

# Entwicklung eines Testaufbaus und Durchführung von Angriffen auf einen im Automotiv-Bereich verwendeten Radarsensor

BACHELORARBEIT

ausgearbeitet von

Jonas Hösl

zur Erlangung des akademischen Grades  
BACHELOR OF SCIENCE (B.Sc.)

vorgelegt an der

HOCHSCHULE BONN-RHEIN-SIEG  
CAMPUS SANKT AUGUSTIN  
FACHBEREICH INFORMATIK

im Studiengang  
INFORMATIK

Erster Prüfer/in: Prof. Markus Ullmann  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Zweiter Prüfer/in: Prof. Dr. Norbert Jung  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Siegburg, im April 2022

**Adressen:** Jonas Hösl  
Von-Stephan-Straße 23  
53721 Siegburg  
jonas.hoesl@smail.inf.h-brs.de

Prof. Markus Ullmann  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg  
Institut für Cyber Security and Privacy  
Heinemannstr. 11  
53133 Bonn  
markus.ullmann@h-brs.de

Prof. Dr.-Ing Norbert Jung  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg  
Institut für Sicherheitsforschung (ISF)  
Grantham-Allee 20  
53757 Sankt Augustin  
norbert.jung@h-brs.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>2</b>
1.1	Das Radar . . . . .	2
1.1.1	Geschichte des Radars . . . . .	2
1.1.2	Grundlagen der Radartechnik . . . . .	2
1.1.3	Die Radartypen . . . . .	4
1.1.4	Die Radarformel . . . . .	4
1.1.5	Wellenformen . . . . .	5
1.1.6	Der Radarquerschnitt . . . . .	6
1.1.7	Millimeterwaveradare . . . . .	7
1.2	Autonomes Fahren . . . . .	8
1.2.1	Geschichte des autonomen Fahrens . . . . .	8
1.2.2	Level des autonomen Fahrens nach SAE . . . . .	8
1.3	Abgrenzen der Arbeit . . . . .	9
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>10</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>11</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>12</b>

# 1 Stand der Wissenschaft und Technik

In diesem Kapitel wird auf den aktuellen Stand der Wissenschaft der Radartechnologie und des autonomen Fahrens eingegangen. Hierfür wird zuerst auf den geschichtlichen Hintergrund eingegangen und danach die grundlegenden wissenschaftlichen Konzepte erklärt. Am Ende dieses Kapitels findet auch die Abgrenzung der dieser Arbeit statt.

## 1.1 Das Radar

### 1.1.1 Geschichte des Radars

Die Radartechnologie wurde erstmals vom Militär entwickelt und zur Überwachung von Lufträumen zweiten Weltkrieg genutzt. Daher ist ein Großteil der anfänglichen Entwicklung auf den Einsatz dieser Technologie im militärischen Bereich zurückzuführen. Im Laufe der Zeit fand aber die Radartechnologie immer mehr Einsatz in der zivilen Gesellschaft und ist somit nun in vielen unterschiedlichen Bereichen zu finden. Durch die voranschreitende Entwicklung von autonomen Fahren, ist der Einsatz von Radartechnologie in Fahrzeugen über die letzten Jahre immer weiter gestiegen. Um die Entwicklung dieser im Automotiv-Bereich eingesetzten Radare zu verstehen, ist ein grundlegendes Wissen über die Funktionsweise von Radaren absolut notwendig.

