder 200 mW eines LTE Mobiltelefons.

Betrachten wir die empfangene Signalleistung nach diffuser Reflexion an einem Objekt, so berechnet sich diese nach der sog. „Radargleichung“.

$$\frac{P_e}{P_s} = \frac{g^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4 \Pi) \cdot D^4}$$

Dabei bedeuten:

P_e Leistung des empfangenen Signals

P_s Sendeleistung

λ Wellenlänge des Sendesignals (z.B. 12 mm bei 24 GHz, 5 mm bei 60 GHz)

σ Rückstreuquerschnitt eines Objekts (RCS Radar Cross Section)

D Abstand Radarsensor zum Objekt

g Antennengewinn bei gleicher Sende-/Empfangsantenne

Mit der **Radargleichung** kann die Empfängerleistung P_e in Abhängigkeit von der Sendeleistung P_s , der Entfernung und den Eigenschaften des Objektes ermittelt werden.

Der Rückstreuquerschnitt (RCS) eines Objekts ist eine komplexe, experimentell zu bestimmende Größe. Der RCS ist von der Form und den Materialeigenschaften des Objekts abhängig. Der RCS eines Menschen entspricht beispielweise dem einer stark zusammengeknautschten Coladose. So weist der gewölbte Boden der geknautschten Coladose durch Fokussierung und in Abhängigkeit der Ausrichtung zum Radar jedoch einen sehr großen Radarquerschnitt auf.

3 Radar - Anwendungen in der Landtechnik

Die Landtechnik ist als besonders anspruchsvolles Umfeld gekennzeichnet durch Staub, extreme Temperaturen und Temperaturschwankungen, Nebel, Regen, Feuchtigkeit, Verschmutzung, Wind usw.

3.1 Geschwindigkeit von Fahrzeugen und Gutströmen

Erste Anwendungen von Doppler-Radar zur berührungslosen, schlupffreien Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen - sogenannte TGSS T r u e G r o u n d S p e e d S e n s o r (Abb. 2) – liegen mehr als 30 Jahre zurück. Die Landtechnik hat diese Technik frühzeitig adaptiert und in hohen Stückzahlen angewendet bzw. wendet diese weiterhin an. Die Notwendigkeit einer hochgenauen schlupffreien Messung der wahren Fahrgeschwindigkeit ist unbestritten als Grundlage für sämtliche Verteilvorgänge und Schlupfregelung für Bodenbearbeitung etc.

