



# **Simulation von infrastrukturellen Umfelderfassungslösungen zur Systemkonzeptbewertung**

## **Masterarbeit**

erstellt von cand. mach. Viviane Bremer  
Braunschweig, der 10. Januar 2019

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Fahrzeugtechnik  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay  
Betreuer: Adrian Sonka



Aufgabenstellung (Original bzw. Kopie)

## **Sperrklausel**

Die Ausgabe der vorliegenden Bachelor/Master/Studien/Projektarbeit mit dem Titel ist ausschließlich unter Genehmigung der Institutsleitung zulässig.

Ort, den Datum

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelor/Master/Studien/Projektarbeit mit dem Titel, ohne unerlaubte fremde Hilfe oder Beratung und nur unter Verwendung der angegebenen wissenschaftlichen Hilfsmittel angefertigt habe.

Ort bei Unterschrift, den Datum bei Unterschrift

---

Name des Autors

## **Kurzfassung**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Umfelderkennung</b>	<b>2</b>
2.1 Sensoren zur Umfelderkennung . . . . .	2
2.1.1 Ultraschall . . . . .	2
2.1.2 Radar . . . . .	4
2.1.3 Lidar . . . . .	6
2.1.4 Kamera . . . . .	8
2.2 Datenverarbeitung . . . . .	9
2.2.1 Objekterkennung und Tracking . . . . .	9
2.2.2 Sensordatenfusion . . . . .	12
2.3 Sensoreinsatz im Fahrzeug . . . . .	14
2.4 Sensoreinsatz in der Infrastruktur . . . . .	17
<b>3 Anforderungen an ein Software-Tool zur Sensorbewertung</b>	<b>22</b>
<b>4 Software-Tool zur Sensorbewertung</b>	<b>23</b>
4.1 Programmstruktur/Architektur . . . . .	23
4.2 Implementierung . . . . .	23
<b>5 Evaluation</b>	<b>24</b>
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>25</b>
<b>Literatur</b>	<b>26</b>
<b>Anhang</b>	<b>31</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Veranschaulichung des Trilaterationsprinzips für ein rundes Objekt . . .	3
2	Beispielhafter Frequenzverlauf von FMCW (a) und Chirp Frequency Modulation (b) [WHLS15] . . . . .	4
3	Vergleich zwischen Scanning (a) und Monopuls (b) [WHLS15] . . . . .	6
4	Schematischer Ablauf der Datenverarbeitung [WHLS15] . . . . .	9
5	Beispiel für den Vergleich von Region-Growing (grün) und Linienextraktion (blau). Die roten Punkte sind die Laserscannerrohdaten [Leo08]	10
6	Beispielhafte Darstellung der Bildgradienten (links) und der Histogramme der Gradientenrichtung (rechts) [WHLS15] . . . . .	10
7	Ansätze der Datenaufnahme für die Datenfusion . . . . .	13
8	Implizite Sensordatenfusion mit asynchronen Sensoren [Kla05] . . . . .	13
9	Explizite Sensordatenfusion mit synchronen Sensoren [Kla05] . . . . .	14
10	Beispielhafte Darstellung der Umfelderkennungssensoren am Fahrzeug	15
11	Die Forschungskreuzung des Testfeldes AIM in Braunschweig. Blau: Sichtbereich zweier Monokameras kombiniert mit einem 24GHz Radar und einem IR-Blitz. Grün: Sichtbereich eines Stereokamerasystems mit einem IR-Blitz [KLGFK16] . . . . .	18
12	Sensoraufbau der Ko-PER Kreuzungen in Aschaffenburg. Gelb: Sichtbereich der Laserscanner. Grün: Sichtbereich der Kameras [Mic] . . .	19



## Tabellenverzeichnis

1	Fahrzeugautomatisierungsgrade nach der Bundesanstalt für Straßen-	
	wesen . . . . .	16
2	Einsatz von Sensoren im Fahrzeug . . . . .	20
3	Einsatz von Sensoren in der Infrastruktur . . . . .	21

---

## **Abkürzungsverzeichnis**

## Symbolverzeichnis

$\Delta h_{\text{ax}}$	$[\text{m/s}^2]$	Überschwingweite
------------------------	------------------	------------------

---

# 1 **Einleitung**

## 2 Umfelderkennung

Dieses Kapitel stellt zunächst die bestehenden Sensoren zur Umfelderkennung vor und erläutert deren Funktionsprinzipien. Anschließend wird auf die Sensordatenverarbeitung eingegangen. Dazu gehören die Datenfusion, die Objekterkennung und das Tracking. Auf diesen Grundlagen aufbauend wird in den Abschnitten 2.3 und 2.4 aufgezeigt, wie dies im Fahrzeug und auch in der Infrastruktur genutzt wird.

### 2.1 Sensoren zur Umfelderkennung

Die Sensoren zur Umfelderkennung werden in entfernungsgebende und bildgebende Sensoren unterschieden. Zu ersterem gehören der Ultraschall, der Radar und der Lidar. Zu letzterem die Kamera mit dem sichtbaren und dem Infrarotspektrum. Im Folgenden werden die einzelnen Sensorprinzipien erläutert.

#### 2.1.1 Ultraschall

Als Ultraschall werden die Schallfrequenzen ab 20kHz bezeichnet. Sie gehören zu den Frequenzen, die für das menschliche Ohr nicht hörbar sind. Die Messung mit Ultraschall gehört zu den Laufzeitmessungen. Ein Sender emittiert Schallwellen, die schließlich von Objekten reflektiert werden. Mit Hilfe der gemessenen Laufzeit  $\Delta t$ , bis das Echo wieder am Sender ankommt, kann der Abstand  $d$  zum gemessenen Objekt mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit  $c_S$  bestimmt werden [TR14]:

$$d = \frac{c_S \Delta t}{2}. \quad (1)$$

Da die Strecke zwischen Sender und Objekt zweimal durchlaufen wird, muss diese halbiert werden um den tatsächlichen Abstand zu erhalten. Neben der reinen Abstandsmessung kann mit Hilfe von zwei Sendern, deren Erfassungsbereiche überlappen, auch eine Positionsbestimmung durchgeführt werden. Hierzu wird das Trilaterationsverfahren genutzt. Für ein rundes Objekt ist dies in Abbildung 1 dargestellt. Der

Abbildung  
überarbeiten!

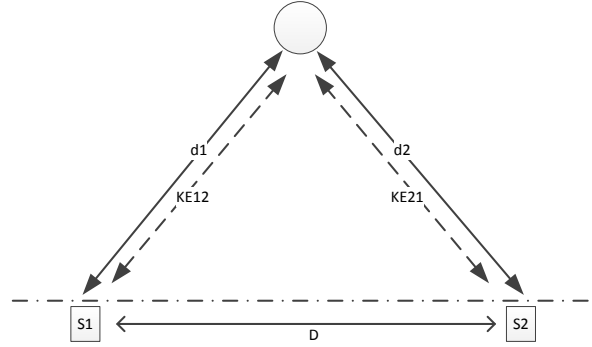


Abbildung 1: Veranschaulichung des Trilaterationsprinzips für ein rundes Objekt

Abstand  $D$  berechnet sich mittels des Satzes von Pythagoras:

$$D = \sqrt{DE1^2 - \frac{(d^2 + DE1^2 - DE2^2)^2}{4d^2}} \quad (2)$$

Die Reichweite des Ultraschallsensors ist abhängig von der ausgesendeten Schallintensität  $I_s$ , die in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  des gemessenen Objektes abnimmt. Somit ergibt sich mit der effektiven Reflexionsfläche  $\sigma$  und bezogen auf den Normabstand  $r_1$  die reflektierte Schallintensität

$$I_{refl} = \sigma I_s \left( \frac{r_1}{2r} \right)^2. \quad (3)$$

Des Weiteren verringern der Reflexionsgrad  $\rho_s$  und die Impedanz der Atmosphäre die Schallintensität bei der Reflexion. Als untere Grenze zur Objektmessung muss die Schallintensität des Empfangssignals oberhalb des Rauschens liegen, d.h.  $\geq 10\text{dB}$  sein.