### 1.1.2 Grundlagen der Radartechnik

Ein Radar operiert darüber, dass es elektromagnetische Wellen abstrahlt und die Echos, welche von einem sogenannten Zielobjekt zu ihm zurück geworfen werden, registriert. Je nachdem wie diese erhaltenen Echos aussehen, kann das Radar Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Zielobjektes ziehen. Um die Entfernung des Zieles zu berechnen wird die Zeit gemessen, welche die ausgesendete Welle benötigt, um beim Ziel anzukommen und wie lange dann die Reflektion benötigt wieder vom Radar erfasst zu werden. In welchem Winkel sich das Zielobjekt zum Radar befindet, kann über einzelne Ausgerichtete Antennen bestimmt werden. Auch eine Bewegung kann von einem Radar erfasst werden. Dies geschieht anhand der Verschiebung der Reflektionsfrequenz. Diese Verschiebung wird durch den sogenannte Dopplereffekt ausgelöst. Wenn sich ein Zielobjekt auf den Sender zu bewegt, dann erhöht sich die Empfangsfrequenz, da die elektromagnetischen Wellen zusammen gestaucht werden. Wenn sich das Zielobjekt vom Sender entfernt, verringert sich die Empfangsfrequenz. Somit kann das Radar zwischen sich bewegenden Objekten und stationären Objekten unterscheiden. Dieser Dopplereffekt tritt aber nur bei einer Bewegung auf, welche nicht direkt parallel zum Radar verläuft, da bei parallelen Bewegungen keine Frequenzänderung auftritt. Die Dedektionstechnologie von Radaren, bezogen auf diesen Dopplereffekt, ist

inzwischen so ausgereift, dass sogenannte Mikrodopplereffekte registrierbar sind und so Rückschlüsse auf die Bewegungen an einem Zielobjekt getroffen werden können. Um ein besseres Radarbild zu erhalten, kann man durch Einstellungen am Radar die Auflösung in der Bestimmung von Entfernung und Position erhöhen. Wenn man die Bandbreite der ausgesendeten elektromagnetischen Wellen erhöht verbessert sich die Bestimmung der Entfernung der Zielobjekte und mit der elektrischen Vergrößerung der Antennen, kann man die Positionsbestimmung der Zielobjekte verbessern. Radare können in sehr unterschiedlichen Frequenzbereichen eingesetzt werden. Diese Bereiche reichen von ein paar Megahertz bis hin zu mehreren Gigahertz. Je nachdem in welcher der Frequenzen ein Radar sendet, unterscheiden sich die technischen Implementierungen stark. Der Transmitter ist dafür verantwortlich die Radarsignale, welche von einer Antenne ausgesendet werden, zu erzeugen. Dies passiert mit zuhelfenahme eines Wellengenerators, der die gewollte Wellenform generiert und einem Oszilloskop, welches diese Welle dann auf die gewünschte Frequenz transformiert. Diese werden durch einen Verstärker geleitet und das eigentliche Senden findet über die Antenne statt. Die von der Antenne empfangen Echosignale, welche deutlich schwächer sind, als die ausgesendeten Signale, werden von einem Low-Noise Amplifier für die Auswertung verstärkt. Mit zur Hilfenahme von einem Oszilloskop und einem Filter, kann nun bei einem ausreichend starken Signalen ein Zielobjekt festgestellt werden. Dieses kann dann auf einem Display, für eine Auswertung durch einen Menschen dargestellt werden. Dieser muss dann entscheiden, ob es sich bei dem angezeigten Zielobjekt wirklich um ein reales Objekt handelt, oder ob eine Störung dargestellt wird. Moderne Radare sind in der Lage diesen Auswertungsprozess automatisch durchzuführen und somit auch vollkommen autonom Entscheidungen für eine Aufgabe, wie zum Beispiel dem Lenken eines Autos zu übernehmen.[4] In [4, S. 38] wurden in einem einfachen Blockdiagramm die grundlegenden Bauteile eines Radars zusammengefasst.