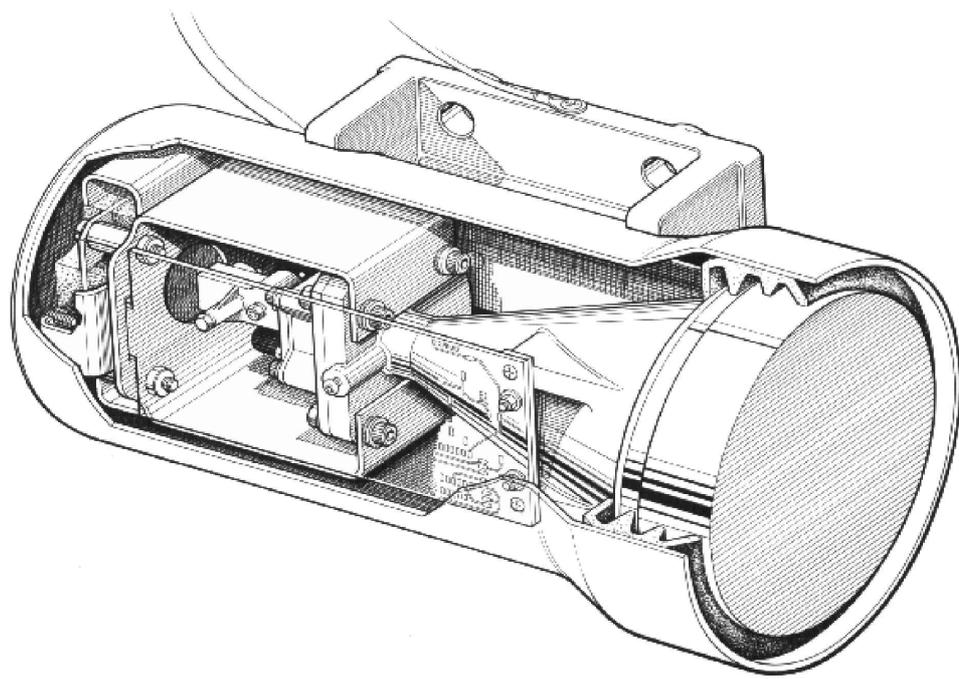


Abb. 2: TGSS von RDS Technology einer frühen Ausführung [3]

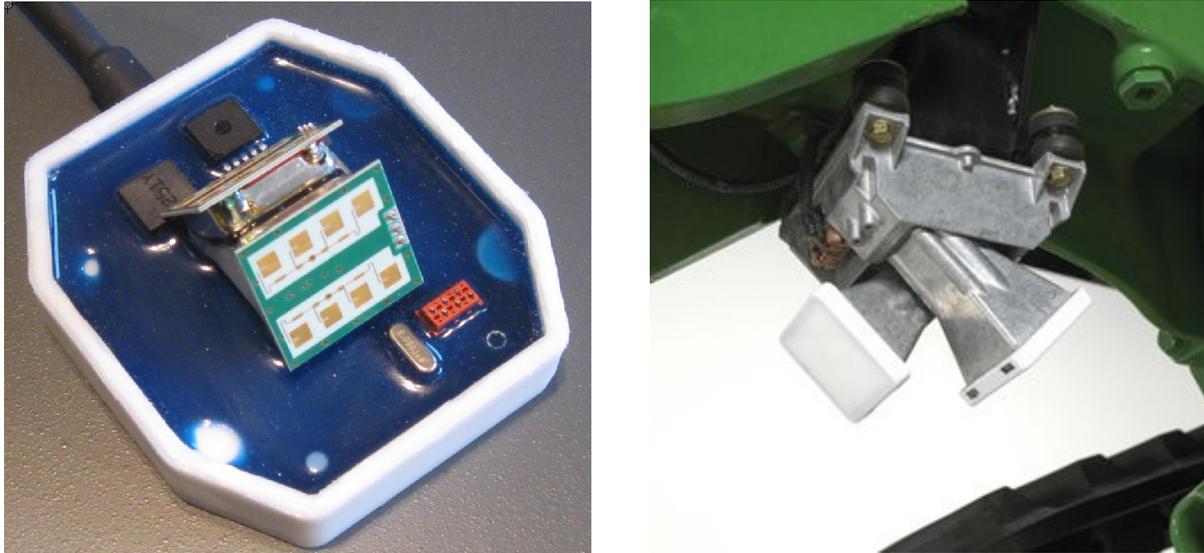


Abb. 3: Radar Geschwindigkeitssensoren in Janus-Konfiguration, links: MSO SpeedWedge, rechts: John Deere Radarsensor, Firmenphotos

Stand der Technik sind Radar Geschwindigkeitssensoren in sogenannter Janus Konfiguration (s. Abb. 3) mit in und gegen die Fahrtrichtung weisendem Radar-Frontend zur Verringerung der Abweichungen aufgrund veränderlichen Anstellwinkels sowie Nick-, Gier- und Rollbewegungen des Fahrzeuges.

Doppler - Radarsensoren bieten ebenfalls Lösungen zur Geschwindigkeitsmessung von Gutströmen und Förderbändern etc.

3.2 Erfassung von Gutstromparametern

Radarsensorik bietet neue Lösungen zur Erfassung von Gutströmen aus Partikeln (z.B. Saatgut, Mineraldünger etc.) und Flüssigkeiten in Leitungssystemen sowie von geworfenen Gutströmen.