Zur Schallerzeugung und -empfang wird bei Ultraschallsensoren eine Membran aus einer Piezokeramik eingesetzt [WHLS15]. Zum Aussenden der Schallwellen wird die Membran aktiv in Schwingung versetzt und nach einer festgelegten Sendedauer wieder zur Ruhe gebracht. Die Zeit bis der reflektierte Schall die Membran wieder zur Schwingung anregt wird mit Gleichung 1 zur Abstandsbestimmung genutzt.

### 2.1.2 Radar

Die Radarmessung (Radio Detection And Ranging) gehört zu den berührungslosen Messverfahren und wird insbesondere bei anspruchsvollen Umgebungsbedingungen eingesetzt [TR14]. Bei diesem Verfahren werden elektromagnetische Wellen im Mikrowellenbereich eingesetzt, welche kaum anfällig gegenüber Temperaturschwankungen und Nebel sind. Für den Automobilbereich sind die Frequenzen 24GHz und 77GHz reserviert [WHL15].

Zur Abstandsmessung finden zwei verschiedene Ansätze Verwendung, die sich in der Frequenzmodulation unterscheiden. Das ist einmal das Dauerstrichradar (FMCW – Frequency Modulated Continuous Wave) und zum anderen die Chirp Frequency Modulation. Die Frequenzverläufe der beiden Modulationsverfahren sind in Abbildung 2 dargestellt.

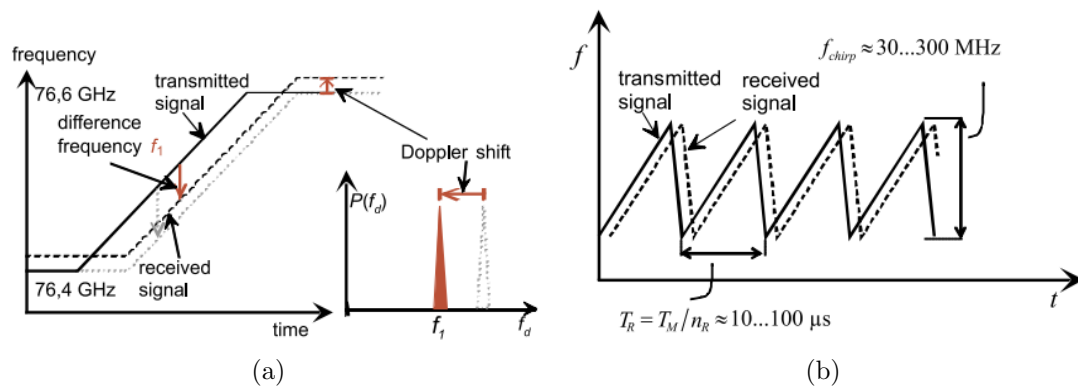


Abbildung 2: Beispielhafter Frequenzverlauf von FMCW (a) und Chirp Frequency Modulation (b) [WHL15]

Das Dauerstrichradar erzeugt durch die kontinuierliche und rampenförmige Veränderung der Momentanfrequenz eine konstante Phasenverschiebung von  $+(2r/c)^2 m_\omega$ . Der Abstand und die Geschwindigkeit wird bei diesem Verfahren mithilfe der Frequenzverschiebung bestimmt:

$$r = \frac{c}{2} \cdot \frac{\omega_{obj,1} - \omega_{obj,2}}{m_{\omega,1} - m_{\omega,2}}, \quad (4)$$

$$\dot{r} = \frac{c}{2\omega_0} \cdot \frac{m_{\omega,1}\omega_{obj,1} - m_{\omega,2}\omega_{obj,2}}{m_{\omega,1} - m_{\omega,2}}. \quad (5)$$

Bei der Chirp Frequency Modulation wird ein Sägezahnsignal mit einem Hub von  $f_{chirp} = 30 \dots 300$  MHz erzeugt. Die Dopplerfrequenz bestimmt hierbei die Wiederholrate und sollte etwa 80kHz betragen, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden. Der Abstand wird mit dem Puls-Doppler-Verfahren mit der Laufzeit  $t_{of} = t_{PC} - t_S$ , bezogen auf die Pulsmitte  $t_{PC}$ , bestimmt:

$$r = \frac{1}{2} c t_{of} \quad (6)$$

Für die Bestimmung der Geschwindigkeit wird beim Radar der Doppler-Effekt genutzt. Der Doppler-Effekt besagt, dass sich die Frequenz bei der Reflexion in Abhängigkeit von der Änderung des Abstandes  $\dot{r}$  ändert. Diese Frequenz wird Dopplerfrequenz  $f_{Doppler}$  genannt und ergibt sich mit der Trägerfrequenz  $f_0$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  folgendermaßen:

$$f_{Doppler} = -\frac{2\dot{r}}{c} f_0 \quad (7)$$

Bei einer Annäherung ( $\dot{r} < 0$ ) ist diese Frequenz positiv und beim Entfernen negativ.

Die Reichweite des Radars ist abhängig von der Sendeleistung und der Richtcharakteristik der Antenne. Je nach Richtcharakteristik ergibt sich der Antennengewinn  $G$ , der Einfluss auf die Reichweite nimmt. So ergibt sich die Empfangsleistung für ein reflektiertes Radarsignal zu

$$P_R = \frac{10^{-2kr/1000} \sigma \lambda^2 G^2 V_{mp}^2 P_{total}}{(4\pi)^3 r^4} \quad (8)$$



mit dem Rückstreuquerschnitt des Objektes

$$\sigma_{plate} = 4\pi \frac{A^2}{\lambda^2}. \quad (9)$$

Gleichung 8 berücksichtigt außerdem sogenannte Signalleistungsschüttler mit dem Faktor  $V_{mp}^2$ ,  $0 \leq V_{mp} \leq 2$ .

Für die Winkelbestimmung kommen zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz. Das ist zum Einen das mechanische Scanning, bei dem eine Strahlableinheit oder eine Planarantenne mechanisch geschwenkt wird. Dabei bewegt sich die Radarkeule mit einer Schrittweite von etwa  $1^\circ$ , siehe Abbildung 3(a).

Das zweite Verfahren ist das Monopuls-Verfahren. Hierbei erzeugt eine separate Antenne einen Sendestrahl, der von einer Doppelantennen-Anordnung Empfangen wird, siehe Abbildung 3(b). Eine Verbesserung dieses Verfahrens ermöglicht die Verwendung von Mehrstrahlern mit bis zu vier Antennen.

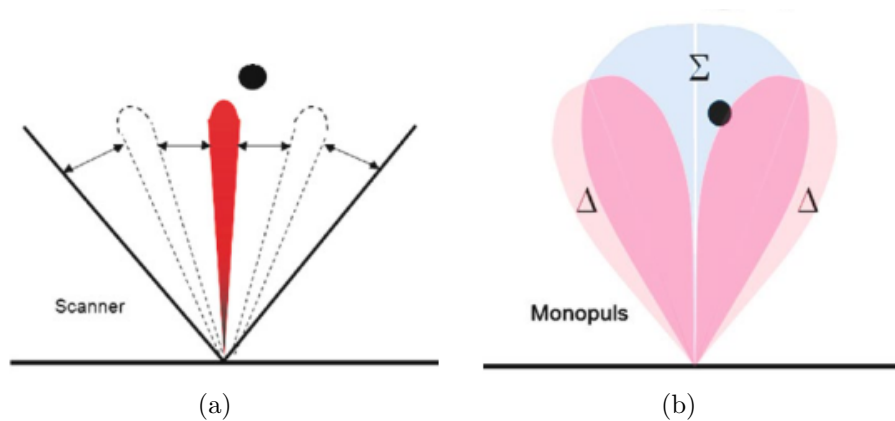


Abbildung 3: Vergleich zwischen Scanning (a) und Monopuls (b) [WHLS15]

