



Sensorik am Auto: Wie Sensoren vernetzte Mobilität ermöglichen

von Sebastian Martin und Robert Seifert

Weltweit ist zuverlässige und sichere Mobilität ein Grundpfeiler für Wachstum und Wohlstand. Eine zeitgemäße Infrastruktur ermöglicht fließenden Personen- und Güterverkehr und bildet damit die Basis moderner Volkswirtschaften. In unserer vernetzten und global agierenden Ökonomie werden Waren zunehmend dezentral produziert und bereitgestellt. Produktionsprozesse an verschiedenen Standorten greifen ineinander und Fabriken werden auf den Bedarfszeitpunkt exakt mit den benötigten Gütern versorgt („just in time“). Nicht zuletzt deshalb wächst die Bedeutung von Transport und Logistik stetig.¹

Dies gilt auch für Deutschland, wo für die kommenden Jahre eine deutliche Zunahme an Verkehrsströmen erwartet wird. Die Verkehrs-Verflechtungs-Prognose für den Bundesverkehrswegeplan 2030 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

geht von folgenden Zuwachsraten im Vergleich zu 2010 für den Güterverkehr aus: fast 39 Prozent für den Straßenverkehr, knapp 43 Prozent für den Eisenbahnverkehr, fast 92 Prozent für den Luftverkehr.²

Ebenso wächst der Personenverkehr, und zwar um knapp zehn Prozent im Bereich des motorisierten Individualverkehrs, um 19 Prozent bei der Bahn, um sechs Prozent im Bereich des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs und um fast 65 Prozent beim Luftverkehr.³

Die Bundesrepublik verfügt heute über eines der dichtesten Straßen- und Eisenbahnnetze der Welt. Um Stagnation zu vermeiden, Fortschritt zu fördern und den Anforderungen an eine zukunftsfähige Mobilität gerecht zu werden, muss dem zunehmenden Verkehr mit intelligenter Vernetzung begegnet werden. Dank innovativer digitaler Möglichkeiten

können Fahrzeuge in den kommenden Jahren smarter werden und diese neuen Anforderungen besser erfüllen.

Die umfassende Interaktion von Verkehrsträgern mit der Infrastruktur ist eine Grundvoraussetzung für den zukunftsgerichteten Wandel der Mobilität. Eine flächendeckende Vernetzung ermöglicht die präzise Steuerung des Transports von Gütern und Personen über weite Strecken und unterschiedliche Verkehrsträger hinweg.

Die konkrete Ausgestaltung dieser Vernetzung des Verkehrs steht noch nicht fest. Sicher ist jedoch, dass ein bedarfsgerechter Informationsaustausch und eine Kommunikation zwischen den Fahrern, Fahrzeugen und Infrastrukturkomponenten herausragende Rollen spielen werden.⁴

¹ Vgl. VDA (2012). Verkehr im Wandel. In: Vernetzung. Die digitale Revolution im Automobil, S. 4. Abgerufen von <https://www.vda.de/de/ser-vices/Publikationen/die-digitale-revolution-im-automobil.html> am 12.12.2019.

² Berechnungsgrundlage ist die Verkehrsleistung in zurückgelegten Kilometern. Vgl. BMVI (2018). Verkehr in Zahlen 2018/2019. 47. Jahrgang, S. 347. Abgerufen von https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2018-pdf.pdf?__blob=publicationFile am 12.07.2019.

³ Vgl. ebd., S. 346.

⁴ Vgl. VDA (2012), S. 4.