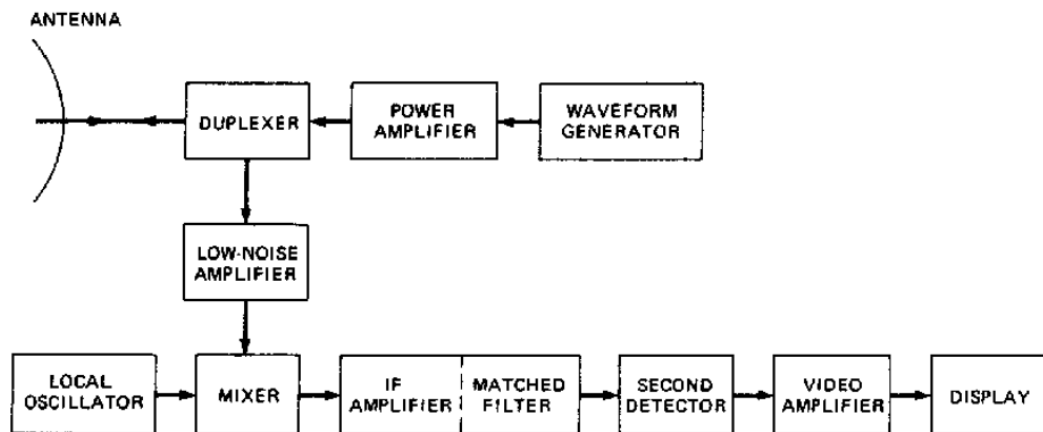


Abbildung 1.1: Vereinfachtes Blockdiagramm der Bauelemente eines Radars [4]

### 1.1.3 Die Radartypen

Zu jeder Zeit kann eine einzelne Antenne nur senden oder empfangen. Je nachdem wie die Empfänger- und Transmitterantennen angeordnet werden, unterscheidet man zwischen verschiedenen Radartypen. Bei Monostatic Radaren gibt es eine Antenne, die sendet und empfängt. Die Regelung ob gesendet wird oder empfangen wird, findet über einen Duplexer statt. Wenn ein Radar aus einer sendenden Antenne und einer empfangenen Antenne besteht und diese beiden direkt neben einander liegen, spricht man von einem sogenannten Quasi-Monostatic Radar. Hierbei kann dann der Sendevorgang auch parallel stattfinden. Wenn die Transmitterantenne und die Empfangsantenne an zwei verschiedenen Orten platziert sind, spricht man von einem Bi-Static Radar. Diese Technologie wird meist vom Militär zur Flugraumüberwachung eingesetzt. Ein Multi-Static Radar besitzt mehrere sendende und empfangende Antennen, welche auch an unterschiedlichen Orten platziert werden können.

### 1.1.4 Die Radarformel

Alle Eigenschaften eines Radars lassen sich in der sogenannten Radarformel zusammenfassen. Diese Gleichung lässt Rückschlüsse auf die maximale Reichweite, die Auflösung in Bezug auf Geschwindigkeit und Reichweite und den abgedeckten Bereich der Winkelauflösung zu.[1] Je nach Radartypen, werden Variablen dieser Gleichung zusammengefasst oder müssen getrennt dargestellt werden. Um die Radarformel aufstellen zu können werden ein paar Kenngrößen gebraucht. Die Gainwert der Transmitter Antenne wird durch  $G_t$  und der Receiver Antenne  $G_r$  beschrieben. Diese Werte gilt es erstmals getrennt zu betrachten, da nur bei Monostatic Radaren eine Antenne vorhanden ist. Analog zu  $G_t$  und  $G_r$  beschreiben  $P_t$  und  $P_r$  die Signalenergie, welche von den Antennen ausgesendet oder empfangen wird.  $\lambda$  beschreibt die Wellenlänge des ausgesendeten Signals und ist somit in den meisten Fällen eine Konstante in der Gleichung. Die Eigenschaften des Zielobjektes werden über den Radarquerschnitt beschrieben und mit der Variablen  $\sigma$  in der Gleichung berücksichtigt. Die Entfernung des Zielobjektes zur Transmitterantenne wird über  $R_t$  und die zur Empfangsantenne mit  $R_r$  beschrieben.