### 2.1.3 Lidar

Light Detection and Ranging, kurz Lidar, gehört zu den optischen Messverfahren und nutzt UV-, IR-Strahlen oder Strahlen aus dem sichtbaren Spektrum [WHLS15]. Für die Abstandsmessung wird die Pulslaufzeitmessung genutzt bei dem kurze Lichtblitze

hoher Leistung, meist Laser-Pulse, gesendet und die Laufzeit gemessen wird [TR14]. Der Abstand wird ähnlich wie beim Ultraschall bestimmt:

$$d = \frac{c_L \Delta t}{2} \quad (10)$$

Mit der Lichtgeschwindigkeit  $c_L$ . Die Reichweite beim Lidar ist durch die Lichtintensität, welche den Laserschutzvorschriften genügen muss, beschränkt. Des Weiteren beeinflusst auch der Reflexionsgrad  $\rho_L$  die Reichweite. Dieser ist insbesondere von der Oberfläche des Objektes abhängig, aber auch von seiner Größe. So ergibt sich für die reflektierte Lichtintensität  $P_r$  für ein großes bzw. nahes Objekt die folgende Gleichung:

$$P_r = \frac{\rho_L \cdot A_t \cdot H \cdot T^2 \cdot P_t}{\pi^2 \cdot R^3 \cdot (Q_v/4)(\Phi/2)^2} \quad (11)$$

Für ein Objekt, das – aufgrund der Entfernung – kleiner ist als der Lichtpunkt, ändert sich Gleichung 11 zu:

$$P_r = \frac{\rho_L \cdot A_t \cdot H \cdot T^2 \cdot P_t}{\pi^2 \cdot R^4 \cdot (Q_v Q_h/4)(\Phi/2)^2}. \quad (12)$$

Hierbei ist  $\Phi$  der Winkel der Objektreflexion,  $H$  die Objektbreite,  $A_t$  die Empfangslinsenfläche,  $T$  die Transmission der Atmosphäre,  $Q_v$  und  $Q_h$  die vertikale bzw. horizontale Strahldivergenz und  $P_t$  die Laserleistung.

Das Sichtfeld kann von dem eindimensionalen Fall mit einem Strahl in nur eine Richtung auch horizontal und vertikal beliebig erweitert werden. Dafür gibt es zwei verschiedene Ansätze. Ein Ansatz ist der Einsatz eines schwenkbaren Spiegels, der den Laserstrahl umlenkt. Hierdurch ist ein horizontaler Öffnungswinkel von bis zu  $360^\circ$  und ein vertikaler Öffnungswinkel von bis zu  $120^\circ$  möglich. Der zweite Ansatz nutzt ein Array aus Laserdioden, die mittels Multiplexverfahren angesteuert werden. Der horizontale Öffnungswinkel bei dieser Variante beträgt bis zu  $110^\circ$  und der vertikale Öffnungswinkel ist von der Strahlbreite abhängig und beträgt in etwa  $2^\circ$  bis  $5^\circ$ .

### 2.1.4 Kamera

Die Kamera gehört zu den bildgebenden Sensoren und besitzt dadurch den Vorteil, ähnliche Informationen wie das menschliche Auge zu produzieren. Somit können Objekte mit einer hohen Genauigkeit identifiziert werden. Jedoch ist die Entfernungsmessung mit einer Monokamera eher ungenau, da dies nur anhand der Auflösung geschätzt werden kann. Diese bestimmt auch den Sichtbereich und die Reichweite. Letzteres wird durch den Bereich des scharfen Abbildens begrenzt [HMS16]. Die untere Grenze  $a_v$  der Reichweite liegt vor und die obere Grenze  $a_h$  hinter der Objektebene. Sie ergeben sich mit

$$a_v = \frac{af'^2}{f'^2 - u'k(a + f')} \quad (13)$$

$$a_h = \frac{af'^2}{f'^2 + u'k(a + f')}. \quad (14)$$

Dabei ist  $k$  die Blendenzahl,  $a$  der Abstand zwischen Objektebene und Eintrittspupille,  $f'$  die Brennweite und  $u'$  der Durchmesser des Unschärfekreises, der sich folgendermaßen bestimmen lässt:

$$u' = \frac{\text{Formatdiagonale}}{1000} \quad (15)$$

Neben dem sichtbaren Spektrum können einige Kameras auch das Infrarotspektrum erkennen. So kann auch bei Nacht bzw. Dunkelheit die Kamera weiterhin eingesetzt werden. Es gibt zwei verschiedene Ansätze hierbei, die unterschiedliche Infrarotbereiche nutzen [WHLS15]. Eine Möglichkeit ist das Nahinfrarot (NIR). Hierbei wird die Szene mit NIR-Strahlung ausgeleuchtet, die von der Kamera erkannt wird. Die andere Möglichkeit ist der Einsatz von Ferninfrarot (FIR). In diesem Spektrum liegt die Wärmestrahlung von Objekten, die von speziellen Wärmebildkameras erfasst werden kann.

## 2.2 Datenverarbeitung

Im folgenden Abschnitt wird auf die Datenverarbeitung genauer eingegangen. Hierzu gehört die Objekterkennung und das Objekttracking, welche durch eine Datenfusion erweitert werden können. Der Ablauf der Datenverarbeitung ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

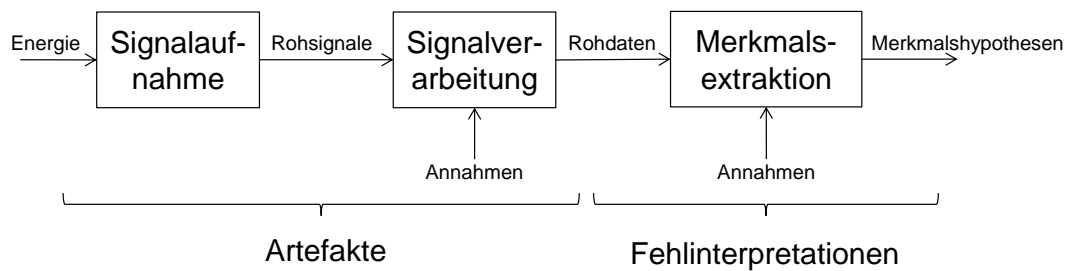


Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Datenverarbeitung [WHLS15]

Als erstes wird die Signalaufnahme mittels des Sensors durchgeführt. Dem schließt sich eine Signalverarbeitung der Rohsignale an. Danach werden mit Hilfe einer Merkmalsextraktion Merkmals- bzw. Objekthypothesen aufgestellt. Fehlerquellen sind hierbei Artefakte durch Verletzung von physikalischen Annahmen in der Signalverarbeitung und Fehlinterpretationen durch Annahmen in der Merkmalsextraktion.

### 2.2.1 Objekterkennung und Tracking

Für die Objekterkennung und das Tracking gibt es unterschiedliche Verfahren. Bei der Objekterkennung ist die Wahl des Verfahrens insbesondere abhängig vom Sensortyp. So werden z.B. für Radar und Lidar eher Segmentierungsverfahren eingesetzt und für Kamera Gradientenverfahren.

Radar und Lidar erzeugen bei der Messung Punktwolken. Um in diesen Punktwolken Objekte zu identifizieren, werden Segmentierungsverfahren eingesetzt. Die Annahme bei diesem Verfahren ist, dass Messrohpunkte eines Objektes in enger Nachbarschaft liegen. So werden diese Punkte mittels Region-Growing oder Linienextraktion gruppiert bzw. verbunden, siehe Abbildung 5. Nach diesem Schritt werden die Segmente

in I- und L-Formen unterschieden. Unter Verwendung der Segmentabmessungen kann schließlich die Objektklasse bestimmt werden [Leo08].