Abb. 4: MSO SeeDector Sensor montiert (links); MSO SeeDector Sensor offen (Mitte); Auszeichnung des SeeDector mit der Silbermedaille der DLG Neuheitenkommission zur Agritechnica 2011 (rechts), Firmenphotos MSO

Der MSO SeeDector Sensor [4] wird zur Durchsatzerfassung und Geschwindigkeitsmessung von Saatgut und mineralischem Dünger sowie Flüssigkeiten wie Gülle oder Flüssigdünger bei der Förderung in Leitungssystemen eingesetzt. Vorteile von Radar werden hier beispielhaft deutlich: verschmutzungsunempfindlich sowie Messung durch dielektrisches Material - hier den Kunststoff der Schläuche - hindurch. Aufgrund des Dopplerverfahrens wird **nur** in Bewegung befindliches Material erfasst.

Der MSO SeedMon zur Durchsatz- und Blockadeüberwachung integriert die SeeDector Sensoren in einer flexiblen nachrüstbaren Systemlösung mit einem Bordcomputer mit spezieller Monitoring Software (s. Abb. 5).



Abb. 5: MSO SeeDector Sensoren an einer Sämaschine (links) und einem Gülleverteiler (Mitte), Integration im System MSO SeedMon zur Blockadeüberwachung (rechts) [5]

Eine weitere realisierte Anwendung des Messprinzips Doppler Radar ist die Erfassung geworfener Gutströme z.B. Mineraldünger hinsichtlich Menge und Verteilung. Die Systeme Axmat (Abb. 6) der Rauch Landmaschinen – eine gemeinsame Entwicklung mit der MSO und Argus Twin (Abb. 7) der Amazonen Werke erfassen die Verteilung des Streufächers am Schleuderstreuer im Abwurfbereich und regeln diese über den verstellbaren Aufgabepunkt des Gutstroms auf die Schleuderscheibe.



Abb. 6: Rauch Axmat Bild oben : Schwenkarmsystem zur Erfassung der Querverteilung am Schleuderstreuer (Firmenphoto MSO); unten : Rauch Axmat plus als ortsfestes Ringsegment mit 27 Radarsensoren (Pressephoto Rauch)

