



1 Einleitung

1.1 Automobiles Umfeld

Radarsensoren zeichnen sich dadurch aus, dass in nur einem Messzyklus sowohl die Entfernung, die Geschwindigkeit, die Winkelablage als auch die Reflektivität von Zielen ermittelt werden können. Diese Sensoren sind besonders robust gegenüber äußeren Witterungseinflüssen und können tageszeitunabhängig betrieben und verdeckt verbaut werden. Die Bezeichnung Radar wird hierbei von *Radio Detection and Ranging* abgeleitet.

Es haben sich bereits Radarsensoren in vielen Fahrzeugmodellen unterschiedlicher Fahrzeughersteller (*Original Equipment Manufacturer*, OEM) etabliert und werden unter anderem serienmäßig in der Mercedes-Benz A- und B-Klasse zur Unfallvermeidung sowie Abschwächung der Unfallfolgen eingesetzt [1, 2]. Durch die Globalisierung wächst das Bestreben der Hersteller, diese Produkte weltweit zu vermarkten, um zukunftsweisende Sicherheits- und Komfortfunktionen zur Reduktion von Verkehrsunfällen voranzutreiben. Um diese Systeme länderübergreifend betreiben zu können, muss die Frequenzzulassung entsprechend der belegten Bandbreite, Sendefrequenz und Sendeleistung erfüllt werden. Durch den Zusammenschluss eines Konsortiums von Fahrzeugherstellern und Sensorzulieferern wird aktuell über eine Harmonisierung der Zulassungsfrage in unterschiedlichen Ländern verhandelt, um weltweit zuverlässige und innovative Funktionskonzepte für zukünftige Fahrzeugmodelle anbieten zu können.

Die stetig steigende Nachfrage an Umgebungserfassungssensorik sowie der Fortschritt an kostengünstiger Halbleitertechnologie bewirken, dass immer mehr Radarsensorhersteller in den automobilen Markt eindringen. Diese Radarsensoren verwenden zunehmend die Frequenzmodulierte-Dauerstrichmodulation (*Frequency Modulated Continuous Wave*, FMCW). Die angebotene Sensorik unterscheidet sich unter anderem in den folgenden Systemparametern: Betriebsfrequenz, Frequenzhub, Entfernung-, Winkel- und Geschwindigkeitstrennfähigkeit. Die Unterteilung der Systeme kann in schmal- und breitbandige Systeme sowie in 24 GHz- und 77 GHz- bzw. 79 GHz-Systeme erfolgen. Aufgrund von der Vielzahl an angebotenen Radarsensoren der Fahrzeugzulieferer müssen die OEMs, abhängig von der zu realisierenden Sicherheits- und Komfortfunktion, den entsprechenden Radarsensor für ihre neuen Fahrzeugmodelle auswählen.



Durch die Urbanisierung und das damit verbundene hohe Verkehrsaufkommen in Ballungszentren müssen neue Sensorkonzepte für innerstädtische Szenarien entwickelt werden, die unter anderem den Fußgängerschutz mitberücksichtigen. Darüber hinaus bewertet die europäische Verbraucherschutzorganisation Euro-NCAP (*European New Car Assessment Programme*) den Fußgängerschutz von Neufahrzeugen, sodass sich deren Beurteilung auf die Verkaufszahlen von Neufahrzeugen auswirkt.

1.2 Aufgabenstellung

Bedingt durch die Frequenzregulierung und den enorm hohen Kostendruck zwischen OEM und Sensorherstellern werden Radarsysteme mit kleinem Frequenzhub und geringer Winkel-Mehrzielfähigkeit bevorzugt eingesetzt.

In dieser Arbeit sollen Wege aufgezeigt werden, mit denen die Leistungsfähigkeit von Radarsensoren gesteigert und die Zuverlässigkeit der Sensoren erhöht werden können. In diesem Zusammenhang sollen physikalisch bedingte Grenzen von automobilen Radarsensoren messtechnisch ermittelt werden.

