



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Seminararbeit - Master Informatik**

Olaf Tetzlaff

Sensordatenfusion zur Umgebungserfassung  
in Fahrerassistenzsystemen

*Fakultät Technik und Informatik  
Studiendepartment Informatik  
Betreuer: Prof. Dr.-Ing Bernd Schwarz  
Datum: 31. Dezember 2005*

**Olaf Tetzlaff**

**Thema der Seminararbeit - Master Informatik**

Sensordatenfusion zur Umgebungserfassung in Fahrerassistenzsystemen

**Stichworte**

Fahrerassistenzsystem, Bremsassistent, Kollisionsvermeidung, Modellierung, Sensordatenfusion, Sonar, Radar, Laserscanner, Stereokamera

**Kurzzusammenfassung**

Diese Seminararbeit gibt einen Konzeptüberblick zur Sensordatenfusion, die in Fahrerassistenzsystemen die Umwelterfassung bereitstellt. Die Grundlagen der unterschiedlichen Sensortechniken werden zur Einführung aufgezeigt, um eine fundierte Auswahl bezüglich des Einsatzes bestimmter Sensoren und deren sinnvolle Montage am Fahrzeug zu treffen. Nachdem die grundsätzlichen Eigenschaften der unterschiedlichen Sensortypen aufgeszeigt wurden, werden die möglichen Fusionsmodelle erklärt und deren Vor- und Nachteile dargestellt. Die Sensordatenfusion soll in der Master-Thesis zum vertieften Untersuchungsgegenstand werden. Davon ausgehend sollen Erweiterungen mit eigenen Ansätzen entwickelt werden und in einem Prototypen-Assistenzsystem für ein fahrerloses Modeltransportsystem zur Anwendung kommen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sensortypen und Einsatzzweck</b>	<b>5</b>
2.1	Bestimmung des eigenen Fahrzeugzustandes . . . . .	5
2.2	Sensoren zur Bestimmung der Fahrzeugumgebung . . . . .	5
2.2.1	Sonar . . . . .	6
2.2.2	Radar . . . . .	6
2.2.3	Laserscanner . . . . .	7
2.2.4	Bildverarbeitung . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Sensordatenfusion</b>	<b>10</b>
3.1	Aspekte der Sensorfusion . . . . .	10
3.2	Arten von Fusionsmodellen . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Ausblick Master-Thesis</b>	<b>12</b>
4.1	Implementation kooperatives Fusionsmodell . . . . .	12
4.2	Virtueller Sensor . . . . .	12
4.3	Umfeldmodell . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Glossar</b>	<b>17</b>
<b>A</b>	<b>Weitere Recherche und Realisierungen</b>	<b>18</b>
A.1	Neuentwicklung Celldar - Passives Radar . . . . .	18
A.2	Berechnung der Disparität - Erstellung von Tiefenbildern . . . . .	18

## 1 Einleitung

Moderne Fahrerassistenzsysteme entwickeln sich zunehmend von reinen Komfortsystemen zu Warn- und Sicherheitssystemen. (s. Abb. 1 und [Lag00], [Ame02], [Mil04]) Alle großen Autokonzerne führen derzeit den selbständig abstandsregelnden Tempomaten und automatische Bremsassistenten /-warnsysteme ein. Um diese Aufgabe fehlerfrei zu realisieren muss ein genaues Umfeldmodell des Fahrzeugs bestimmt werden, das dem reaktiven System zu jeder Zeit ein dynamisch veränderliches Abbild der Umgebung und der Verkehrssituation übermittelt. Wie diese Systeme zur Erhöhung der aktiven Sicherheit eingesetzt werden können, wird sich in naher Zukunft zeigen, wenn die ersten serienreifen Systeme in den Oberklassemodellen der großen Automobilhersteller eingesetzt werden. Die Akzeptanz der Fahrer gegenüber dieser Entscheidungsabnahme bestimmt die daraus folgende Verbreitung und den Erfolg.

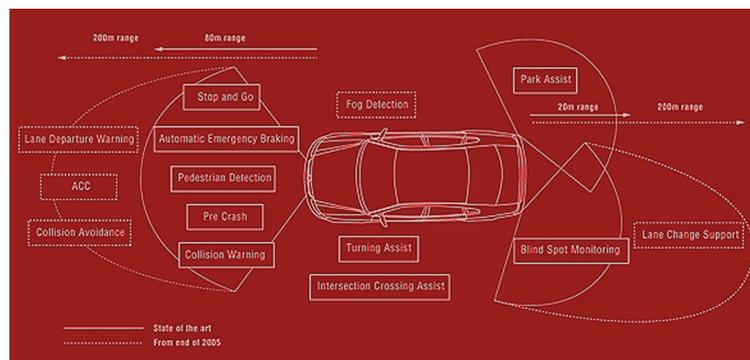


Abbildung 1: Derzeitige Situation im Bereich von Fahrerassistenzsystemen. [Ibe05]