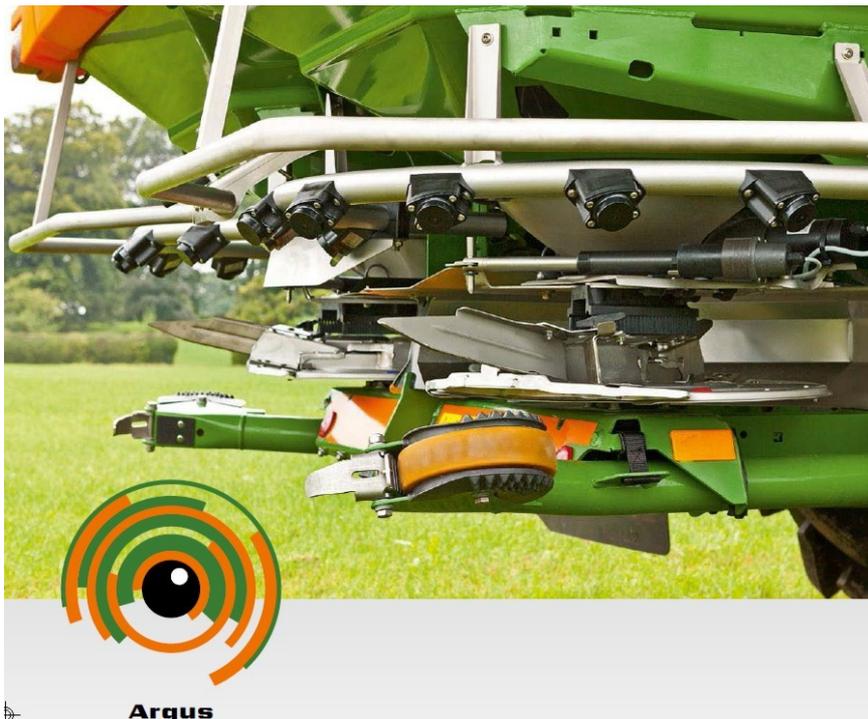
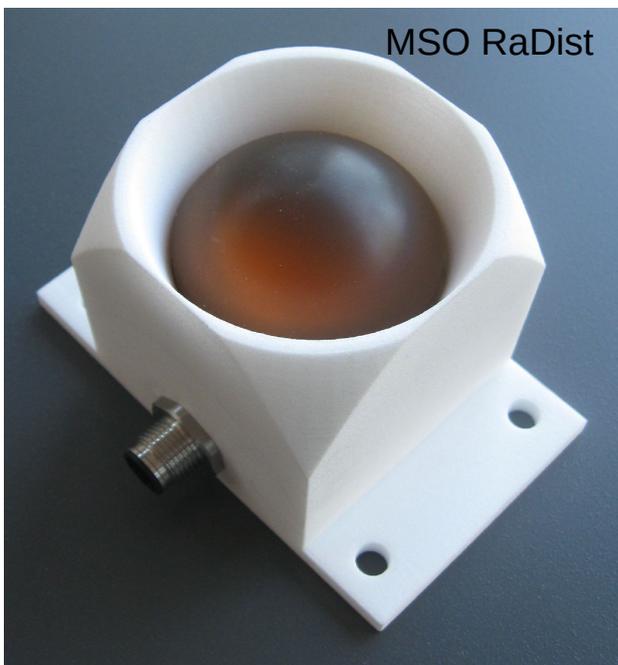


Abb. 7: Argus Twin, Amazonen Werke, zur Erfassung der Querverteilung am Schleuderstreuer [6]

3.3 Abstandsmessung



Aktuelle FMCW Kleinradare zur Abstandsmessung (s. Abb. 8) bieten multi-target Fähigkeit, d.h. mehrere Abstände in einem Messszenario können gleichzeitig erfasst werden z.B. für verbesserte Höhen- und Lageregelung durch gleichzeitige Messung des Abstands zur Pflanzenbestandsoberkante und Bodenoberfläche. Anwendungsbeispiele sind die Höhenregelung von z.B. Schneidwerk, Pick-Up Höhen- und Lageregelung eines Spritzgestänges, Gestänge von pneumatischen Düngerstreuern, Abstandsmessung und Erfassung von Bestandeslücken z.B. im Obstbau.

Abb. 8: MSO RaDist Abstandssensor, Firmenphoto MSO

4 Radaranwendungen in der Landtechnik – Ausblick

4.1 Entwicklungstrends

Starke technologische Impulse und neue Lösungsansätze kommen insbesondere aus dem Bereich der automotive Anwendungen und deren exponentieller Entwicklung. Entwicklungen aus weiteren Massenmärkten wie HMI Human - Machine Interface bzw. Gestensteuerung wie im Projekt Google ATAP (Advanced Technologies and Projects) Soli in Zusammenarbeit mit Infineon ([7] und [8]) sind zu beobachten und bieten Nutzenanwendungen in der Landtechnik.

Entwicklungstrends und -linien der letzten Jahre werden fortgesetzt. Kleinradare mit höheren Frequenzen, aktuell von 24 auf 77 GHz und 120 GHz und weiter auf 240 GHz und damit einhergehende geringere Baugröße und höhere Integration werden realisiert.

4.2 Integration

Zum aktuellen und kurzfristig absehbaren Stand der Technik werden bisher diskret aufgebaute Systemelemente in digitalen Frontends und Chipsätzen integriert.

