

Radar

Ein zentraler Sensor für die erfolgreiche Umsetzung von automatisiertem bzw. autonomem Fahren ist der Radar (engl.: Radio detection and ranging). Dabei werden elektromagnetische Wellen im Radiofrequenzbereich ausgesendet und deren Reflexion an Objekten in der Umgebung (das Echo) wieder erfasst. Daher werden Radar-Sensoren ebenso wie LiDAR- oder Ultraschall-Sensoren den aktiv messenden Systemen zugeordnet. Das erste Radarsystem in einem Fahrzeug wurde 1998 für die Funktion der adaptiven Geschwindigkeitsregelung eingeführt¹. Inzwischen ist die Radartechnologie gemeinsam mit der Kameratechnologie der zentrale Bestandteil für Assistenzsysteme.

Radarsysteme bestehen grundsätzlich aus einem Sender, der hochfrequente Schwingungen erzeugt, einer Antenne, welche die elektromagnetischen Wellen aussendet und das Echo wieder aufnimmt, und einem Empfänger, der die Echosignale von störendem Umgebungsruschen trennt und in ein digitales Signal umwandelt. Dadurch können Abstand, Geschwindigkeit und Richtung von Umgebungsobjekten ermittelt werden.

Die Roadmap zum Modul „Radar“ umfasst die Technologietrends „Miniaturisierung“, „Sensorfusion“, „OFDM RadCom“, „79 GHz-Radar“, „Radar im niedrigen THz-Bereich“ und „4D Imaging Radar“. Die Technologien „Sensorfusion“ und „79 GHz-Radar“ sind technologisch weit entwickelt, zukünftig werden kurz- bis mittelfristig vor allem Impulse bei der industriellen Herstellung erwartet. Die anderen Technologien werden die Produktionsreifegrade voraussichtlich erst mittel- bis langfristig erreichen.