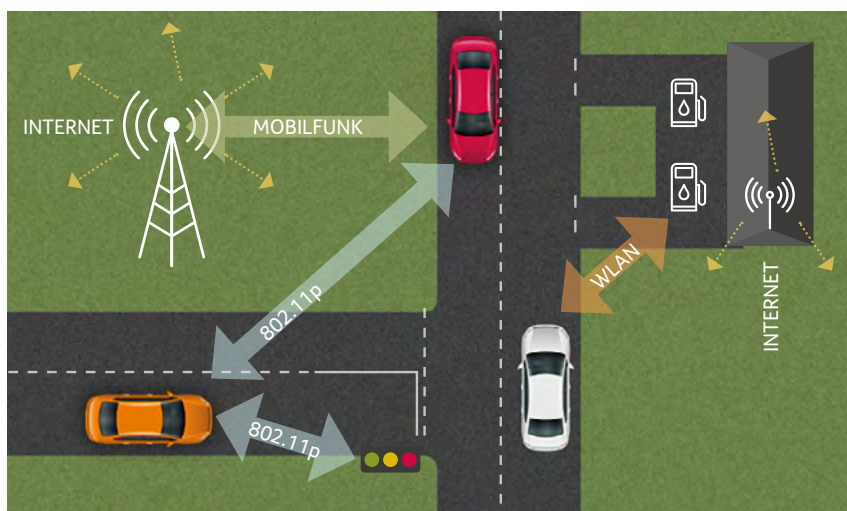


Abbildung 1: Einsatzszenarien und Komponenten von V2X. Quelle: atene KOM, in Anlehnung an Lübke, A. (2008). Der aktuelle Stand der Car-to-X Kommunikation, S. 1.

Das Auto der Zukunft kommuniziert

Mit der zunehmenden Verbreitung von Informationstechnologien vollzieht die Automobilbranche gegenwärtig den Übertritt in den nächsten Generationszyklus. Eines der Kernziele dieser aktuellen Entwicklung ist es, die Daten von Fahrzeugen an andere Verkehrsteilnehmer weiterzugeben, um kritischen Fahrsituationen und Unfällen vorzubeugen. Ein Schlagwort für diese vieldiskutierte Entwicklung ist der Begriff „Vehicle to everything“ (V2X). Er drückt aus, dass ein Fahrzeug („Vehicle“) mit einem Kommunikationspartner „X“ kommuniziert, wobei „X“ für unterschiedliche Kommunikations-Adressaten stehen kann. In Frage kommen beispielsweise weitere Fahrzeuge, die Verkehrsinfrastruktur, stationäre Internet-Zugangspunkte, Mobilgeräte oder Lichtsignalanlagen. Anwendungen der V2X-Kommunikation kommen der Mobilität und Verkehrseffizienz sowie der Verkehrssicherheit zugute. Funktechnologien, die derzeit zum Einsatz kommen, sind beispielsweise die verschiedenen Varianten von Wireless LAN IEEE 802.11 oder zellulare Netze wie GPRS, EDGE oder UMTS.

Die V2X-Kommunikation wird die schon bestehende Sensorik jedoch nicht ersetzen, sondern um zusätzliche Funktionalitäten ergänzen. Während beispielsweise Systeme wie Laserscanner, Radar und Videokameras in der Regel sehr genau und sehr schnell arbeiten, bietet die V2X-Kommunikation die Möglichkeit, Informationen zu potenziellen Gefahren außerhalb des Sichtbereiches zu übermitteln. So können Autofahrer durch Hindernisse wie etwa einen LKW unmittelbar vor dem eigenen Fahrzeug „hindurch“ oder bei Bedarf auch „um die Ecke“ schauen. Darüber hinaus bietet V2X die Möglichkeit, mit der technischen Infrastruktur

der Verkehrswege zu kommunizieren. So können mittels Bildauswertung Grün- und Rotphasen von Ampelanlagen ermittelt und zusätzlich die exakten Umschaltzeitpunkte einer Ampel ausgelesen werden. Ob bzw. in welchem Umfang derartige Vorteile zur Geltung kommen, hängt von geeigneten Protokollen sowie einer Mindestpenetration der zugehörigen Technologie in der Fläche ab.⁵ Eine Vorreiterrolle in diesem Kontext hat das Bundesland Hessen übernommen, das ein flächendeckendes Warnsystem mit Car-to-X-Sendetechnologie an Tagesbaustellen installiert hat. Dies bietet Autofahrern ebenso wie Mitarbeitern der Straßenmeistereien zusätzlichen Schutz, wenn diese beispielsweise hinter einer Kurve arbeiten.⁶