Es soll zudem aufgezeigt werden, welchen Einfluss und welche Möglichkeiten durch breitbandige Radarsensoren entstehen, um neue zukünftige Sicherheits- und Fahrerassistenzsysteme zu realisieren, die im Nahbereich eingesetzt werden können. Durch eine Erhöhung des Frequenzhubs und der Winkelauflösung wird erwartet, dass neben der Ermittlung von Entfernung, Winkelablage und Geschwindigkeit auch die Erfassung der Kontur und damit die Länge, Breite und Orientierung eines Fahrzeugs ermöglicht werden kann.

Der Fußgängerschutz gewinnt zunehmend an Bedeutung für Sicherheits- und Komfortfunktionen und erfordert Verfahren, mit denen Fußgänger von der Umgebung unterschieden werden können. Um dicht benachbarte Ziele, die sich innerhalb einer Entfernung-Winkelzelle des Sensors befinden können, zu unterscheiden, bietet sich ein Modulationsverfahren mit einer Geschwindigkeitstrennfähigkeit an. Auf diese Weise können Ziele in einer weiteren Dimension unterschieden werden. Da der Fußgänger die Bewegungsrichtung schnell ändern und sich zusätzlich in einer sehr kurzen Zeitdauer innerhalb des Beobachtungsbereichs des Sensors befinden kann, werden hohe Anforderungen an die Geschwindigkeitstrennfähigkeit gestellt. Die kurze Messzeit steht jedoch im Widerspruch zu einer hohen Geschwindigkeitstrennfähigkeit. In der vorliegenden Arbeit soll somit untersucht werden, ob mit einem intelligenten Signalverarbeitungsverfahren die Geschwindigkeitsauflösung bei kurzer Messdauer gesteigert werden kann. Des Weiteren soll analysiert werden, ob dieses Verfahren bei einer hardwareseitigen oder physikalischen Beschränkung des Frequenzhubs ebenfalls genutzt werden kann, um die Entfernungsauflösung zu steigern.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit sollen Anforderungen an zukünftige Radare, die in die Fahrzeugvorderseite eingebaut werden, abgeleitet werden, um diese für Multifunktionsanwendungen einzusetzen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zunächst wird in **Kapitel 2** die Entwicklung der Radartechnik zur Realisierung von automobilen Funktionen aufgezeigt, gefolgt von der aktuellen Situation der europäischen Frequenzzulassung. Darüber hinaus werden unterschiedliche automobilen Sicherheits- und Komfortfunktionen beschrieben sowie die dafür notwendigen Abdeckdiagramme der Radarsensoren aufgezeigt. Weiterhin werden grundlegende Radarkenngößen, Modulations- und Winkelabbildungsverfahren von automobilen Radarsystemen dargestellt.

In **Kapitel 3** wird der Einfluss des Frequenzhubs auf die Amplitudenfluktuation von stehenden und bewegten Zielen beschrieben. Im Anschluss daran wird eine Übersicht von Verfahren zur Ermittlung charakteristischer Streuzentren an Fahrzeugen aufgezeigt. Darauf aufbauend werden messtechnisch 2D-Streuzentrenpositionen von Fahrzeugen mit der synthetischen Apertur-Radar-Prozessierung bei einer Mittenfrequenz von 25 GHz bzw. 77 GHz ermittelt und bei 77 GHz in der dritten Dimension erweitert dargestellt. Darüber hinaus wird ein Simulationsergebnis eines Streuzentrenmodells aus den Arbeiten von Budendick [3] mit einem Messergebnis aus dieser Arbeit gegenübergestellt.

Das anschließende **Kapitel 4** verdeutlicht, wie sich die entfernungsabhängige Zellenaufweitung, die Fahrzeugorientierung, der Elevationswinkel und die Polarisation auf die Konturerfassung von ausgedehnten Objekten auswirkt.

Die Radarsignatur von einer Person wird in **Kapitel 5** untersucht. Dabei wird der zeitliche Verlauf des Rückstreuquerschnitts einer wartenden Person vor einem Fahrzeug ermittelt. Es werden Einflussfaktoren wie Kleidung, Beobachtungswinkel und Frequenzhub auf die Zielsignatur einer stillstehenden Person analysiert. Anschließend wird der zeitliche Verlauf des Rückstreuquerschnitts einer bewegten Person, eines Inline-Skaters, Fahrradfahrers und Motorrollerfahrers im Vergleich zum Fahrzeug untersucht.