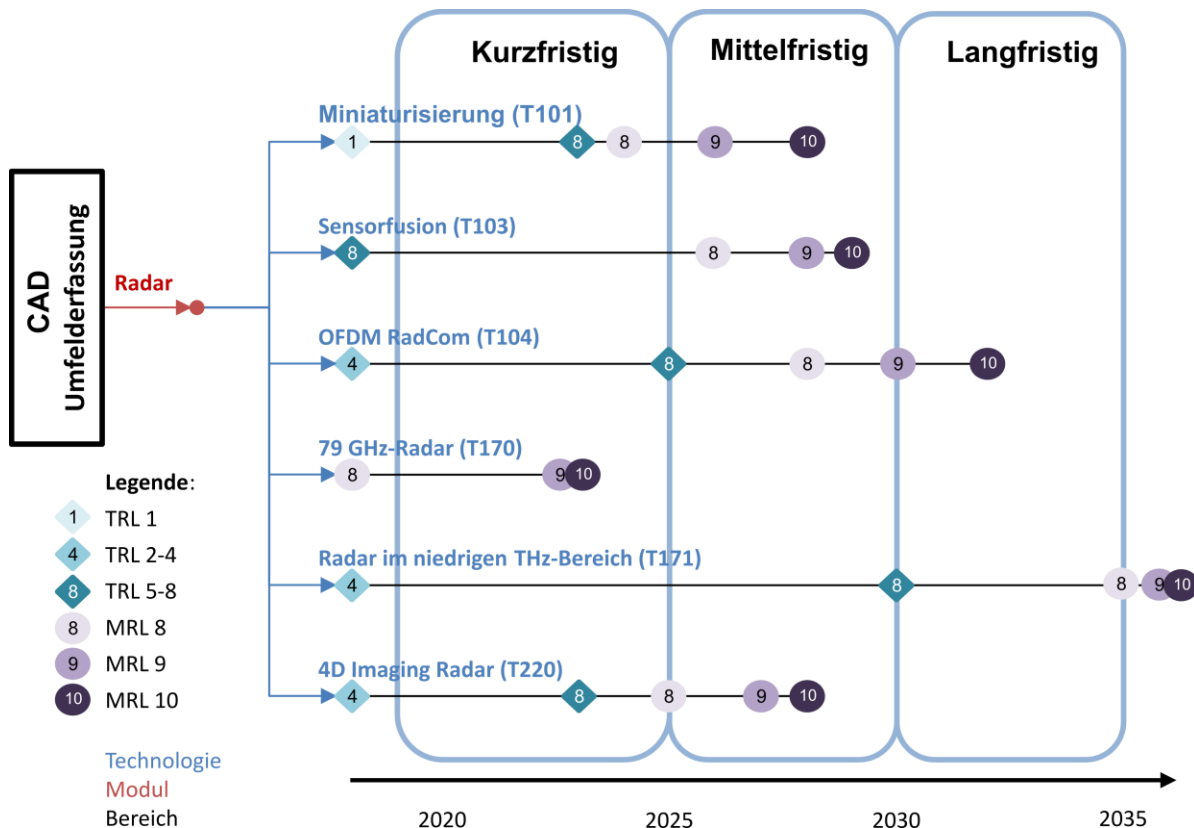


Abbildung 1: Roadmap "Radar", 2020–2035 (Quelle: eigene Darstellung)

Eine Klassifizierung unterschiedlicher Radarsensoren erfolgt vorwiegend anhand der Frequenzbereiche, in denen sie operieren: Zu Beginn der automobilen Radarentwicklung wurde am 10 GHz-Bereich geforscht, heute am Markt verfügbare Radarsysteme operieren im Be-

reich von 24 GHz (Schmalband: 24,0-24,25 GHz oder Breitband bzw. UWB: 21,65-26,65 GHz) oder 77 GHz (76-77 GHz)². Der 24 GHz UWB Frequenzbereich wird allerdings ab 2022 in den USA und Europa verboten. Für die zukünftige Entwicklung zeichnen sich eine weitere Steigerung der Frequenzen sowie breitere Frequenzbänder ab (siehe Roadmap). Allerdings können die Systeme auch nach der Wellenform unterschieden werden: Die einen Systeme senden gepulste Wellen aus, während andere eine kontinuierliche Welle aussenden. Für die Messung von Abstand und Geschwindigkeit müssen die Wellen moduliert werden.

Anhand der Größen Amplitude, Frequenz und Phase kann die Welle derart „gekennzeichnet“ werden, dass sie als Echo mit dem Ausgangssignal verglichen werden kann. Bei einem Puls wird ein kurzer Wellenzug gebildet und dessen Laufzeit für die Entfernungsbestimmung gemessen, die Frequenzänderung liefert gemäß Doppler-Effekt die Relativgeschwindigkeit des Objektes. Bei den heutigen Radarsystemen überwiegt allerdings der Einsatz der Dauerstrich-Frequenzmodulation (FMCW; Frequency Modulated Continuous Wave), weil dieses Verfahren bessere Eigenschaften beim hinsichtlich Stromverbrauch und Entfernungsauflösung besitzt. Dabei wird die Frequenz des Signals kontinuierlich verändert. Das Frequenzmuster des Echos wird mit dem Referenzsignal verglichen und ermöglicht Informationen über Abstand und Geschwindigkeit.³

Die Bestimmung der Richtung erfolgt entweder über mechanisches Drehen der Antennen oder durch elektronisches Schwenken des Strahls. Werden zwei Sensoren verwendet, dann kann durch Überlagerung der Signale zusätzlich der Winkel bestimmt werden, in dem das Objekt zum Fahrzeug steht.

Der große Vorteil von Radarsystemen gegenüber optisch-basierten Sensoren wie LiDAR und Kamera ist deren hohe Leistungsfähigkeit unter schlechten Wetterbedingungen, starker Sonneneinstrahlung, die sehr hohe Reichweite, die Möglichkeit, hinter elektromagnetisch durchlässigen Materialien platziert zu werden und das Vermögen, sogar von anderen Gegenständen verdeckte Objekte zu erkennen. Außerdem ist die Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung sehr genau und der Sensor arbeitet genauso gut bei Tag wie bei Nacht. Vor allem metallische Objekte werden äußerst zuverlässig detektiert. Diese Stärken etablierten den Radar schnell als zentralen Sensor für verschiedene Assistenzsysteme wie beispielsweise den Totwinkelassistenten, die adaptive Geschwindigkeitsregelung, die Kollisionswarnung oder den Notbremsassistenten⁴.