- Integration des Radar Hochfrequenzteils in SiGe Chips z.B. Infineon BGT24MTR12 bei 24 GHz
- Integration in Chipsätzen mit Radar Hochfrequenzteil und Verarbeitungseinheit sowie mit Schnittstelle wie z.B. CAN-FD, Flexray, BroadR-Reach zur Systemanbindung (Beispiel NXP Chipsatz [9])

Die Integration von Radarfrontend und Verarbeitungseinheit in einem Chipsatz ermöglicht sehr kompakte und leistungsfähige Kleinradare (s. Abb. 9).

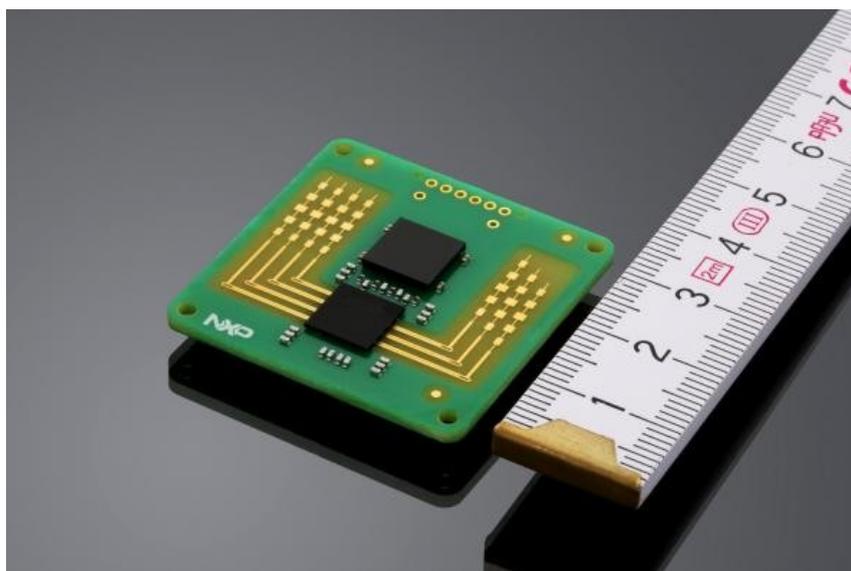


Abb. 9 : 77 GHz Nahbereichsradar, Designkonzept von NXP mit 3 x Sende - und 4 x Empfangsantennen [9]

Das Google Soli Projekt (s. Abb. 10, [7], [8]) zielt mit einem hochintegrierten 60 GHz Radarsystem auf den Massenmarkt berührungsloser Gestensteuerung.

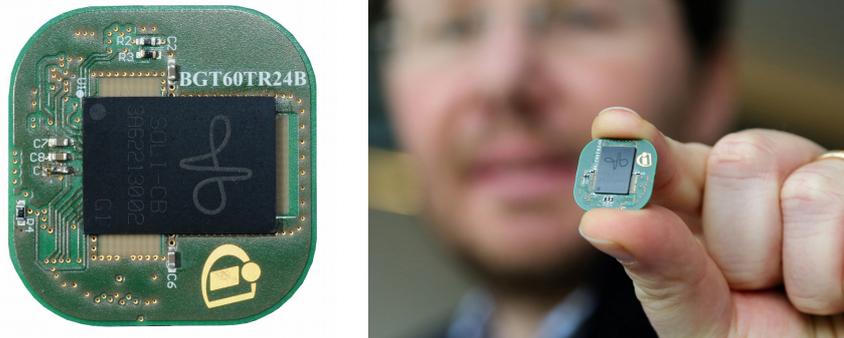


Abb. 10: Development Kit des Google ATAP (Advanced Technology and Projects) Soli Projekts, integriertes 60 GHz Radar zur Gestensteuerung mit Sende- und Empfangsantennen im Package, links: PCB mit Infineon BGT60TR24B Radar Chip [7], rechts: Größenvergleich [8]