In **Kapitel 6** wird ein Hochauflösungsverfahren näher beschrieben, dass bei begrenzter Anzahl an Messpunkten die Spektralauflösung verbessern kann. Dieses Verfahren wird anhand von Messbeispielen zur Steigerung der Geschwindigkeits- und Entfernungsauflösung in einem Mehrzielszenario dargestellt.

Darauf aufbauend wird in **Kapitel 7** ein Auswerteverfahren vorgeschlagen, das es trotz begrenzter Messdauer ermöglicht die Geschwindigkeitssignatur von langsam bewegten Messobjekten, wie unter anderem die eines Fußgängers, adap-



1 Einleitung

tiv zu verbessern und daraus den zeitlichen Verlauf der Mikro-Doppler-Signatur auszuwerten.

In **Kapitel 8** werden die bisherigen Untersuchungsergebnisse aufgegriffen und die Systemleistungsfähigkeit abhängig vom Frequenzhub zusammengefasst. Anschließend werden die Anforderungen an Multifunktionssensoren, die in die Fahrzeugvorderseite integriert werden, entwickelt und exemplarisch ein Frontendkonzept eines Nahbereichssensors für zukunftsweisende Sicherheits- und Fahrerassistenzsysteme vorgeschlagen.

Zuletzt fasst **Kapitel 9** die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungs- und Forschungsschwerpunkte.



2 Radarsensoren für automobiler Anwendungen

In den folgenden Abschnitten werden die Grundlagen der Radarsensoren für automobiler Anwendungen behandelt. Dazu werden zunächst die Entwicklung der automobiler Radartechnik und anschließend die Rahmenbedingungen der Frequenzzulassung vorgestellt. Im Anschluss werden automobiler Sicherheits- und Komfortfunktionen beschrieben, die daraus resultierenden Sensorabdeckungsdiagramme zusammengestellt und die grundlegende Radarkenngrößen vorgestellt. Des Weiteren werden die Modulations- und Winkelabbildungsverfahren von FMCW-Radarsystemen vorgestellt.

2.1 Entwicklung der automobiler Radartechnik

Die ersten Konzepte heutiger Fahrerassistenzsysteme haben eine sehr lange Entstehungsgeschichte. Eine der ersten Visionen von Fahrerassistenzsystemen wurde von *General Motors* (GM) bereits im *Firebird II* im Jahre 1956 vorgestellt. Dabei sollte eine in die Fahrbahn des Highways integrierte Leitung dazu dienen, ein Fahrzeug in seiner Fahrspur zu halten, indem diese elektronisch markiert werden sollte. Befand sich dann ein Fahrzeug in der Mitte dieser Leitung, sollten mit Hilfe von zwei Antennen an der Fahrzeugvorderseite Wellenimpulse auf dieser Leitung detektiert und durch automatische Lenkbewegungen die Fahrspur angepasst werden [4].

Ende Februar 1959 stellte GM dann das damals als Highlight geltende Konzeptfahrzeug Cadillac Cyclone (XP-74) in Daytona Beach vor, das neben der zuvor beschriebenen Spurhalte-technik zusätzlich das erste radarbasierte automobiler Kollisionswarnsystem beinhaltete. Dieses Fahrzeug hatte an der für gewöhnlich verwendeten Einbauposition der Frontscheinwerfer zwei kegelförmig zugespitzte und stromlinienförmige Rotationskörper, die das Radarsystem beinhalteten, siehe Abb. 2.1 (a). Nachforschungen ergaben, dass es sich aufgrund von dieser ogiven Struktur um ein Radar aus der Fluggerätetechnik handeln könnte. Mit diesem System konnte damals bereits die Entfernung gemessen und daraus der Anhalteweg zu einem Hindernis berechnet werden, der an einem analogen Anzeigeelement in der Mitte des Armaturenbrettes dargestellt wurde. Des Weiteren wurde der Fahrer akustisch und durch eine Warnleuchte auf jedes her-