Im Hinblick auf die Potenziale der Sensortechnologien, die V2X-Kommunikation ermöglichen, ist zwischen verschiedenen Systemen zu unterscheiden. Während Radar- und Kamerasysteme inzwischen in einer Vielzahl von Fahrzeugen serienmäßig verbaut sind, steht den sogenannten LIDAR-Sensoren (Light Detection and Ranging) der Sprung in den Massenmarkt noch bevor.⁷ Eine Voraussetzung für vollautomatisiertes Fahren, das heißt für Fahren mit Automatisierungsgrad 4 oder 5, ist der Einsatz mehrfach redundanter Sensorsysteme. Die Bereitstellung dieser Sicherheitsstandards können LIDAR-Systeme übernehmen.⁸



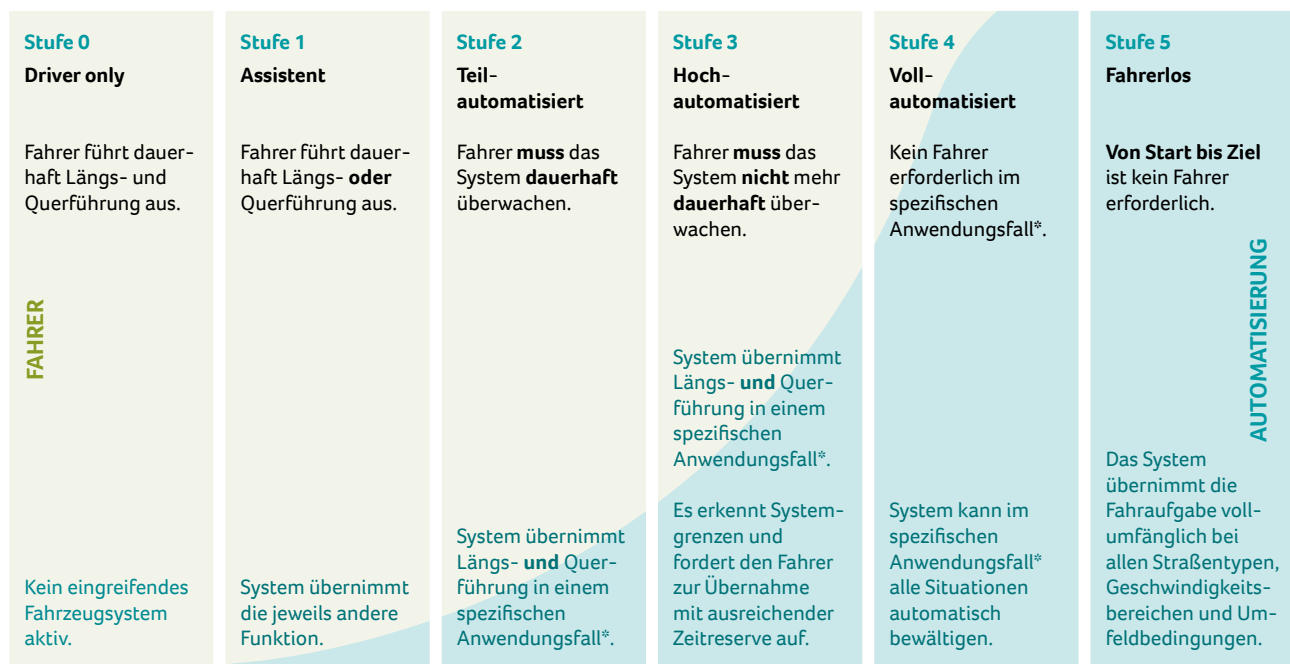
Abbildung 2: Erkennen von Hindernissen außerhalb des Sichtbereiches durch V2X-Technologie. Quelle: atene KOM, in Anlehnung an Daimler AG (o. J.).