Abbildung 5: Beispiel für den Vergleich von Region-Growing (grün) und Linienextraktion (blau). Die roten Punkte sind die Laserscannerrohdaten [Leo08]

Bei der Kamera werden Gradientenverfahren und Matching Verfahren zur Merkmalsextraktion eingesetzt [WHLS15]. Die wichtigsten Merkmale beim Kamerabild sind Kanten und Ecken. Diese führen zu einer deutlichen Änderung des Bildsignals, welche mathematisch durch Gradienten beschrieben wird. Diese können in Histogramme der Gradientenrichtung überführt werden, siehe Abbildung 6.

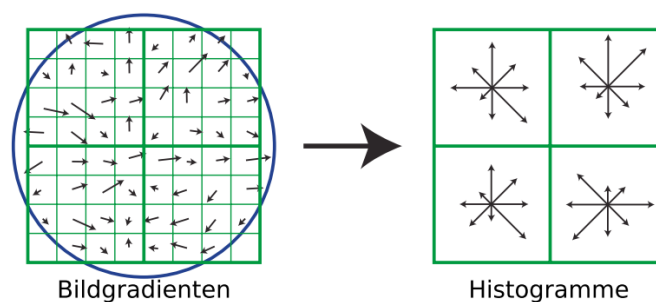


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der Bildgradienten (links) und der Histogramme der Gradientenrichtung (rechts) [WHLS15]

Beim Matching Verfahren wird eine kleine Region um einen Bildpunkt herum mit den entsprechenden Punkten im nächsten Bild verglichen. Um nicht den gesamten

Bildraum abzusuchen, wird das Verfahren auf Ecken und Kanten im Bild angewendet.

Für das Tracking werden insbesondere drei verschiedene Verfahren eingesetzt. Das sind der Bayes-Filter, der Kalman-Filter und der Partikelfilter [WHLS15]. Die Aufgabe dieser Verfolgungsverfahren ist, aus den Beobachtungen  $Y_k$  die zu schätzenden Größen  $X_k$  zu bestimmen. Dies geschieht zu diskreten Zeitschritten  $k = 1, 2, \dots$ . Die Systemgleichung

$$X_k = f_k(X_{k-1}, s_k) \quad (16)$$

beschreibt die Dynamik des Zustandes  $X_k$ . Hierbei wird das stochastische Systemrauschen  $S$  mit Hilfe von  $s_k$  realisiert. Die erzeugten Beobachtungen  $Y_k$  werden mittels der Beobachtungsgleichung

$$Y_k = g_k(X_k, v_k) \quad (17)$$

beschrieben.  $v_k$  ist dabei die Realisierung des stochastischen Beobachtungsrauschens  $V$ . Mit Hilfe dieser Gleichungen wird die Wahrscheinlichkeitsdichte  $p(X_k|Y_0\dots Y_k)$  für den aktuellen Zustand geschätzt.

Der Bayes-Filter ist ein allgemeingültiges Verfolgungsverfahren. Es schätzt aus der Beobachtung die neue mögliche Position. Die Beobachtung findet im Zustandsraum statt und gibt eine Wahrscheinlichkeitsdichte für den aktuellen Zustand heraus unter Berücksichtigung aller vorigen Beobachtungen. Die rekursive Gleichung für die Wahrscheinlichkeitsdichte des Bayes-Filters folgendermaßen:

$$p(X_k|Y_0, \dots, Y_{k-1}) = c \cdot p(Y_k|X_k) \cdot \int p(X_k|X_{k-1}) p(X_{k-1}|Y_0, \dots, Y_{k-1}) dX_{k-1} \quad (18)$$

Der Kalman-Filter schätzt die Zustände aufgrund von redundanten Daten. Somit wird zu jedem Zeitpunkt  $k$  die Normalverteilung mit Hilfe ihres Mittelwertes  $\hat{X}_k$

und der Kovarianzmatrix  $P_k$  bestimmt. Die Schätzung aus dem vorigen Schritt  $\hat{X}_{k-1}$ ,  $P_{k-1}$  wird für die nächste Position auf den aktuellen Zeitschritt projiziert:

$$\hat{X}_k^- = F \hat{X}_{k-1} \quad (19)$$

$$\hat{P}_k^- = F \hat{P}_{k-1} F^T + P_S \quad (20)$$

Dabei ist  $F$  die Dynamikmatrix und  $P_S$  die Kovarianzmatrix des Systemrauschens. Danach wird schließlich die neueste Beobachtung  $Y_k$  mit der Beobachtungsmatrix  $G$  und der Kovarianzmatrix des Beobachtungsrauschens  $P_V$  berücksichtigt.

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + \hat{P}_k^- G^T (P_V + G \hat{P}_k^- G^T)^{-1} (Y_k - G F \hat{X}_{k-1}) \quad (21)$$

$$\hat{P}_k = \hat{P}_k^- - \hat{P}_k^- G^T (P_V + G \hat{P}_k^- G^T)^{-1} G \hat{P}_k^- \quad (22)$$

Beim Partikelfilter wird die Wahrscheinlichkeitsdichte durch die endliche Summe von Diracstößen mit Gewichten  $w_k^i p(X_k | Y_0, \dots, Y_k) \approx \sum w_k^i \delta(X_k - X_k^i)$  approximiert. Die Paare aus Gewicht  $W_k^i$  und Zustand  $X_k^i$  werden als Partikel betrachtet. Nach jedem Innovationsschritt werden schließlich die Gewichte aktualisiert.

### 2.2.2 Sensordatenfusion

Die Sensordatenfusion wird genutzt, um die Genauigkeit zu erhöhen bzw. mehr Informationen zu erhalten. Dies ist davon abhängig, welche Sensoren und wie sie eingesetzt werden. Im Allgemeinen werden die Ansätze in komplementär, konkurrierend und kooperativ unterschieden. Die Bedeutung für den Sensoreinbau bedeutet ist in Abbildung 7 dargestellt. Werden Sensoren komplementär genutzt, ergänzen sich deren einzelne Sichtfelder zu einem großen. Sind Sensoren konkurrierend verbaut, sind sie entweder redundant, d.h. es wird die gleiche Information generiert, oder konträr, d.h. es werden gegensätzliche Informationen erzeugt. Der letzte Ansatz ist der kooperative Einsatz von unterschiedlichen Sensoren, die zusammen einen höheren Informationsgehalt erzeugen [Kla05].

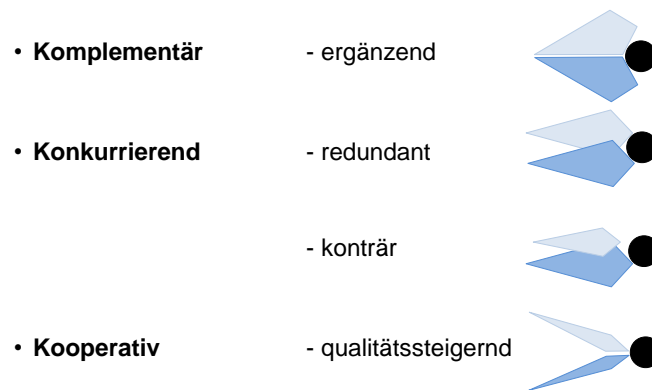


Abbildung 7: Ansätze der Datenaufnahme für die Datenfusion

Für die Sensordatenfusion gibt es zwei wesentliche Ansätze, siehe Abbildungen 8 und 9. Entweder werden die Daten implizit oder explizit fusioniert. Bei der impliziten Fusion werden die Sensordaten zeitlich nacheinander eingebracht. Dadurch wird eine zeitlich konsistente Datenverarbeitung nötig. Außerdem muss eine zeitliche Filterung durchgeführt werden, wenn die Messdaten vorliegen. Es wird jedoch schon eine Assoziation auf dem sensorspezifischen Abstraktionslevel durchgeführt, die bei der Fusion abgeglichen wird. Vorteilhaft bei der impliziten Fusion ist, dass keine Synchronisierung der Sensoren durchgeführt werden muss.