#### Two-Way Gain:

Bei Bi-Static und Quasi-Monostatic Radaren, lassen sich die beiden Gainwerte der Antennen zu dem sogenannte Two-Way Gain zusammenfassen.

$$G_{2w} = G_t G_r$$

#### Bi-Static Gleichung:

Mit den vorher bestimmten Variablen und Konstanten lässt sich die Radarformel für ein Bi-Static Radar wie folgt beschreiben:

$$P_r = P_t \left( \frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_t^2 R_r^2} \right) = P_t \left( \frac{G_{2w} \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_t^2 R_r^2} \right)$$

#### Quasi-monostatic Gleichung:

Dadurch gegeben, dass beide Antennen genau neben einander liegen bei Quasi-monostatic Radaren, können die Werte für die Entfernung der beiden Antennen mit dem selben Wert beschrieben werden.

$$(R = R_r = R_t)$$

Dabei muss beachtet werden, dass  $R$  nun nicht Quadratisch sonder mit einer Viererpotenz in die Gleichung eingeht. Daraus ergibt sich dann die folgende Radargleichung für ein Quasi-monostatic Radar wie folgt:

$$P_r = P_t \left( \frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \right) = P_t \left( \frac{G_2 w \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \right)$$

Um nun die maximale Reichweite des Radars beschreiben zu können kann man die Gleichung nach  $R_{max}$  umstellen und erhält folgende Gleichung:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3} \frac{P_t}{P_{r, min}}}$$

### Monostatic Gleichung:

Bei Monostatic Radaren ist nur eine Antenne vorhanden, weswegen der Gainwert für die Transmitter- und Recieverantenne der selbe ist und wird mit  $G$  beschrieben.

$$G = G_t = G_r$$

Daraus ergibt sich die folgenden Gleichung für Monostatic Radare:

$$P_r = P_t \left( \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \right)$$

Auch hier kann man die maximal Reichweite des Radares durch eine Umformung nach  $R_{max}$  errechnen:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3} \frac{P_t}{P_{r, min}}}$$

### 1.1.5 Wellenformen

Bei der Entwicklung eines Radares muss auch die Entscheidung getroffen werden, welche Wellenform man in dem System einsetzen möchte. Diese Entscheidung beeinflusst dann sowohl die Komplexität der Hardwaretechnik, sowie die Berechnungsformeln zur Auswertung der Signale und die Kosten für das gesamte System.[1, S. 37] Im groben Lassen sich die am häufigst eingesetzten Wellenformen in zwei Oberkategorien einteilen.

Bei Pulswellen, wird wie der Name schon sagt, in Regelmäßigen Abständen ein Signalimpuls ausgesendet. Diese Methode eignet sich sehr gut für die Bestimmung der Entfernung eines Objektes. Diese Wellenform erlaubt es, dass ein Monostatic Radar benutzt werden kann. Mit sogenannten Pulse-Doppler Radaren, lässt sich sowohl die Reichweiten Auflösung, wie auch die Dopplerauflösung verbessern. Dadurch können

solche Doppler-Puls Radare auch besser die Bewegungsrichtung von Zielobjekten bestimmen. Diese Technologie wird häufig zur Luftraumüberwachung eingesetzt.[1, S. 37]

Die andere Wellenform ist die Continius Waveform. Hierbei wird wie der Name schon andeutet eine kontinuierliche Welle ausgesendet, welche sich nicht in der Frequenz ändert. Dadurch lässt sich aber nicht der Abstand zu dem Objekt bestimme, dafür ist die Messung des Dopplereffektes sehr gut. Deshalb wird diese Technologie zum Beispiel bei Geschwindigkeitskontrollen eingesetzt.[1, S. 38]

Bei automobil Radaren hingegen wird eine Variation der Continius Waveform eingesetzt, die sogenannte Frequency-Modulated Continius Waveform (FMCW). Hierbei wird in zeitlichen Abständen die Frequenz der Welle um einen bestimmten Wert erhöht. Dies nennt man einen sogenannten Chirp. Durch diesen Chirp sind FMCW Radare in der Lage auch die Entfernung von Objekten zu bestimmen. Zusätzlich ist die Umsetzung dieser Technologie kostengünstiger als die Implementierung von Puls-Doppler Radaren.[1, S. 38]