⁵ Lübke, A. (2008). Der aktuelle Stand der Car-to-X Kommunikation, S. 1. Abgerufen von https://www.hs-osnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Homepages/Personalhomepages/Personalhomepages-lul/luebke/VDE_2008_Luebke_Paper.pdf am 12.12.2019.

⁶ Daimler AG (o. J.) Mit der Umgebung vernetzt. Car-to-X Kommunikation geht in Serie. Abgerufen von <https://www.daimler.com/innovation/case/connectivity/car-to-x.html> am 12.12.2019.

⁷ Rudolph, G. & Voelzke, U. (2017). Drei Sensortypen für Automotive-Anwendungen im Vergleich. Abgerufen von <https://www.all-electronics.de/welche-rolle-spielt-lidar-fuer-autonomes-fahren-und-welche-radar-und-kamera-ein-vergleich/> am 12.12.2019.

⁸ Ebd.



*Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen.

■ Fahrer ■ Automatisierung

Abbildung 3: Übersicht der Automatisierungsgrade des Fahrens. Quelle: atene KOM, in Anlehnung an VDA (2015). Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. VDA Magazin, S. 15.

Automatisierungsgrade des Fahrens

Der Automatisierungsgrad des Fahrens bezieht sich auf den Umfang, in dem Fahrzeuge die Aufgaben des Fahrers bei Bedarf übernehmen können und darauf, wie Mensch und Maschine auf der Straße interagieren. Experten sprechen in diesem Zusammenhang von sechs Autonomiestufen oder Automatisierungsgraden bei Fahrzeugen: von 0, „Driver only“, bis 5, „Fahrerlos“ (vgl. Abbildung 3). Als Automatisierungsgrad 4 wird das vollautomatisierte Fahren bezeichnet. Dabei bewegt sich das Auto größtenteils selbstständig. Das Fahrzeug parkt selbständig ein und fährt vollautomatisiert auf der Landstraße oder im Stadtverkehr. Konkret wird von einem autonomen Fahren in spezifischen Anwendungsfällen gesprochen.⁹ Beispielsweise stellt die Fahrt auf der Autobahn einen spezifischen Anwendungsfall

dar. In allen anderen Anwendungsfällen, etwa im Stadtverkehr, wird das Fahrzeug von Menschenhand gesteuert oder zumindest überwacht.¹⁰ Während die Sensoren des Fahrzeuges die Sicherheit im Straßenverkehr bei dem jeweils zulässigen spezifischen Anwendungsfall gewährleisten, kann sich der Fahrer anderen Dingen widmen und muss das Verkehrsgeschehen nicht fortwährend im Auge behalten. Beim vollautomatisierten Fahren ist das Fahrzeug mit seiner Umwelt bzw. der relevanten Infrastruktur verbunden. Ampeln melden beispielsweise Rot- oder Grünphasen, andere Fahrzeuge in Reichweite melden einen Spurwechsel. Führende Systemlieferanten und Erstausrüster (OEM, Original Equipment Manufacturer) haben sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2022 vollautomatisiertes Fahren zur Serienreife zu entwickeln.¹¹

Im Unterschied dazu bezeichnet Automatisierungsgrad 5 das fahrerlose Auto. Bei dieser Entwicklungsstufe sind Autos vollständig autonom in den Straßenverkehr integriert und verfügen darüber hinaus auch nicht mehr über Steuerungsarmaturen wie beispielsweise ein Lenkrad, über die Personen eingreifen können. Gegenwärtig experimentiert beispielsweise Google mit diesen Fahrzeugtypen. Schätzungen gehen von einer Etablierung dieser Technologie im Zeitraum um 2025 aus.¹²

Abbildung 3 zeigt die verschiedenen Stufen der Automatisierungsgrade mit ihren jeweiligen Anforderungen an den Fahrer.

Verhaltensrechtlich werden das hoch- und das vollautomatisierte Fahren explizit zusammengefasst.¹³ An einer Zulassung dieser Fahrzeugtypen arbeitet der

⁹ o. A. (o. J.). Autonomes Fahren: Was bedeutet Level 5? Eine Übersicht von Level 0 bis Level 5! Abgerufen von <https://www.automativ.de/autonomes-fahren-was-bedeutet-level-5-eine-uebersicht-von-level-0-bis-level-5> am 12.12.2019.