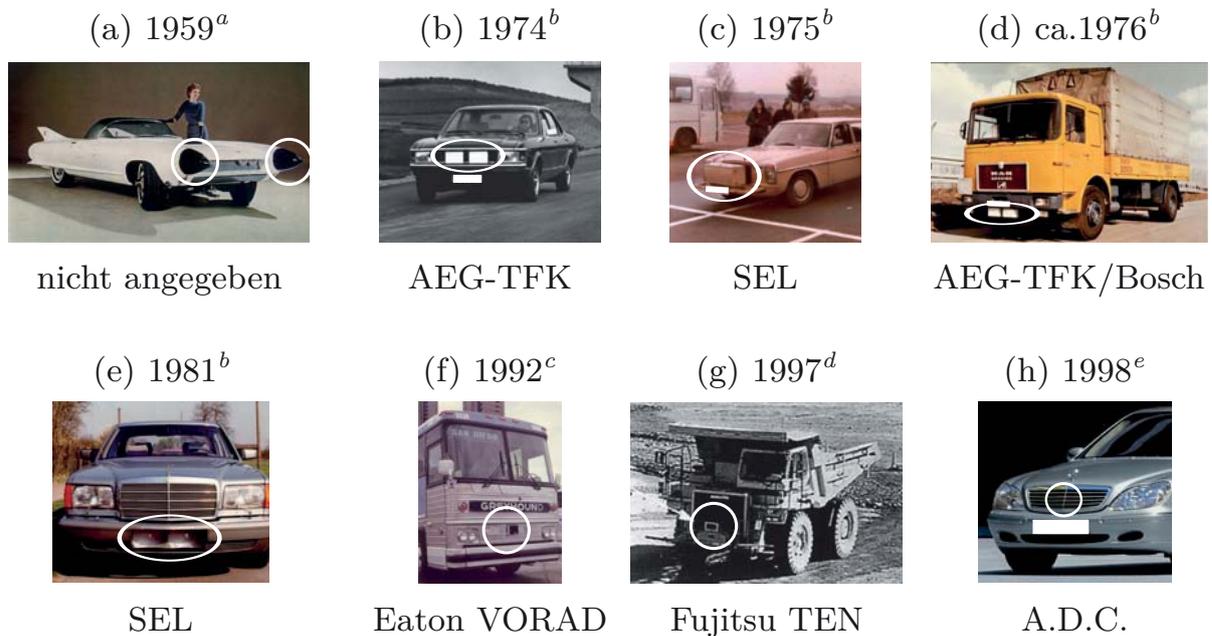


Abb. 2.1: Historische Bildaufnahmen von Fahrzeugen mit Radarsensoren unter der Angabe der Radarsensorhersteller. (a) GM Cadillac Cyclone [5, 6], (b) Ford Consul [7], (c) Mercedes-Benz „Strich Acht“ [7], (d) MAN-Lastkraftwagen [7], (e) Mercedes-Benz S-Klasse (W126) [7], (f) Omnibus von Greyhound [8], (g) Komatsu Schwertransport-Kipplaster [9], (h) Mercedes-Benz S-Klasse (W220) [10]. (AEG-TFK: AEG-Telefunken; SEL: Standard Elektrik Lorenz AG).

^aBild: mit freundlicher Genehmigung von GM Heritage Center

^bBild: Holger Meinel, Daimler AG

^cBild: Jerry Woll, Eaton VORAD Technologies

^dBild: mit freundlicher Genehmigung von Fujitsu TEN

^eBild: mit freundlicher Genehmigung von Daimler AG, Daimler Media Services

annahende Objekt hingewiesen, wodurch selbst unkritische Objekte detektiert wurden, die sich in einer Erhöhung der Falschalarmrate zeigte [5].

In den Anfängen der 1960er Jahre wurden in den USA weitere Technologien automobiler Radarsysteme entwickelt. Diese benötigten jedoch an der Rückseite der Zielfahrzeuge aktive Reflektoren, die mit Frequenzverdopplern ausgestattet wurden. Diese Technik setzte sich jedoch nicht durch, da im Falle von schweren Unfällen festgestellt wurde, dass die alleinige rückwärtige Einbauposition der Reflektoren für die Abstandsbestimmung im drohenden Kollisionsfall nicht ausreichte [11]. Im Anschluss daran wurden autonom arbeitende Radare entwickelt, die eine passive Objekterkennung besaßen und somit keine aktiven Reflektoren benötigten. Die ersten automobilen Radare konnten jedoch die la-