### 1.1.6 Der Radarquerschnitt

Bei der Reflektion der ausgesendeten elektromagnetischen Wellen spielen mehrere Faktoren eine Rolle in der Frage, wie diese Wellen reflektiert werden und somit wie viel von der Reflektion vom Radar erfasst werden kann. Dies wird der sogenannte Radarquerschnitt genannt. Ein wichtiger Faktor ist hierbei die Materialeigenschaften des Objektes. Je nachdem aus welchem Material das Objekt besteht und aus welcher Entfernung dieses angestrahlt wird, können die Wellen total oder konfuse reflektiert werden. In den meisten Fällen, ist die Reflektion eine Mischung aus beiden Arten. Eine weitere große Rolle für den Radarquerschnitt spielt der Winkel, mit dem die Wellen auf das Objekt treffen.[5, S. 345] Dieser Radarquerschnitt wird als eine Fläche, meist in  $m^2$  angegeben. Hierbei können die Werte sich je nach Material, Entfernung und Winkel stark unterscheiden. Die Abbildung 1.3 zeigt hierbei eine Auflistung von Standart werten, welche das Radar nutzt um anhand dieses Radarquerschnitts das angestrahlte Objekt zu identifizieren.

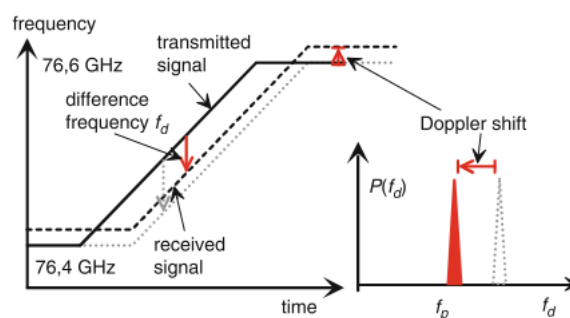


Abbildung 1.2: Dastellung eines FMCW Chirps und dem registrierten Dopplershift [5]



Typical RCS values		
$< 0.01 \text{ m}^2$	$< -20 \text{ dBsm}$	Stealth aircraft
$0.01 \text{ m}^2$	$-20 \text{ dBsm}$	Bird
$0.1 \text{ m}^2$	$-10 \text{ dBsm}$	Winged missile
$1 \text{ m}^2$	$0 \text{ dBsm}$	Person
$10 \text{ m}^2$	$10 \text{ dBsm}$	Cabin cruiser
$20 \text{ m}^2$	$13 \text{ dBsm}$	Medium bomber
$100 \text{ m}^2$	$20 \text{ dBsm}$	Automobile
$100 \text{ m}^2$	$20 \text{ dBsm}$	Jumbo jet
$200 \text{ m}^2$	$23 \text{ dBsm}$	Truck
$> 1000 \text{ m}^2$	$> 30 \text{ dBsm}$	Cargo ship

Abbildung 1.3: Typische Radarquerschnittswerte für Objektidentifikation

### 1.1.7 Millimeterwaveradare

Im Automobilbereich werden sogenannte Millimeterwave Radare eingesetzt. Dabei wird in den meisten Fällen eine sogenannte Microstrip / planar Antenne verwendet. Diese Antennenart lässt sich sehr gut auf Platinen realisieren, da sie dort einfach eingätzt werden können. Bei dieser Antennenart handelt es sich eigentlich um ein Antennenarray, welches aus mehreren sogenannter Patch-Antennen besteht und durch die Überlagerung der einzelnen Signale eine zusammengeschlossene Antenne bilden kann.[3, S. 607ff] Durch gezieltes Verzögern von Sendevorgängen bei einzelnen Antennen im Array kann die Arrayantenne ausgerichtet werden ohne, dass die Platine bewegt werden muss. Auch kann ein Radararray die Signal-to-Noise Ratio verbessern, was für ein Automotive-Radar überaus wichtig ist.[1] Millimeterwave Radar sendet in einem sehr hohen Frequenzbereich, welcher ab 40 GHz beginnt und bis circa 300 GHz geht.[4] Radare welche in Autos eingesetzt werden, haben aber standardisierte Frequenzbereiche vorgegeben, auf welchen sie senden dürfen. Aktuell handelt es sich hierbei um vier Bänder: 24.0-24.25 GHz, 76-77 GHz, 77-81 GHz, sowie 21.65-26.65 GHz. Hiervon wurde das 76.5 GHz Band als ein weltweit anerkanntes Band für automotive Radare ausgewählt. Dieses wird auch als die Frequenz eingesetzt, welche für die Verkehrsüberwachung bei autonomen Fahren verantwortlich ist.