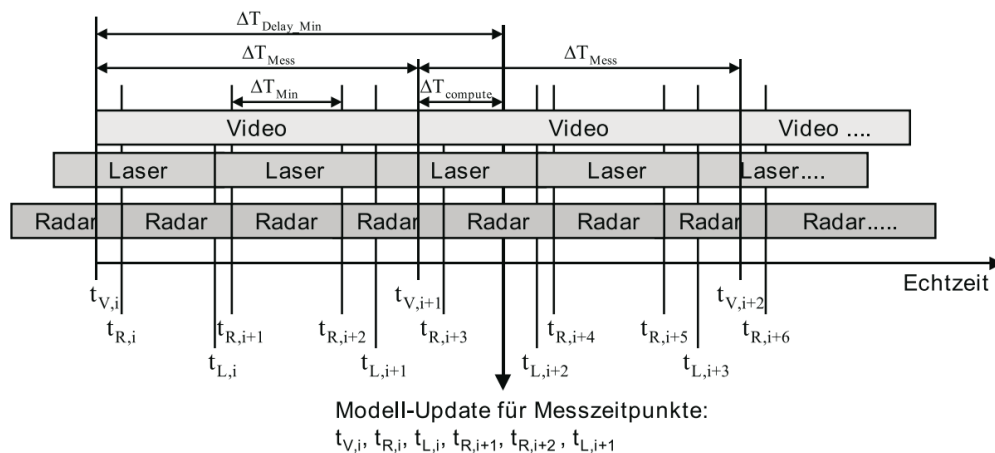


Abbildung 8: Implizite Sensordatenfusion mit asynchronen Sensoren [Kla05]

Bei der expliziten Fusion wird abgewartet, bis alle Messdaten vorliegen und dann erst fusioniert. Somit findet eine zeitliche Filterung in einem festen Zeitraster statt



und die Assoziation findet auf einem gemeinsamen Abstraktionslevel statt. Hierbei müssen die Messdaten jedoch synchronisierbar sein.

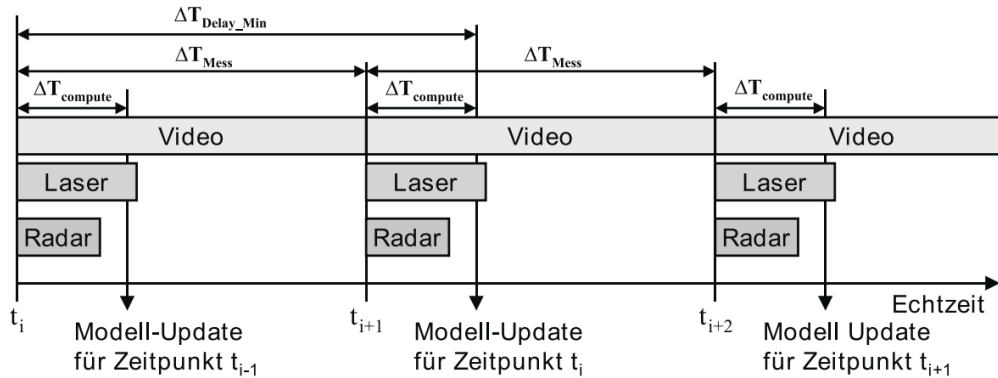


Abbildung 9: Explizite Sensordatenfusion mit synchronen Sensoren [Kla05]

Die Datenfusion mit synchronen Sensoren führt zu einer sicheren und zuverlässigen Assoziation. Da jedoch der Sensor mit der längsten Akquisitionszeit den zeitlichen Versatz zwischen Messung und Assoziation bestimmt, ist der Algorithmus streng deterministisch und es kommt zu einem hohen Verzug zwischen Realwelt und Modell. Die Arbeit mit synchronisierten Sensoren bietet jedoch, neben der sicheren Assoziation, eine einfache Erweiterbarkeit um weitere Sensoren.

Werden asynchrone Sensoren bei der Datenfusion verwendet, müssen die Daten sequentiell eingebracht werden. Somit ist der Algorithmus nicht deterministisch. Durch dieses Vorgehen kann es jedoch zu Quantisierungsfehlern kommen. Insbesondere, wenn die Daten des Sensors mit der kürzesten Latenz kurz nach denen vom Sensor mit der längsten Latenz eingebracht werden. Dann können diese Informationen nicht mehr in die Assoziation mitberücksichtigt werden. Je ähnlicher die Latenzzeiten der einzelnen Sensoren sind, desto geringer wird schließlich auch der Fehler der Schätzung.

## 2.3 Sensoreinsatz im Fahrzeug

Im Fahrzeug werden die Sensoren zur Umfelderfassung so verbaut, dass ein möglichst großes Sichtfeld erzeugt wird. Eine Möglichkeit ist schematisch in Abbildung 10 dargestellt. Zu erkennen ist, dass das Long Range Radar und das Lidar in Fahrtrichtung

genutzt wird. So kann eine vorausschauende Fahrweise realisiert werden. Short Range Radar, Kamera und Ultraschall dienen eher der Beobachtung des unmittelbaren Umfeldes.

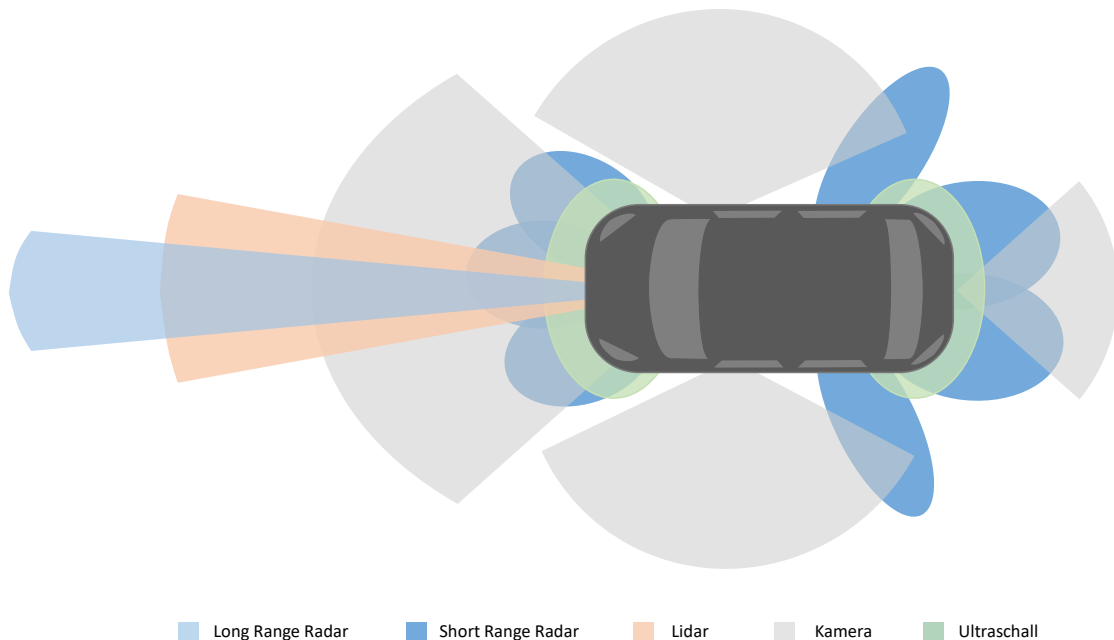


Abbildung 10: Beispielhafte Darstellung der Umfelderfassungssensoren am Fahrzeug

Der Einsatz dieser Sensoren wird für die schrittweise Automatisierung des Fahrzeugs genutzt. Nach der Bundesanstalt für Straßenwesen wird in fünf Automatisierungsgrade unterschieden [Tom12]. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt und erläutert. Serienfahrzeuge bewegen sich mittlerweile im Automatisierungsgrad "Teilautomatisiert".