terale Position der Ziele nicht bestimmen und hatten einen großen Platzbedarf. Um die Antennengröße zu reduzieren, wurde die Sendefrequenz von 10 GHz aus den Anfängen erhöht [11]. In der Mitte der 1970er Jahre fanden deshalb verstärkt Forschungsaktivitäten bei 16 GHz, siehe Abb. 2.1 (c), und 35 GHz, siehe Abb. 2.1 (b), (d), (e), sowie 50 GHz statt [7, 12]. In den nachfolgenden Jahren wurden die Forschungsschwerpunkte bei Sendefrequenzen von 24 GHz, 60 GHz, 77 GHz und 94 GHz festgelegt [8, 11, 13, 14].

Einen ersten Durchbruch erreichte die automobile Radartechnik 1992, als das amerikanische Buslinienunternehmen Greyhound verkündete, 2400 Busse seiner Buslinienflotte mit einem Kollisionswarnsystem der Eaton VORAD (*Vehicular Onboard Radar*) Safety Systems Incorporation, siehe Abb. 2.1 (f), zu versehen [15]. Tatsächlich wurden jedoch nur ca. 1500–1700 Busse mit diesem Radarsystem (Betriebsfrequenz 24,125 GHz) ausgerüstet. Grund waren Interferenzprobleme mit Geschwindigkeitsüberwachungsradaren der Polizei sowie Radarwarngeräten von Privatfahrzeugen, die zu Akzeptanzproblemen durch die Fahrer führte [11].

In Japan hingegen wurde neben der Entwicklung von mm-Wellenradaren auch die Entwicklung von Laserradaren vorangetrieben. Bereits 1989 bot Nissan Diesel Motors Co. Ltd. für dessen Lastkraftwagen (Lkw) das Kollisionsvermeidungssystem *Traffic Eye* an, gefolgt im Jahre 1995 von Mitsubishi Motors Corp. im Modell Diamante mit dem optional erhältlichen Abstandsregeltempomat (*Adaptive Cruise Control*, ACC) *Preview Distance Control* sowie 1997 von Toyota im Celsior Luxury Sedan mit dem optional erhältlichen Abstandsregelsystem *Radar Cruise Control* [16]. Diese ACC-Systeme konnten bereits einen konstanten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeugs einhalten, indem die relative Entfernung und die Geschwindigkeit ausgewertet wurden. Die Entwicklung von mm-Wellenradaren schritt jedoch auch in Japan weiter voran. Im Jahr 1997 setzte Komatsu Ltd. in dessen Schwertransport-Kipplaster einen Radarsensor von Fujitsu TEN (Betriebsfrequenz 60,5 GHz) ein, siehe Abb. 2.1 (g). Damit konnten unbeobachtete Bereiche während des Fahrzeugbetriebes überwacht werden [9].

Mit der Vorstellung des ACC-Systems *Distronic* von Mercedes-Benz in der S-Klasse (W220) im Jahre 1998, siehe Abb. 2.1 (h), gelang ein weiterer Durchbruch der Millimeterwellenradare im Fahrzeug. Die allgemeine Belieferung der Endkunden gelang allerdings erst Mitte 1999 aufgrund von Serienproblemen des mm-Wellen-Komponentenzulieferers für das Weitbereichsradar mit einer Mittelfrequenz von 76,5 GHz von A.D.C. (*Automotive Distance Controlsystem*) [17]. Dieses radarbasierte System zeichnete sich gegenüber den laserbasierten Systemen unter anderem durch die Robustheit gegenüber Lichteinflüssen und Nebel aus. Im gleichen Jahr folgten weitere Automobilhersteller mit ACC-Systemen wie Jaguar (Delphi-Radar) und Nissan (A.D.C.-Radar), dann BMW (Bosch-Radar) im Jahr 2000 [17–19]. Ab 2003 boten dann die meisten namhaften Au-

2 Radarsensoren für automobiler Anwendungen

tomobilhersteller optional in ihren Premiumsegmenten radarbasierte Komfortfunktionen wie das ACC-System an. Aufgrund des großen Interesses der Automobilhersteller konnte damit eine stetige Weiterentwicklung der Sensoren durch die unterschiedlichen Radarsensorhersteller erfolgen.