¹⁰ Fraedrich, E. (2017). Autonomes Fahren Individuelle und gesellschaftliche Aspekte der Akzeptanz, Dissertation eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, S.19.

¹¹ Bosch (2018, 17. Januar). Serienreife 2021. Informationen zu autonomem Fahren. Abgerufen von <https://www.autonomes-fahren.de/bosch-serienreife-2021/> am 12.12.2019.

¹² Dahlmann, D. (2016, 19. Oktober). Die fünf Level des Autonomen Fahrens. Weblog-Post. Abgerufen von <https://www.dondahlmann.de/?p=24974> am 12.12.2019

¹³ ADAC (2017, 10. Mai). Die 5 Stufen des automatisierten Fahrens. Weblog-Post. Abgerufen von <https://blog.adac/stufen-automatisiertes-fahren/> am 12.12.2019

Gesetzgeber gegenwärtig noch. Aktuell sind keine zugelassenen Fahrzeuge am Markt und im Straßenverkehr unterwegs, die gemäß Stufe drei (hochautomatisiert) oder höher einzuordnen sind.¹⁴

Sensoren für das autonome Fahren

Welche Sensoren sind nun für Fahrzeuge mit einem Automatisierungsgrad der Stufen 1 bis 5 erforderlich? Für viele Applikationen, die sowohl den Fahrkomfort als auch die Verkehrssicherheit steigern sollen, kommt der Einsatz verschiedener Sensortechnologien in Betracht.¹⁵

Aktuell stehen drei Hauptgruppen von Sensoren zur Verfügung: Kamera-, Radar- und LIDAR-basierte Systeme.

Ultraschall-Sensoren, die aufgrund der geringen Kosten bei Einparkhilfen derzeit noch weit verbreitet sind, werden hier nicht betrachtet. Sie haben für das autonome Fahren nur nachrangige Bedeutung. Kamera- und Radarsysteme kommen bereits heute bei Fahrzeugen der Automatisierungsstufen 1 und 2 zum Einsatz und sind Voraussetzung für die Entwicklung aller weiteren Automatisierungsstufen.

Bei den aktuell verfügbaren Systemen für teilautomatisiertes Fahren werden Radar- und Kamerasysteme unterschiedlicher Bauart verwendet. Moderne Radarsysteme ermöglichen mit Hilfe der „Radar Road Signature“ die Positionsbestimmung des selbstfahrenden Fahrzeuges innerhalb einer Fahrspur auf wenige Zentimeter genau. Hochauflösende, kostengünstige und zuverlässige LIDAR-Systeme mit Reichweiten von bis zu 300 Metern befinden sich gegenwärtig noch im Vorentwicklungsstadium. Die Entwicklung dieser Systeme ist eine der

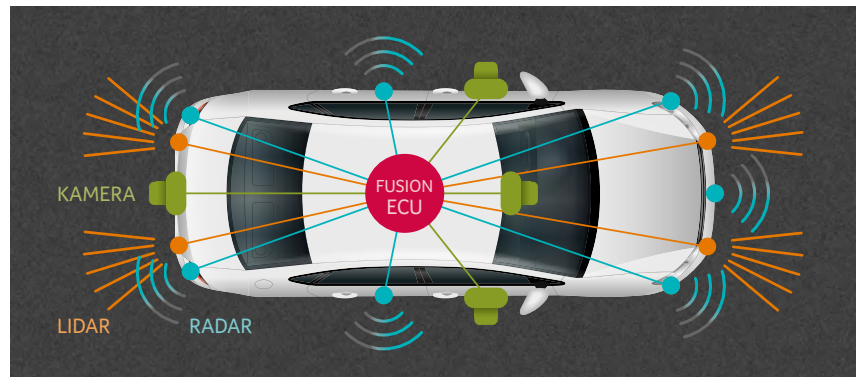


Abbildung 4: Mögliche Positionen der drei Sensortypen – Radar, Image (Kamera) und LIDAR. Quelle: atene KOM, in Anlehnung an Rudolph & Voelzke (2017).