## 1.2 Autonomes Fahren

### 1.2.1 Geschichte des autonomen Fahrens

In den letzten Jahren ist das Thema des autonomen Fahrens immer mehr in den Vordergrund gerückt. Hierbei übernimmt der Computer, je nach Level des autonomen Fahrens, immer mehr die Kontrolle über das Auto. Der aktuelle Stand bei dieser Technologie in Serienfahrzeugen ist auf dem Level 2 nach SAE J3016. Dies beinhaltet ausschließlich Assistenzsysteme wie Einparkhilfe oder Spurhalteassistenten. Die ersten Level 3 Funktionen sind bis jetzt nur in einer Handvoll von Autos verfügbar, wie zum Beispiel der Staupilot in der aktuellen Mercedes S-Klasse. Im Versuchsbetrieb gehen die Tendenzen immer mehr zu einem autonomen Fahren des Level 4 und 5. Damit der Computer im Auto in der Lage ist, zum Beispiel die Funktionen eines Fahrers zu übernehmen, bedarf er mehrerer Sensoriken. Dazu gehören zum Beispiel Umgebungsensoren, anhand welcher der Computer Berechnungen für sein Verhalten durchführen kann. Hierzu werden aktuell hauptsächlich Kamera, Radar und LiDAR eingesetzt.

### 1.2.2 Level des autonomen Fahrens nach SAE

Durch die starke Entwicklung bei den im Automobilbereich eingesetzten Sensorik und deren Verarbeitung, konnten immer mehr Fahrsysteme in die Hand eines Computers gelegt werden. Damit dies gelang, musste ein großer Wert auf die Funktionssicherheit dieser Komponenten gelegt werden. So werden in Fahrzeugen nicht nur Radarsensoren eingesetzt, sondern auch Kameras, LIDAR, ultrasonic und GPS Sensoren. Die hierbei erhobenen Daten, werden in verschiedenen Prozessen zusammen verarbeitet und ermöglichen somit eine immer stetig voranschreitende Autonomie des Autos vom Fahrer in Hinsicht auf die Fahrzeugkontrolle. Um diese Autonomie beschreiben zu können, hat die Society of Automotive Engineers(SAE) seit 2014 die einzelnen Stufen von selbstfahrenden Autos in Level eingeteilt.[2]

**Level 0:** Im ersten Level befinden sich alle Fahrzeuge, welche über keinerlei Automatisierung was das Fahren angeht besitzen. Somit werden alle Funktionen wie Lenken, Bremsen, Beschleunigen vom Fahrer übernommen. Zwar besitzt das Auto Sensorik, diese warnt den Fahrer aber höchstens vor möglichen Gefahren.

**Level 1:** In dieses Level fallen alle Autos, welche eine sehr begrenzte Fahrunterstützung anbieten. Dazu gehört zum Beispiel das automatische Bremsen in Gefahrensituationen. Der Fahrer besitzt aber noch die volle Kontrolle über das Fahrzeug.

**Level 2:** Ab diesem Level spricht man von einer sogenannten partiellen Automatisierung. Hierbei kann das Beschleunigen und Abbremsen übernommen werden, sowie das Halten einer Spur auf zum Beispiel der Autobahn. Diese Funktionen bedürfen aber der dauerhaften Überwachung des Fahrers. Dieser muss die gesamte Zeit den Verkehr im Auge behalten, um in der Lage sein zu jedem Zeitpunkt die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen zu können.