In der Zwischenzeit setzte sich weltweit eine Betriebsfrequenz dieser Sensoren von 24 GHz und 77 GHz immer mehr durch. In Europa wurde jedoch der breitbandige Betrieb von 24 GHz Sensoren befristet, wodurch ein Übergang zu breitbandigen 79 GHz Sensoren notwendig wurde. Um die Technologieentwicklung in Europa voranzutreiben, förderte das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mehrere Forschungsprojekte wie KRAFAS (Kostenoptimierter Radarsensor für aktive Fahrerassistenzsysteme, 2004–2009), KOKON (Kfz-Höchstfrequenz-Elektronik, 2004–2007)[20], RadarAuge (Phasengesteuertes Radarmodul bei 79 GHz auf keramischen und organischen Substraten, 2005–2008) und RoCC (*Radar on Chip for Cars*, 2008–2012)[20–22]. Ziel dieser Forschungsaktivitäten war es die Sensoren weiter zu miniaturisieren, die Leistungsfähigkeit der Sensoren zu erhöhen und die Herstellungskosten zu senken. Diese Forschungsprojekte bestanden aus einer engen Kooperation zwischen Universitäten und der Industrie, die sich aus Chiphersteller, Sensorhersteller und Automobilhersteller zusammensetzten.

In den letzten Jahren schritt die Marktpenetration von automobilen Radarsensoren stetig voran. Um daher mögliche Interferenzeffekte zwischen unterschiedlichen Radarsensoren zu untersuchen und gegebenenfalls notwendige Gegenmaßnahmen einzuleiten, wurde ein europäisches Forschungsprojekt MOSARIM (*More Safety for all by Radar Interference Mitigation*, 2010–2012) durchgeführt. All diese zuvor benannten Forschungsprojekte leisteten fundamentale Beiträge für aktuelle und zukünftige Fahrerassistenzsysteme, die breitgefächert in unterschiedlichen Fahrzeugklassen verwendet werden. Mit der Markteinführung der Mercedes-Benz B-Klasse (2011) [2] wurde erstmalig der serienmäßige Einbau eines radargestützten Kollisionswarnsystems mit adaptivem Bremsassistenten vorgestellt, das im Jahre 2012 auch auf die A-Klasse übertragen wurde [1]. Darüber hinaus sind optional für beide Modelle auch radarbasierte ACC-Systeme erhältlich.

Abb. 2.2 zeigt eine Reihe von verfügbaren Fahrzeugmodellen unterschiedlicher Fahrzeughersteller mit Weitbereichsradarsensoren für ACC-Systeme wie z. B. den Audi A8, BMW 7er, Mercedes-Benz (MB) A-Klasse und MB Actros, Opel Insignia, Evobus Setra S515 HD, VW Golf und VW Touareg. Damit stehen Radarsensoren bereits heute in der Mittel- und in der Kompaktklasse zur Verfügung und tragen zum weiteren Erfolg von radarbasierten Fahrerassistenzsystemen bei.

Ein weiterer Schritt in Richtung Reduktion von Auffahrunfällen leistet der Beschluss der Europäischen Union vom April 2012 [23]. Dieser sieht unter anderem

vor, ab November 2013 für alle neuen Lkw-Modelle mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 8 t und Busse mit mehr als 9 Sitzplätzen (inkl. Fahrersitzplatz) automatische Notbremsassistentensysteme als Pflichtaustattung vorzuschreiben. Ebenfalls sieht die europäische Verbraucherschutzorganisation Euro-NCAP (*European New Car Assessment Programme*) in dessen Sicherheitsprüfvorschriften vor, ab 2014 die eingesetzten aktiven Sicherheits- und Fahrerassistenzsysteme und ab 2016 den erweiterten vorausschauenden Fußgängerschutz von Neufahrzeugen zu bewerten. Ein Neufahrzeug erhält dann nur noch die maximale Anzahl von 5 Sternen, wenn dieses den neuen Sicherheitsrichtlinien entspricht. Aus diesem Grund ist eine Erhöhung der Ausstattungsrate von Fahrzeugen mit zusätzlichen radarbasierten Sicherheitssystemen in naher Zukunft zu erwarten.