entscheidenden Herausforderungen für die flächendeckende Realisierung des autonomen Fahrens.¹⁶

Zu berücksichtigen ist, dass sowohl Kamerasysteme als auch LIDAR-Systeme bei starkem Regen oder Nebel eingeschränkt funktionieren.¹⁷

Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine mögliche Anzahl und verschiedene Positionen der drei angesprochenen Sensortypen. Heute wird die Auswertung der Sensordaten teilweise noch dezentral über verschiedene Daten-Prozessoren ausgeführt. Künftig wird diese Aufgabe eine leistungsfähige „Fusion ECU“ übernehmen.¹⁸

Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften und Einsatzfelder der drei genannten Systeme dargestellt.

Kamerasysteme

Kamerasysteme mit Fischaugenoptik werden beispielsweise im Rückspiegelfuß, im Gehäuse der Seitenspiegel oder in der Heck- beziehungsweise Kofferraumklappe eingebaut und blicken für

den Fahrer nach vorn, zur Seite oder nach hinten. So entsteht ein 360-Grad-Bild der Umgebung. Die Technik ermöglicht automatisches Einparken, das Erkennen von Verkehrszeichen und die entsprechende Geschwindigkeitsanpassung sowie die Lokalisierung von Fahrzeugen, Fahrradfahrern oder Personen im toten Winkel. Im Innenraum können Kameras für die Überwachung des Fahrers eingesetzt werden und beispielsweise durch die Beobachtung des Wimpernschlags Sekundenschlaf erkennen und entsprechende Maßnahmen zum Schutz der Fahrzeuginsassen einleiten.¹⁹

Radarsysteme

Radarsysteme auf dem aktuellen Stand der Technik arbeiten in zwei verschiedenen Frequenzbereichen. Die Short-Range Radar (SRR, Nahbereichsradar) Applikationen mit einer Reichweite von bis zu 50 Metern, nutzen das 24 GHz-Frequenzband. Die Mid-Range Radar (MRR, Reichweite bis zu 160 Metern) bzw. Long-Range Radar (LRR, Fernbereichsradar, Reichweite bis zu 250 Metern) Applikationen arbeiten im Bereich zwischen 76 und 77 GHz.²⁰ Das Nahbereichsradar

¹⁴ Eckl-Dorna, W. (2019, 7. März). Die 5 Level des autonomen Fahrens. Diese Stufen müssen Autobauer bei Roboterautos nehmen. Abgerufen von <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/selbstfahrende-autos-die-5-stufen-des-autonomen-fahrens-erklart-a-1256773.html> am 12.12.2019

¹⁵ Ebd.

¹⁶ Rudolph & Voelzke (2017).

¹⁷ Greis, F. (2015, 25. August). Auf dem Highway ist das Lenkrad los. Golem. Abgerufen von <https://www.golem.de/news/autonomes-fahren-auf-dem-highway-ist-das-lenkrad-los-1508-115367.html> am 12.12.2019

¹⁸ Ebd.

¹⁹ Bielefeldt, R. (2019, 5. Januar). Kamera, Radar, Lidar – wie fahren autonome Autos? Abgerufen von <https://aiomag.de/kamera-radar-lidar-so-fahren-autos-autonom-580> am 12.12.2019

²⁰ Heimann, B., Albert, A., Ortmaier, T., & Rissing, L. (2015). Mechatronik. Komponenten – Methoden – Beispiele. München: Hanser, S. 133.