Die Automatisierung des Fahrzeugs wird mit Hilfe der sogenannten Fahrerassistenzsystemen durchgeführt [WHLS15]. Sie dienen vor allem der Sicherheit und erhöhen außerdem den Fahrkomfort. So kann beim Adaptive Cruise Control (ACC), das ein Long Range Radar oder ein Lidar nutzt, eine Wunschgeschwindigkeit eingestellt werden. Diese wird bei Annäherung an andere Fahrzeuge reduziert, um Auffahrunfälle zu vermeiden. Eine Erweiterung hierzu stellt der Stauassistent ACC Stop & Go dar. Dieser nutzt insbesondere das Short Range Radar. Für Einparkassistenten werden Ultraschallsensoren oder Kameras genutzt. Hierbei werden entweder nur Tonsignale emittiert, eine grafische Darstellung im Boardcomputer gezeigt oder das Fahrzeug führt das Einparken vollautomatisch durch. Des Weiteren finden Spurhalte- und

Level	Nomenklatur	Fahraufgabe nach Automatisierungsgrad
0	Driver Only	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querverführung aus
1	Assistiert	Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder die Längsverführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt. Der Fahrer muss das System überwachen und jederzeit für die vollständige Übernahme bereit sein
2	Teilautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsverführung (für einen gewissen Zeitraum oder/und in spezifischen Situationen). Der Fahrer muss das System überwachen und jederzeit für die vollständige Übernahme bereit sein
3	Hochautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsverführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen. Der Fahrer muss das System nicht überwachen und wird rechtzeitig zur Übernahme aufgefordert. Systemgrenzen werden alle erkannt
4	Vollautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsverführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall. Der Fahrer muss das System nicht überwachen. Er wird rechtzeitig vor verlassen des Anwendungsfalles zur Übernahme aufgefordert. Erfolgt keine Übernahme, wird das System in einen risikoarmen Zustand geführt. Systemgrenzen werden alle erkannt

Tabelle 1: Fahrzeugautomatisierungsgrade nach der Bundesanstalt für Straßenwesen

Spurwechselassistenten und Toter Winkel Assistenten Gebrauch, um Unfälle mit seitlich von Hinten herannahenden oder kreuzenden Verkehrsteilnehmern zu minimieren. Diese Assistenten nutzen Radar, Lidar oder Kamera und auch Kombinationen aus zwei dieser Sensoren.

In den vergangenen zehn Jahren wurde an verschiedenen Aspekten der Fahrzeugautomatisierung gearbeitet. Eine Auswahl an Arbeiten ist in Tabelle 2 aufgeführt. Ein wichtiger Aspekt ist die Objekterkennung, bei der insbesondere die Erkennung von Menschen in den Vordergrund gerückt ist, um diese besser zu schützen. Dies stellt jedoch eine Herausforderung dar, da sie sehr viele verschiedene Positionen und

Erscheinungsbilder annehmen können. Des Weiteren ist ihr Verhalten nicht vorausschaubar. Die Schwierigkeit beim Einsatz von Radar hierfür liegt in dem geringen Reflexionsquerschnitts und der schlechten Winkelauflösung des Radars. Mögliche Ansätze trotzdem Menschen mittels Radar zu detektieren wurden unter anderem in [ATK10] und [BFR12] erarbeitet. Auch die Objekterkennung mit Hilfe von Infrarotkameras findet immer mehr Einsatz [NHF15], [WL15], da hiermit auch nachts Kameras genutzt werden können. Hierbei gibt es zwei Ansätze: Das Nahinfrarot und das Ferninfrarot. Für die Verbesserung der Datenqualität wird auch an der Sensordatenfusion gearbeitet [Rud09], [ARB13].

Für das hochautomatisierte Fahrzeug gibt es verschiedene Ansätze. Hierbei spielt die Selbstlokalisierung eine wichtige Rolle, damit das Fahrzeug jederzeit weiß, wo es sich befindet. Um dies zu realisieren werden neben den Umfelderkennungssensoren auch GPS, Beschleunigungs- und Geschwindigkeitssensoren und digitale Karten genutzt. So kann eine möglichst genaue Schätzung der Position durchgeführt werden. Einige Ansätze sind in [Dr 18], [Sch], [LSSH] und [VVM17] zu finden.

## 2.4 Sensoreinsatz in der Infrastruktur

Der Einsatz von Umfelderkennungssensoren in der Infrastruktur dient der Verkehrsbeobachtung. Insbesondere werden die aufgenommenen Daten zur Analyse der Verhaltensweisen von Verkehrsteilnehmern und zur Unfallforschung genutzt. So kann untersucht werden, welche Verhaltensmuster vermehrt zu Unfällen führen. Hierbei ist die Interaktion zwischen KFZ bzw. LKW und Fahrrad interessant [Dot] und auch mit Fußgängern. Außerdem wird der Einfluss der Witterung und der Tageszeit auf das Unfallgeschehen untersucht [J. 09].

Der Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass die Kamera bei der Verkehrsbeobachtung am häufigsten verwendet wird. Dies ist in der Tatsache begründet, dass sie eine ähnliche Darstellung wie das menschliche Auge erzeugt, siehe Abschnitt 2.1.4. Für die Bestimmung der Positionen wird sie meist mit Lidar oder Radar kombiniert. Beispiele für mögliche Versuchsaufbauten sind in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt.

Neben der Verhaltensanalyse der Verkehrsteilnehmer soll die Infrastruktur außerdem zur Informationsweitergabe dienen. Dieser Ansatz wird Car2X-Kommunikation

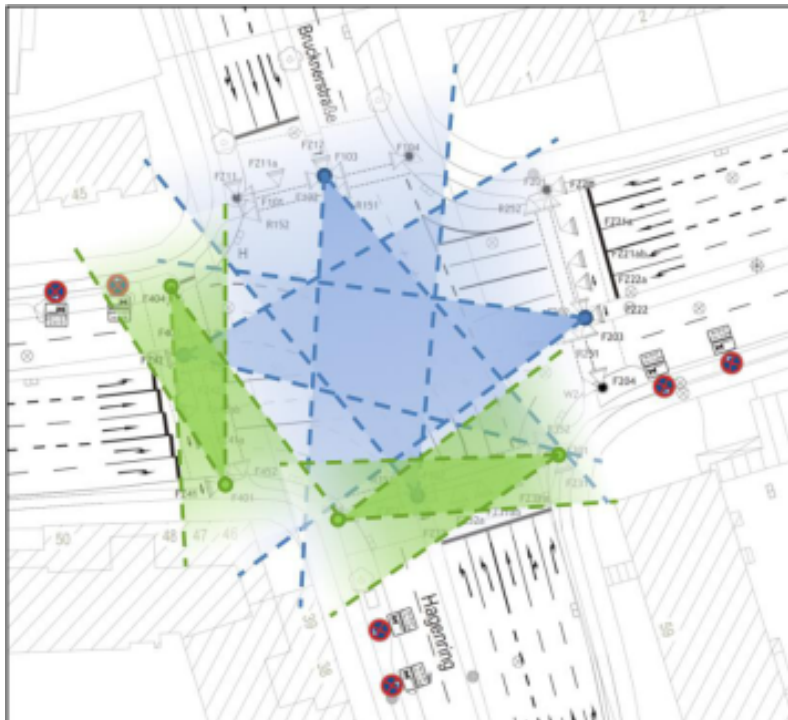


Abbildung 11: Die Forschungskreuzung des Testfeldes AIM in Braunschweig. Blau: Sichtbereich zweier Monokameras kombiniert mit einem 24GHz Radar und einem IR-Blitz. Grün: Sichtbereich eines Stereokamerasystems mit einem IR-Blitz [KLGFK16]