**Level 3:** Das Auto übernimmt sowohl das Beschleunigen und Abbremsen, zusätzlich wird auch das Lenken übernommen. Die Sensorik ist in der Lage, den Verkehr und die Umgebung um das Auto herum zu überwachen, weshalb vom Fahrer keine dauerhafte Aufmerksamkeit für diese erforderlich ist. Trotzdem muss der Fahrer in der Lage sein,

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
<b>Human driver monitors the driving environment</b>						
<b>0</b>	<b>No Automation</b>	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
<b>1</b>	<b>Driver Assistance</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>2</b>	<b>Partial Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	<b>System</b>	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>						
<b>3</b>	<b>Conditional Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	<b>System</b>	Human driver	Some driving modes
<b>4</b>	<b>High Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	<b>System</b>	Some driving modes
<b>5</b>	<b>Full Automation</b>	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	<b>All driving modes</b>

Abbildung 1.4: Graphik über die Level des autonomen Fahrens [2]

zu jedem Zeitpunkt die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen zu können um auf Gefahren, welche das Auto nicht umgehen kann, zu reagieren.

**Level 4:** Ab diesem Level ist das Auto in der Lage alle Verantwortung für vorher festgelegte Fahrsituationen zu übernehmen, dies schließt auch den Fall ein, dass der Fahrer bei Aufforderung die Kontrolle zu übernehmen nicht schnell genug reagiert.

**Level 5:** Es wird kein Fahrer mehr gebraucht. Das Auto ist in der Lage alle Fahrfunktionen unter allen Bedingungen, sei es auf der Straße oder Wetter bedingt, autonom zu übernehmen, solange sich das Fahrzeug auf normalen Straßen befindet. Dieses Level ist das, was sich die meisten Menschen unter autonomen Fahren vorstellen. Bisher konnte dieses Level noch nicht erreicht werden. Der aktuelle Stand der Forschung ist noch bei Level 4. Durch den Fortschritt, der in den letzten Jahren zuerkennen war, rücken Autos vom Level 5 immer mehr in den Bereich des Möglichen.

### 1.3 Abgrenzen der Arbeit

Diese Arbeit wird sich damit Beschäftigen, eine Testumgebung zu entwerfen, welche in der Lage sein wird, eine wissenschaftliche Umgebung für Angriffe auf ein Automotive-Radar zu bieten. Diese Testumgebung kann Ergebnisse liefern, welche es ermöglichen wissenschaftlich stichhaltige Erkenntnisse aus den Angriffen zuziehen. Um die Funktionsfähigkeit dieser Testumgebung aufzuzeigen, werden in dieser Arbeit mehrere Testangriffe auf ein Radar durchgeführt und mit den für die Testumgebung entwickelten Vorgehen ausgewertet werden. Diese Angriffe haben aber nicht den Anspruch reale Sicherheitslücken an dem Radar aufzuzeigen, sondern dienen dem Zweck, die Funktionsfähigkeit des Testaufbaus zu zeigen.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Vereinfachtes Blockdiagramm der Bauelemente eines Radars [4] . . . . .	3
1.2	Dastellung eines FMCW Chirps und dem registrierten Dopplershift [5] .	6
1.3	Typische Radarquerschnittswerte für Objektidentifikation . . . . .	7
1.4	Graphik über die Level des autonomen Fahrens [2] . . . . .	9

## **Tabellenverzeichnis**

# Literatur

- [1] Jonah Gamba. *Radar Signal Processing for Autonomous Driving*. eng. 1st ed. 2020. Springer eBooks Engineering. Gamba, Jonah (VerfasserIn). Singapore: Springer, 2020. 142 S. ISBN: 978-981-13-9192-7. DOI: 10.1007/978-981-13-9193-4.
- [2] *J3016\_202104: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - SAE International*. 6.05.2022. URL: [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/) (besucht am 06.05.2022).
- [3] Klaus W. Kark. *Antennen und Strahlungsfelder*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020. ISBN: 978-3-658-31135-3. DOI: 10.1007/978-3-658-31136-0.
- [4] Merrill I. Skolnik. „Skolnik (Hg.) 1990 - Radar handbook“. In: (1990).
- [5] Hermann Winner u. a. *Handbook of Driver Assistance Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2016. ISBN: 978-3-319-12351-6. DOI: 10.1007/978-3-319-12352-3.

# Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbständig verfasst zu haben.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben.

Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Siegburg, 8. Mai 2022

Jonas Hösl