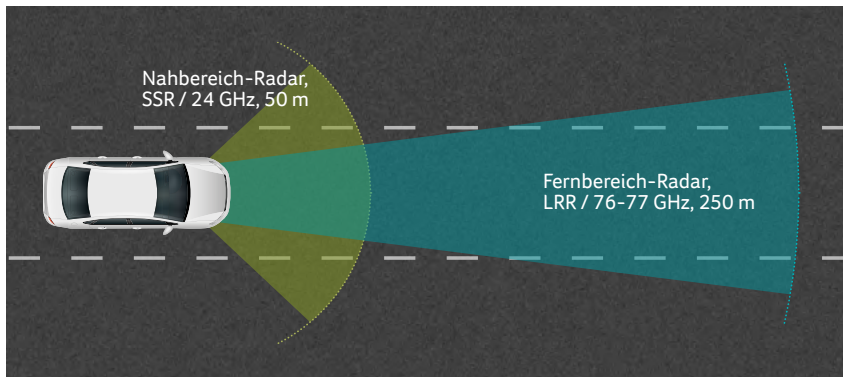


Abbildung 5: Abstrahlwinkel SRR & LRR Radar. Quelle: atene KOM, in Anlehnung an Lipinski (o. J.)

hat im Gegensatz zum Fernbereichsradar einen breiteren Abstrahlwinkel, der bei $\pm 60^\circ$ liegt und ausschließlich stationäre Objekte erfasst. Der Entfernungsbereich des Nahbereichsradars liegt zwischen 0,5 und etwa 50 Metern. Moderne Nahbereichsradare arbeiten in einem Geschwindigkeitsbereich von null bis 200 km/h.²¹

Fernbereichsradare haben einen Abstrahlwinkel zwischen $\pm 10^\circ$ und $\pm 20^\circ$. Ein LRR kann den Raum überwachen, der bis zu 250 Meter vor und neben dem Auto liegt. Das LRR erfasst stationäre und mobile Objekte und kontrolliert zeitgleich zum Abstand die Relativgeschwindigkeit. Abgedeckt werden Geschwindigkeiten von 30 km/h bis 250 km/h.²²

Anwendung findet der SSR-Radar beispielsweise in folgenden Systemen:

- Spurwechsel- und Spurhalteassistent
- Blindspot detection (Totwinkel-Überwachung)
- Querverkehr-Überwachung
- Rückblickendes Radar zur Kollisionsvermeidung beziehungsweise Kollisionswarnung
- Parkassistent

Anwendungsbeispiele für MRR/LRR-Applikationen sind:

- Notbremsung
- Bremsassistent
- Automatische Abstandsregulierung

LIDAR-Systeme

Die Abkürzung LIDAR steht für „Light Detection and Ranging“ und bezeichnet Sensorsysteme, die in der Regel Lichtwellen in Form von Laserstrahlen zur Entfernungsmessung nutzen. Neben dem Laser, der als Sender fungiert, ist ein empfindlicher Empfänger erforderlich. Primäre Aufgabe des Systems ist es, die Entfernungen zu ruhenden und bewegten Objekten zu messen.

LIDAR-Systeme sind bereits seit vielen Jahren im Militärbereich und in der Industrie im Einsatz. Es handelt sich hierbei um komplexe mechanische Spiegelsysteme, die eine 360-Grad-Rundumsicht ermöglichen sowie dreidimensionale Bilder von Objekten liefern können. Aufgrund der Kosten von mehreren zehntausend Euro sind diese für den Großserieneinsatz im

Automobilbereich ungeeignet.

Aktuell zeigen sich zwei grundlegende Trends am Markt, wie Infrarot-LIDAR-Systeme realisiert werden: als „Rotating Laser“ oder als „Solid State“-LIDAR.

An der Weiterentwicklung beider Systeme wird aktuell intensiv gearbeitet. Neue Verfahren und Technologien sind jedoch erforderlich, um das Kostenziel von unter 100 Euro pro System zu erreichen.