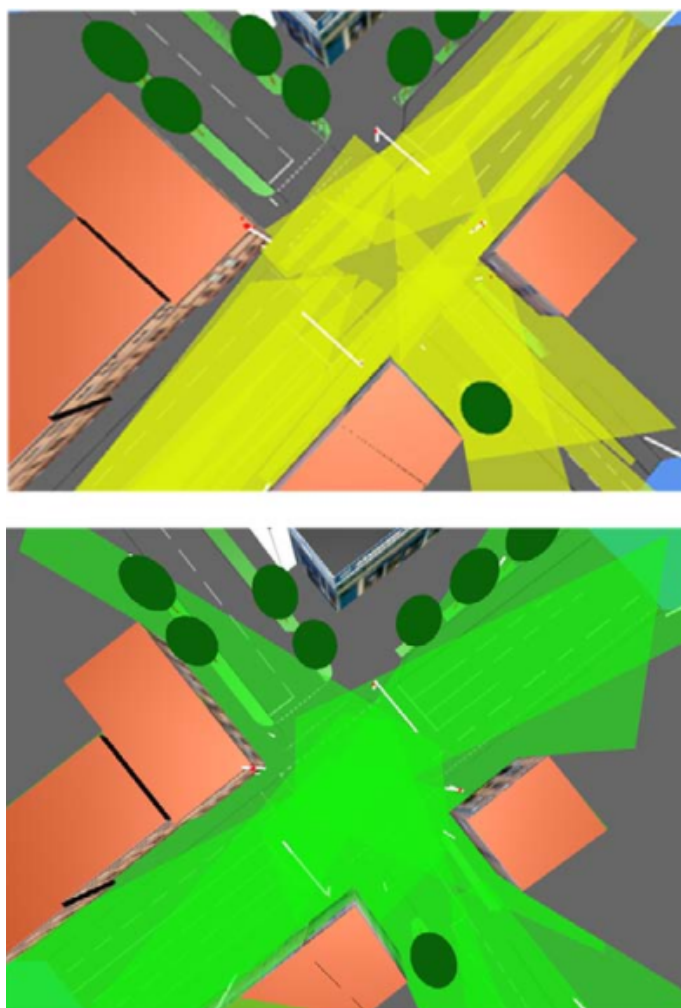


Abbildung 12: Sensoraufbau der Ko-PER Kreuzungen in Aschaffenburg. Gelb: Sichtbereich der Laserscanner. Grün: Sichtbereich der Kameras [Mic]

---

genannt. Hierbei senden zum Einen die Fahrzeuge der Infrastruktur ihre aufgenommenen Daten und zum Anderen sendet die Infrastruktur die eigenen und empfangenen Daten an die Fahrzeuge zurück. So können Fahrzeuge z.B. vor kreuzenden Verkehrsteilnehmern frühzeitig gewarnt werden.

Quelle	Sensorsetup	Beschreibung	Jahr
[Rud09]	Radar Lidar Kamera	Sensorfusion für Fahrerassistenzsysteme mit hohen Ansprüchen	2009
[PIA10]	Stereokamera	Modell zur Datenanalyse von Stereo Kameras	2010
[ATK10]	2 x Radar	Erkennen eines Menschen mit Radar	2010
[BFR12]	Radar	Erkennen eines Menschen mit Radar	2012
[Dr 18]	Lidar GPS	Selbstlokalisierung mit Hilfe von GPS, Laserscanner und digitaler Karte	2013
[YSA <sup>+</sup> 13]	Lidar	Positionierung des LIDAR, Fahrbahnbegrenzung erkennen, Objekterkennung	2013
[ARB13]	IR VIS Video	Fusioniert Infrarotkameradaten mit Daten des sichtbaren Spektrums einer Kamera	2013
[Sch]	Kamera Lidar GPS	Erzeugen einer Karte mit Hilfe von aktuellen Messdaten, Selbstlokalisierung des Fahrzeugs	2013
[LSSH]	GPS Gyroscope Kamera Radar	KFZ ausgestattet mit GPS, Gyroscope, Geschwindigkeitsmesser, Kamera, Radar zur Selbstlokalisierung	2014
[NHF15]	IR	Literaturaufstellung bzgl Erkennung von Menschen mit Infrarotsensor	2015
[WL15]	FIR	stellt einen Filter zur Objekterkennung mit Infrarot vor	2015
[VVM17]	GPS Gyroscope Kamera	KFZ ausgestattet mit GPS, Gyroscope, Kamera und Laptop zur Selbstlokalisierung	2017

Tabelle 2: Einsatz von Sensoren im Fahrzeug



Quelle	Sensorsetup	Beschreibung	Jahr
[J. 09]	Kamera Lidar IR	CCTV, Laserscanner, IR zur Verkehrs- und Umweltbeobachtung (Bestimmung der Witterung, Tageszeit)	2009
[MRD]	Lidar	Einsatz und Modellierung von Laserscannern an Kreuzungen	2012
[Mic]	Lidar Kamera	Beschreibt den Versuchsaufbau an einer Kreuzung zur Beobachtung des Verkehrs	2012
[HGX12]	Kamera	Vergleicht Algorithmen zur Verhaltenserkennung von Verkehrsobjekten in Kameradaten	2012
[Mic18]	Lidar Kamera	Einsatz von Sensoren an einer Kreuzung (Anbauorte)	2013
[Eli18]	Lidar Kamera	Einsatz von Kameras und Laserscanner an einer Kreuzung zur Beobachtung des Verkehrs	2013
[SMS <sup>+</sup> ]	Lidar Kamera	Beschreibt den Versuchsaufbau an einer Kreuzung zur Beobachtung des Verkehrs	2014
[JBS]	Kamera	Stellt einen Algorithmus zum Objekttracking für die Bildverarbeitung vor, der an unterschiedlichen Kreuzungen getestet wurde	2014
[DDSV16]	Kamera	Listet und diskutiert Ansätze zur Verkehrsbeobachtung an Kreuzungen	2016
[KLGFK16]	Kamera IR Radar	Stellt die Forschungsplattform AIM zur Untersuchung des Verkehrs vor	2016
[SM17]	GPS Radar Lidar Kamera	Vergleicht verschiedene Ansätze der Verkehrsbeobachtung und Analyse	2016
[Dot]	Kamera IR Radar	Untersuchung von Konflikten zwischen Fahrradfahrern und motorisierten Fahrzeugen	2017
[Kee]	Radar	Stellt 76-81GHz Radar zur Verkehrsüberwachung vor	2018

Tabelle 3: Einsatz von Sensoren in der Infrastruktur

### 3 Anforderungen an ein Software-Tool zur Sensorbewertung

- Sensormodell/Sensorattribute
  - FoV (Öffungswinkel, Reichweite)
  - Datenqualität (Auflösung Genauigkeit, Messdauer)
  - Arbeitsfrequenz
  - Umwelteinflüsse (Witterung, Tag/Nacht, Temperatur)
  - Maße (Größe, Gewicht)
  - Schnittstellen
- Objekte
  - Fahrzeuge (KFZ, LKW, Zweirad)
  - Fußgänger
  - Geschwindigkeit
- Umgebung
  - Straße (Spuren, Kreuzung,...)
  - Objekte (Position, Intention)
  - Witterung
- Bewertung

## **4 Software-Tool zur Sensorbewertung**

### **4.1 Programmstruktur/Architektur**

### **4.2 Implementierung**

---

## 5 Evaluation

---

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

## Literatur

- [ARB13] APATEAN, Anca ; ROGOZAN, Alexandrina ; BENSRAH, Abdelaziz: Visible-infrared fusion schemes for road obstacle classification. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 35 (2013), S. 180–192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2013.07.003>. – DOI 10.1016/j.trc.2013.07.003. – ISSN 0968090X
- [ATK10] AHTIAINEN, Juhana ; TERHO, Sami ; KOPONEN, Sampsa: Radar based detection and tracking of a walking human. In: *IFAC Proceedings Volumes* 43 (2010), Nr. 16, S. 437–442. <http://dx.doi.org/10.3182/20100906-3-IT-2019.00076>. – DOI 10.3182/20100906-3-IT-2019.00076. – ISSN 14746670
- [BFR12] BARTSCH, A. ; FITZEK, F. ; RASSHOFER, R. H.: Pedestrian recognition using automotive radar sensors. In: *Advances in Radio Science* 10 (2012), S. 45–55. <http://dx.doi.org/10.5194/ars-10-45-2012>. – DOI 10.5194/ars-10-45-2012
- [DDSV16] DATONDI, SOKEMI RENE EMMANUEL ; DUPUIS, Yohan ; SUBIRATS, Peggy ; VASSEUR, Pascal: A Survey of Vision-Based Traffic Monitoring of Road Intersections. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17 (2016), Nr. 10, S. 2681–2698. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2016.2530146>. – DOI 10.1109/TITS.2016.2530146. – ISSN 1524–9050
- [Dot] DOTZAUER M., KNAKE-LANGHORST S., KÖSTER F.: Understanding Interactions Between Bicyclists and Motorists in Intersections. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-15418-9\\_17](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-15418-9_17). In: *URBAN Human Factors in Traffic*. – DOI 10.1007/978-3-658-15418-9\_17
- [Dr 18] DR ROLAND KRZIKALLA: *Vehicle Self-Localization using Laserscanners*. 2013-09-18
- [Eli18] ELIAS STRIGEL: *Laser- and Video based Detection of Road Users at Intersections*. 2013-09-18