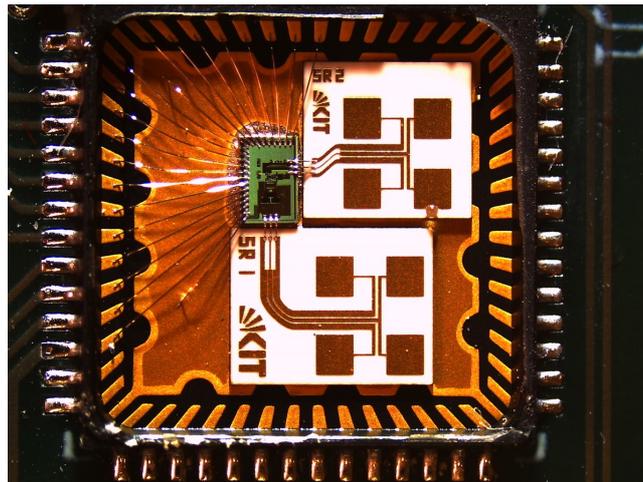


Abb. 11: 120 GHz Radarchip in einem 8x8 mm QFN (quad flat no leads) Package mit Sende- und Empfangsantennen, Photo KIT IHE [10]

Im Gemeinschaftsprojekt SUCCESS wurde die Integration eines 120 GHz Radar-Chips mit der Antenne (s. Abb 11) in einem Package realisiert.

Die Integration des Radar Chips mit Antennen in einem Gehäuse ermöglicht kompakte Kleinradare (s. Abb. 12) mit hoher Funktionalität.



Abb. 12: Evaluation Kit für 120 GHz FMCW Radar von Silicon Radar [11] mit dielektrischer Linse

4.3 Umfelderkennung

Bereits der aktuelle Stand teilautonomer Führungssysteme („Parallelfahrssysteme“) sowie hohe Arbeitsbreite und -fahrgeschwindigkeit machen eine Umfelderkennung an Landmaschinen sinnvoll und notwendig. Ziel ist es, Schäden und Ausfallzeiten an Maschinen präventiv zu vermeiden. Radar bietet hier Lösungsansätze „stand alone“ oder in Sensor-Fusion mit optischen Systemen (Kamera, Lidar (Light detection and ranging), Scanner) mit Vorteilen im gegebenen anspruchsvollen Umfeld (Staub, Verschmutzung, Nebel ...).

Anwendungsbeispiele sind: Schäden durch Anfahren am Gestänge vermeiden z.B. an der Pflanzenschutzspritze mit engem Einsatzfenster, pneumatische Düngestreuer, Schneidwerke und Pick-Ups, Erntemaschinen wie Mähdrescher und Feldhäcksler mit nebenher fahrenden Überladewagen.

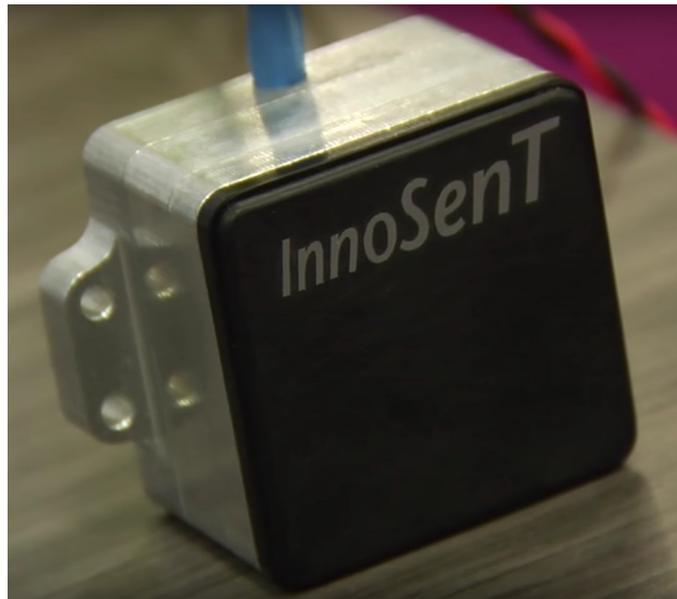


Abb. 13.: Implementation eines 77 GHz Nahbereichsradars zur Umfelderkennung von Fahrzeugen von InnoSent [12]