Bei Funktionen, die eine sehr hohe Auflösung oder Farbsehen erfordern, zeigt die Radar-Technologie Schwächen. Beispielsweise ist im Vergleich zu LiDAR Systemen die Trennschärfe deutlich schlechter. Auch eine Klassifizierung von Objekten ist mit Radar nicht direkt möglich, d.h. das System erkennt nur, dass ein Objekt vorhanden ist, kann aber verschiedene Objekte nicht auseinanderhalten. Spurhalteassistenten, Ampelassistenten oder Straßenschilderererkennung benötigen Farbsehen bzw. sehr gute Kontrasteigenschaften – auch hierfür ist Radar ungeeignet. Mit Systemen im niedrigen THz-Bereich wird aber an einer Radartechnologie geforscht, die eine hohe Trennschärfe ebenso wie gute Kontrasteigenschaften liefern kann (siehe Roadmap). Damit könnten sich in Zukunft weitere Anwendungsfelder für Radarsysteme eröffnen.

Typischerweise werden Radarsysteme in drei Anwendungsklassen anhand ihrer Reichweite eingeteilt: Nahbereich (Short-Range Radar, SRR), mittlerer Bereich (Mid-Range Radar, MRR) und Ferndistanz (Long-Range Radar, LRR). SRR operieren von ca. 0,5 m bis ca. 30 m, haben einen breiten Öffnungswinkel von bis zu 90° (idealerweise 120°) und eine gute (Winkel-) Auflösung von ca. 0,5° (basierend auf einer breiten Frequenzbandbreite). Radarsysteme für die Ferndistanz haben einen kleineren Öffnungswinkel (ca. 15-20°) und eine geringere Auflösung, aber dafür eine Reichweite von bis zu 250 m⁵. Zusammenfassend sind wichtige Kenngrößen für Radarsensoren: Entfernungsbereich und -auflösung, Öffnungswinkel, Winkelauflösung, Relativgeschwindigkeitsbereich und -auflösung, Größe, Kosten und Stromverbrauch.

Bei der Analyse von Patentanmeldungen sind Bosch, Mercedes-Benz und Audi als deutsche Unternehmen in den Top-Ten weltweit vertreten. Je zwei Unternehmen aus den USA (Ford und GM) und Japan (Honda und Toyota) sind unter den Top-Five. Ein Unternehmen aus China und zwei aus Südkorea vervollständigen die Darstellung. Insgesamt sind weitere drei deutsche Firmen in der Technologieentwicklung und mit Patentanmeldungen in diesem Bereich aktiv.