- [HGX12] HOSPEDALES, Timothy ; GONG, Shaogang ; XIANG, Tao: Video Behaviour Mining Using a Dynamic Topic Model. In: *International Journal of Computer Vision* 98 (2012), Nr. 3, S. 303–323. <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-011-0510-7>. – DOI 10.1007/s11263-011-0510-7. – ISSN 0920-5691
- [HMS16] HERING, Ekbert ; MARTIN, Rolf ; STOHRER, Martin: *Physik für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-49355-7>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-49355-7>. – ISBN 978-3-662-49354-0
- [J. 09] J. EHRLICH ET AL.: *SP2 - INFRASENS - SP Infrastructure Platform*. 2009
- [JBS] JODOIN, Jean-Philippe ; BILODEAU, Guillaume-Alexandre ; SAUNIER, Nicolas: Urban Tracker: Multiple object tracking in urban mixed traffic. In: *2014 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, S. 885–892
- [Kee] KEEGAN GARCIA, MINGJIAN YAN, ALEK PURKOVIC: Robust traffic and intersection monitoring using millimeter wave sensors. 2018
- [Kla05] KLAUS DIETMAYER, ALEXANDER KIRCHNER UND NICO KÄMPCHEN: Fusionsarchitekturen zur Umfeldwahrnehmung für zukünftige Fahrerassistenzsysteme. In: MAURER, Markus (Hrsg.) ; STILLER, Christoph (Hrsg.): *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*. Berlin/Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. – ISBN 3-540-23296-6, S. 59–88
- [KLGFK16] KNAKE-LANGHORST, Sascha ; GIMM, Kay ; FRANKIEWICZ, Tobias ; KÖSTER, Frank: Test Site AIM – Toolbox and Enabler for Applied Research and Development in Traffic and Mobility. In: *Transportation Research Procedia* 14 (2016), S. 2197–2206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.235>. – DOI 10.1016/j.trpro.2016.05.235. – ISSN 23521465

- [Leo08] LEONHARD F. WALCHSHÄUSL: *Maschinelle Erkennung von Verkehrsteilnehmern mittels heterogener Sensorik*. München, Technische Universität München, Diss., 2008
- [LSSH] LUNDGREN, Malin ; STENBORG, Erik ; SVENSSON, Lennart ; HAMMARSTRAND, Lars: Vehicle self-localization using off-the-shelf sensors and a detailed map. In: *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, S. 522–528
- [Mic] MICHAEL GOLDHAMMER, ELIAS STRIGEL, DANIEL MEISSNER, ULRICH BRUNSMANN, KONRAD DOLL, KLAUS DIETMAYER: Cooperative Multi Sensor Network for Traffic Safety Applications at Intersections. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2012. – ISSN 1524–9050
- [Mic18] MICHAEL GOLDHAMMER, ULRICH BRUNSMANN, KONRAD DOLL: *Sensor Technology at the Smart Public Intersection Aschaffenburg*. 2013-09-18
- [MRD] MEISSNER, Daniel ; REUTER, Stephan ; DIETMAYER, Klaus: Real-time detection and tracking of pedestrians at intersections using a network of laserscanners. In: *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, S. 630–635
- [NHF15] NEGIED, Nermin K. ; HEMAYED, Elsayed E. ; FAYEK, Magda B.: Pedestrians’ detection in thermal bands – Critical survey. In: *Journal of Electrical Systems and Information Technology* 2 (2015), Nr. 2, S. 141–148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jesit.2015.06.002>. – DOI 10.1016/j.jesit.2015.06.002. – ISSN 23147172
- [PIA10] PERRONE, D. ; IOCCHI, L. ; ANTONELLO, P. C.: Real-time Stereo Vision Obstacle Detection for Automotive Safety Application. In: *IFAC Proceedings Volumes* 43 (2010), Nr. 16, S. 240–245. <http://dx.doi.org/10.3182/20100906-3-IT-2019.00043>. – DOI 10.3182/20100906-3-IT-2019.00043. – ISSN 14746670



- [Rud09] RUDI LINDL: *Tracking von Verkehrsteilnehmern im Kontext von Multi-sensorsystemen*. München, TU München, Diss., 2009
- [Sch] SCHINDLER, Andreas: Vehicle self-localization with high-precision digital maps. In: *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, S. 141–146
- [SM17] SHIRAZI, Mohammad S. ; MORRIS, Brendan T.: Looking at Intersections: A Survey of Intersection Monitoring, Behavior and Safety Analysis of Recent Studies. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 18 (2017), Nr. 1, S. 4–24. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2016.2568920>. – DOI 10.1109/TITS.2016.2568920. – ISSN 1524–9050
- [SMS<sup>+</sup>] STRIGEL, Elias ; MEISSNER, Daniel ; SEELIGER, Florian ; WILKING, Benjamin ; DIETMAYER, Klaus: The Ko-PER intersection laserscanner and video dataset. In: *2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, S. 1900–1901
- [Tom12] TOM M. GASSER ET. AL.: *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung*. 2012
- [TR14] TRÄNKLER, Hans-Rolf ; REINDL, Leonhard M.: *Sensortechnik*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29942-1>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29942-1>. – ISBN 978–3–642–29941–4
- [VVM17] VIVACQUA, Rafael ; VASSALLO, Raquel ; MARTINS, Felipe: A Low Cost Sensors Approach for Accurate Vehicle Localization and Autonomous Driving Application. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 17 (2017), Nr. 10. <http://dx.doi.org/10.3390/s17102359>. – DOI 10.3390/s17102359. – ISSN 1424–8220
- [WHLS15] WINNER, Hermann ; HAKULI, Stephan ; LOTZ, Felix ; SINGER, Christina: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3>. – ISBN 978–3–658–05733–6

- [WL15] WANG, Guohua ; LIU, Qiong: Far-Infrared Based Pedestrian Detection for Driver-Assistance Systems Based on Candidate Filters, Gradient-Based Feature and Multi-Frame Approval Matching. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 15 (2015), Nr. 12, S. 32188–32212. <http://dx.doi.org/10.3390/s151229874>. – DOI 10.3390/s151229874. – ISSN 1424–8220
- [YSA<sup>+</sup>13] YALCIN, O. ; SAYAR, A. ; ARAR, O. F. ; AKPINAR, S. ; KOSUNALP, S.: Approaches of Road Boundary and Obstacle Detection Using LIDAR. In: *IFAC Proceedings Volumes* 46 (2013), Nr. 25, S. 211–215. <http://dx.doi.org/10.3182/20130916-2-TR-4042.00025>. – DOI 10.3182/20130916-2-TR-4042.00025. – ISSN 14746670

## Anhang

### Hier sind zusätzliche Infos einzubringen

Das Beispiel für eine Tabbing Umgebung zeigt, dass es möglich ist, mehrere Zeilen mit dem gleichen Einzug darzustellen:

$$v_{Start} = 120 \text{ km/h} = 33,3 \text{ m/s}$$

$$v_{End} = 80 \text{ km/h} = 22,2 \text{ m/s}$$

$$v_{Diff} = 40 \text{ km/h} = 11,1 \text{ m/s}$$