Die Abb.13 zeigt ein kompaktes und hochintegriertes Nahbereichsradar System auf Basis eines 77 GHz Chipsatzes von NXP [9]. Das System integriert die Umfelderkennung mit Verarbeitung und einer BroadR-Reach automotive Ethernet Schnittstelle zur Systemanbindung.

Zukünftige autonome Fahrzeuge benötigen robuste, zuverlässige und kosteneffektive Umfelderkennung und -überwachung. Die Anwendung entsprechend adaptierter und modifizierter Lösungen aus dem automotive Sektor erscheint hier möglich.

5 Zusammenfassung

Radartechnologie blickt auf eine über 100 jährige Geschichte zurück. Die Entwicklung der letzten Jahre erfolgte mit einer nicht für möglich gehaltenen Geschwindigkeit und Innovationshöhe.

Technologietreiber ist hier insbesondere der automotive Sektor mit sehr hohen Stückzahlen.

In diesem WhitePaper wurden neuartige Anwendungen zur Gutstromerkennung sowie die multi-target fähige Abstandsmessung aufgezeigt. Ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Anwendungen der Umfelderkennung wurde gegeben.

Es lohnt sich die Entwicklung der Radartechnologie zu verfolgen und zur Optimierung der Landtechnik zu nutzen.

6 Referenzen

- [1]: Peter Hien: Vortrag auf der 74. Internationalen VDI Tagung Land.Technik 22.11.2016, Köln „Radarsensorik in der Landtechnik – Technologien und Anwendungen“
- [2]: Firmenpräsentation InnoSenT, Donnersdorf : „Leading in Radar“
- [3]: TGSS Model 012 von RDS Technology Ltd., Specifications 24/06/98
- [4]: „Method for measuring a material flow by means of microwaves“, Patent No. US 8,915,144 B2 Dec. 23, 2014
- [5]: Firmenphotos MSO und Produktdatenblatt MSO SeedMon (SeedMon-De-2015 V3_2) <http://www.mso-technik.de>
- [6]: Amazonen Werke Firmenbroschüre ZA-TS Mi 5300 11.15
- [7]: Google ATAP & Infineon joint effort on gesture control with radar technology 23.05.2016 von Graham Prophet, EDN Europe <http://www.edn-europe.com/news/google-atap-infineon-joint-effort-gesture-control-radar-technology>
- [8]: Pressemitteilung Infineon: „Gestensteuerung revolutioniert Bedienung von Geräten – Google ATAP und Infineon erweitern Partnerschaft bei „Soli“-Radartechnologie“; <http://www.infineon.com/cms/de/about-infineon/press/press-releases/2016/INFXX201605-061.html>
- [9]: CES: NXP zeigt weltweit kleinsten 77GHz-Single-Chip-Transceiver, Götz Fuchslocher am 05. Januar 2016; <https://www.automobil-produktion.de/maerkte/ces-nxp-zeigt-weltweit-kleinsten-77ghz-single-chip-transceiver-114.html>
- [10]: Prof. Dr.-Ing. Thomas Zwick, KIT IHE Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik (IHE), „Silicon-based Ultra Compact Cost-Efficient System Design for mmWave-Sensors (SUCCESS)“, https://www.ihe.kit.edu/3670_3701.php
- [11]: Firmenbroschüre von Silicon Radar
- [12]: Nao Motoyama NXP, 31.05.2016, „Millimeter Wave Radar for Breakthrough Auto Designs“, <https://www.youtube.com/watch?v=9TNbJoqdmxM>, Screenshot @ 1:32