Damit Automobilhersteller ihre Fahrzeuge mit radarbasierten Sicherheitssystemen bzw. Radarsensorhersteller ihre Produkte global vermarkten können, muss jedoch eine entsprechende länderspezifische Frequenzzuteilung vorliegen.



Abb. 2.2: Im Fahrzeug integrierte Radarsensoren (Bildquelle: Aufnahmen des Autors).

2.2 Frequenzzulassung

Die Internationale Fernmeldeunion (*International Telecommunication Union*, ITU) reguliert weltweit die Frequenzzulassung von elektronischen Geräten und somit auch von Radarsensoren. Ein Bestreben von Radarsensor- und Automobilherstellern ist es, ihre Systeme in einem weltweit einheitlichen Frequenzband be-

2 Radarsensoren für automobiler Anwendungen

treiben zu können. Radarsensoren, die eine geringe Bandbreite belegen, können bereits heute in vielen Ländern im Frequenzbereich von 24,05 GHz bis 24,25 GHz [24] bzw. von 76 GHz bis 77 GHz [25, 26] zugelassen werden, indem länderspezifische Zulassungskriterien eingehalten werden. Die europäische Frequenzregulierung hat unter anderem für die Zulassung automobiler Radarsensoren eine Vorreiterrolle übernommen.

Um aktive und passive Sicherheitsfunktionen mit hoher Entfernungsauflösung realisieren zu können, werden breitbandige Radarsensoren benötigt. Der Frequenzbereich von 21,65 GHz bis 26,65 GHz wurde zunächst bis einschließlich 30.6.2013 von der Europäischen Union (EU) begrenzt [27] und im Juli 2011 wurde ein Teil des Frequenzbandes von 24,25 GHz bis 26,65 GHz bis zum 1.1.2018 verlängert [28]. Dieses Enddatum kann jedoch um weitere 4 Jahre überschritten werden, wenn die Typengenehmigung von Neufahrzeugen vor dem 1.1.2018 erteilt wird, siehe Tabelle 2.1.

Frequenz in GHz	ETSI Standard (<i>European Telecomm. Standards Institute</i>)	Mittlere Leist. bzw. -dichte (EIRP)	Max. Leist. bzw. -dichte (EIRP)
24,05–24,25	EN 302 858-1 & -2 [24]	20 dBm	–
21,65–26,65 ^a	EN 302 288-1 & -2 [27]	–41,3 $\frac{\text{dBm}}{\text{MHz}}$ ^b	0 $\frac{\text{dBm}}{50 \text{ MHz}}$
24,25–26,65 ^c	EC Dec. 2005/50/EC [28]		
76–77	EN 301 091-1 & -2 [25]	50 dBm	55 dBm
77–81	2004/545/EG [29] EN 302 264-1 & -2 [30]	–9 $\frac{\text{dBm}}{\text{MHz}}$	55 dBm

^abis 30.6.2013

^bÖrtliche Absenkung zwischen 23.6–24 GHz erforderlich

^cbis 1.1.2018 (bis 1.1.2022 bei Beantr. und Genehm. einer Typengenehmigung vor 1.1.2018)

Tab. 2.1: Europäische Frequenzzulassung für automobiler Radarsensoren.

Einer Fortführung dieses Frequenzbereichs stehen jedoch den Interessen von Richtfunkbetreibern, Radioastronomen und Wetterdiensten gegenüber und erschweren somit eine weltweite breitbandige Zulassung im 24 GHz-Band. Um dennoch breitbandige Nahbereichssensoren in Zukunft zulassen zu können, wurde in Europa der Frequenzbereich von 77 GHz bis 81 GHz bereits 2004 [29] zeitlich uneingeschränkt durch die EU freigegeben und die technischen Anforderungen und Messmethoden im Jahre 2009 detailliert spezifiziert [30]. Um zu gewährleisten, dass während der Übergangszeit von 24 GHz auf 79 GHz keine Technologielücke für breitbandige Nah- und Mittelbereichsradare entsteht, hatte sich bereits 2001