Ausblick

Bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für den Großserieneinsatz gibt es aktuell drei grundlegende Herausforderungen:

1. Die Funktion der Systeme muss unter allen denkbaren Umgebungsbedingungen (Temperatur, Schnee, Dunkelheit, Regen, Sonneneinstrahlung) garantiert werden.
2. Objekte in einer Entfernung von bis zu 300 Meter müssen erkannt werden.
3. Die Systeme müssen möglichst kompakt und bei geringen Kosten realisiert werden.²³
4. Der Einsatz der Systeme muss die Datenschutzprinzipien Transparenz, Selbstbestimmung und Datensicherheit

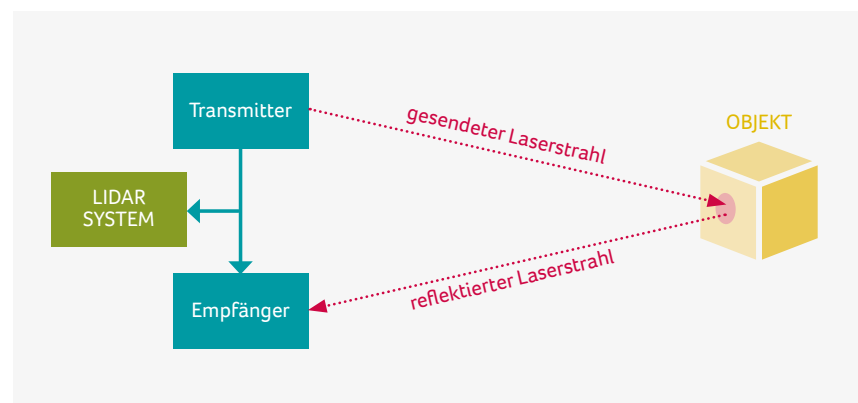


Abbildung 6: Grundprinzip von LIDAR Systemen. Quelle: atene KOM

²¹ Wolff, J. (2010, 17. Mai). Assistenzsysteme. Intelligente Co-Piloten. Abgerufen von <http://www.sueddeutsche.de/auto/assistenzsysteme-intelligente-co-piloten-1.606335> am 08.12.2019

²² Lipinski, K. (o. J.). Fernbereichsradar. ITWissen.info. Abgerufen von <https://www.itwissen.info/Fernbereichsradar-long-range-radar-LRR.html> am 12.12.2019

²³ Rudolph & Voelzke (2017).

berücksichtigen. Automobilhersteller müssen dies durch technische und organisatorische Maßnahmen sicherstellen.²⁴

Ein „intelligent“ agierendes Auto empfängt in Zukunft nicht nur Daten über die

verschiedenen eingebauten Sensoren, sondern tauscht die eigenen Informationen mit der Umgebung und anderen Verkehrsteilnehmern aus. Dadurch gewinnt die Telematik im Verkehrsbereich immer weiter an Bedeutung. Fahrzeuge

entwickeln sich zu mobilen Informationsknoten und haben durch die Verarbeitung großer Datenmengen aus der Umgebung einen umfassenden Blick auf das aktuelle Verkehrsgeschehen.

²⁴ Vgl. VDA (2015). Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. Abgerufen von <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/automatisierung.html> am 12.12.2019, S. 20-21.



Über die Autoren

Sebastian Martin hat Kunststoff- und Elastomertechnik an den Hochschulen für angewandte Wissenschaften Rosenheim und Würzburg studiert. Die Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in den Themenbereichen Digitalisierung, nachhaltige Technologien und Energieeffizienz.



Dr. Robert Seifert hat Angewandte Medienwissenschaft an der TU Ilmenau studiert. Er arbeitete am Deutschen Jugendinstitut in München, an der TU Chemnitz sowie in der Medienwirtschaft in Hamburg und promovierte am Seminar für Medien- und Kommunikationswissenschaft der Universität Erfurt.

Über die atene KOM

Die atene KOM GmbH aus Berlin begleitet den öffentlichen Sektor bei der Projektentwicklung in den Bereichen Digitalisierung, Energie, Mobilität, Gesundheit und Bildung.

Wir bringen Kommunen, Landkreise und Unternehmen zusammen und entwickeln gemeinsam die Infrastruktur für die Zukunft. Die Stärkung des ländlichen Raums steht im Fokus unserer Arbeit.

www.atenekom.eu