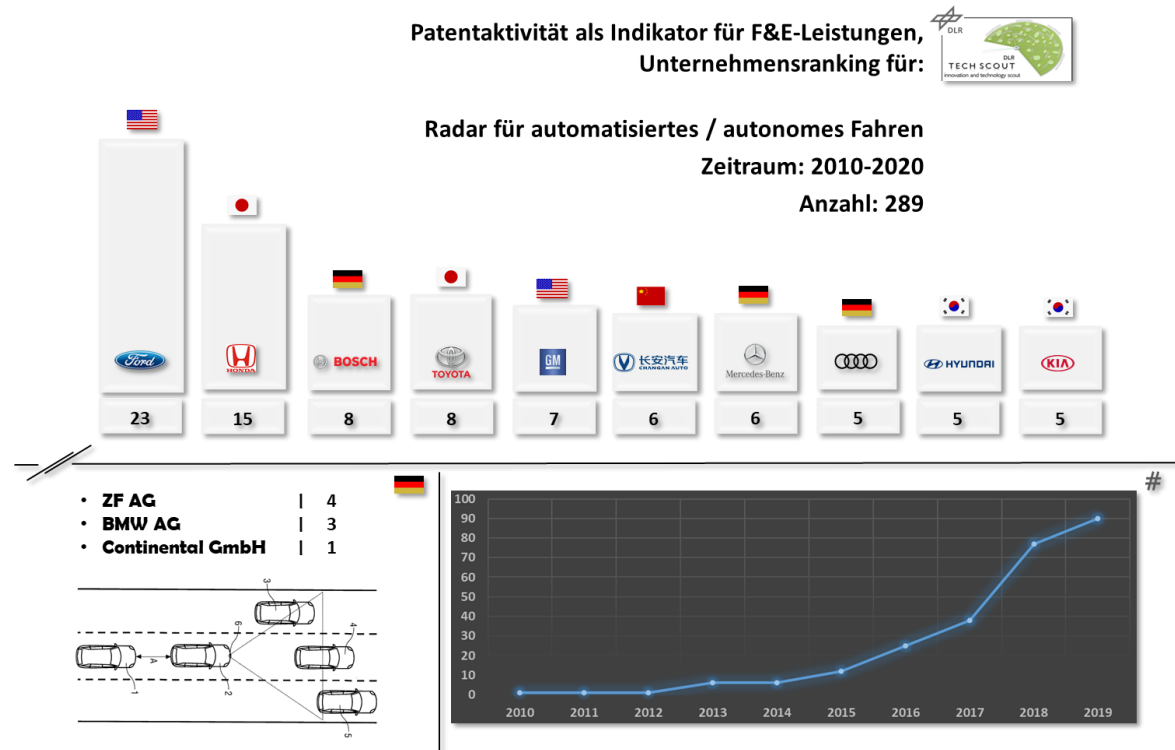


Abbildung 2: F&E-Aktivitäten / Patentanalyse im Bereich „Radar für automatisiertes/autonomes Fahren“, 2010–12/2020 (Quelle: DLR TechScout⁶ mit Daten des European Patent Office, 2021)

¹ Hermann Winner, Hrsg., *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort; mit 45 Tabellen*, 2., korrigierte Aufl, Praxis ATZ/MTZ-Fachbuch (Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2012).

² Winner, Citigroup, „CAR OF THE FUTURE v4.0“, Januar 2019; F. Norouzi u. a., „Next Generation, Low-THz Automotive Radar – the potential for frequencies above 100 GHz“, in *2019 20th International Radar Symposium (IRS)* (2019 20th International Radar Symposium (IRS), Ulm, Germany: IEEE, 2019), 1–7, <https://doi.org/10.23919/IRS.2019.8767461>.

³ Winner, *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*; Vipul Jain und Payam Heydari, „Radar Fundamentals“, in *Automotive Radar Sensors in Silicon Technologies*, von Vipul Jain und Payam Heydari (New York, NY: Springer New York, 2013), 5–11, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6775-6_2; Citigroup, „CAR OF THE FUTURE v4.0“; Karthik Ramasubramanian, Kishore Ramaiah, und Artem Aginskiy, „Moving from legacy 24 GHz to state-of-the-art 77 GHz radar“ (Texas Instruments, Oktober 2017), <http://www.ti.com/lit/wp/spry312/spry312.pdf>.

⁴ Citigroup, „CAR OF THE FUTURE v4.0“; Yole Développement, „Sensors and Data Management for Autonomous Vehicles“, Oktober 2015, https://yole-i-micronews-com.osu.eu-west-2.outscale.com/uploads/2019/03/Yole_Sensors_and_Data_Management_for_Autonomous_Vehicles_October_2015_Sample.pdf; Fabian de Ponte Müller, „Cooperative Relative Positioning for Vehicular Environments“ (PhD Thesis, Universität Passau, 2018), <https://opus4.kobv.de/opus4-uni-passau/frontdoor/index/index/docId/541>.

⁵ Yole Développement, „Sensors and Data Management for Autonomous Vehicles“; Müller, „Cooperative Relative Positioning for Vehicular Environments“; Schoettle, „Sensor Fusion: A Comparison of Sensing Capabilities of Human Drivers and Highly Automated Vehicles“.

⁶ Frieske, Benjamin und Ulrich, Christian (2021) Monitoring von FuE-Aktivitäten im Technologiefeld "Radar für automatisiertes / autonomes Fahren". Projektbericht. DLR Institut für Fahrzeugkonzepte.