Zur Erzeugung eines möglichst detaillierten Umfeldmodells ist eine umfassende Kenntnis über den eigenen Fahrzeugzustand und die Lage im Raum zwingend erforderlich. Beispielsweise kann die Berechnung der Geschwindigkeit von vorausfahrenden Fahrzeugen und deren Abstand durch eine Differenzmessung realisiert werden. Insbesondere dient die Umgebungserfassung dem präventiven Verhalten der Unfallvermeidung indem unter anderem der Bremsdruck bereits bei der Wahrscheinlichkeit einer möglichen Kollision erhöht wird, um den unvermeidlichen Zusammenstoß im Ausmaß zu begrenzen. Nur über eine kontinuierliche und genaue Umgebungserfassung können Informationen über die Fahrbahn und deren Verlauf für ein dynamisches Reaktionsverhalten ermittelt werden.

Damit das System schnell und zuverlässig auf plötzlich eintretende Gefahrensituationen reagieren kann, ist eine Objekterkennung und Klassifikation als Schnittstelle zwischen der Sensordatenverarbeitung und dem reaktiven System des Assistenzsystems erforderlich. Für eine genaue Klassifikation und fehlerfreie Objekterkennung benötigt das System die geometrischen und dynamischen Eigenschaften von den im Fahrzeugumfeld befindlichen Objekten. Diese müssen zuverlässig mit Hilfe der Sensordaten ermittelt werden. Um eine zweifelsfreie Identifikation zu ermöglichen werden die Daten einzelner Sensoren in einem Fusionsmodell zusammengefügt. Einzelne Sensoren sind heute noch nicht in der Lage eine zweifelsfreie Zuordnung der Objekte zu ermöglichen. Redundante und komplementäre Sensorwerte migrieren in einem kooperativen Fusionsmodell und tragen so zu einer genaueren Interpretation der Umwelt bei.[Stü03]

## 2 Sensortypen und Einsatzzweck

### 2.1 Bestimmung des eigenen Fahrzeugzustandes

Die Bestimmung des eigenen Fahrzeugzustandes und der Position in einem globalen Koordinatensystem ist erforderlich, um dem Fahrerassistenzsystem Berechnungen für ein reaktives und dynamisches Verhalten auf das Fahrzeugumfeld zu ermöglichen. Abstände für Brems-, Ausweich- und Überholmanöver sowie der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug werden in der Regel relativ zum eigenen Fahrzeug berechnet. Hierfür ist es für viele Parameter möglich die bereits vorhandene Fahrzeugelektronik zu nutzen. Zusätzliche Systeme wie GPS, Neigungssensor und Kompass stehen bei einem vorhandenen Navigationssystem zur Verfügung oder müssen zusätzlich angeschlossen werden. Um in jeder Situation eine verlässliche Information über die genaue Eigenposition zu haben, müssen die Sensorwerte kontinuierlich ausgelesen werden.

Der Einsatz eines DGPS kann die Genauigkeit der Positionierung in einem für die Umwelt erzeugten globalen Koordinatensystem von fünf auf einen Meter gesteigert werden. Durch einen Kompass und Neigungssensoren kann die Lage des Fahrzeugkoordinatensystems bezüglich der Weltkoordinaten bestimmt werden. Der Bordelektronik des Fahrzeugs mit bereits vorhandenen Systemen wie ABS und ESP können Messwerte wie Radumdrehungen und Gierwinkel entnommen werden. Durch diese Möglichkeit können Kosten für zusätzliche Hardware gespart werden. Zudem sind die Messwerte durch bereits erprobten Einsatz und weitreichende Tests der Hersteller eine zuverlässige Referenz. Mit einem durch die verwendeten Sensoren ermittelten Eigenzustand kann die Umgebungserfassung erfolgen.

### 2.2 Sensoren zur Bestimmung der Fahrzeugumgebung



Abbildung 2: Sensoren zum Ermitteln von Umfeldinformationen.

In diesem Kapitel werden die für eine Umgebungserfassung einsetzbaren Sensoren und ihre Funktionsweise erklärt. Abbildung 2 zeigt unterschiedliche Sensoren für den Einsatz zur Umfelderkundung in Fahrerassistenzsystemen, sowie ganz links aussen ein in das Fahrzeugumfeld projiziertes Gittermodell und ganz rechts aussen ein autonomes fahrerloses Transportsystem mit tastendem Laserscanner. Die Sensoren im Bild zeigen von links nach rechts, zwei Laserscanner der Firmen Sick[Las05] und Ibeo[Ibe05], ein Radarsensor und die Bumblebee Stereokamera der Firma Point Grey[Gre05]. Aspekte für die Auswahl der Sensoren sind ihrer Mobilität für einen Einsatz in der Fahrzeugindustrie, deren prädestinierte Anordnung am Fahrzeug und ihrer Eigenschaften bei auftretenden Umweltsituationen wie Beleuchtungs- und Wetterabhängigkeit, sowie die Verarbeitungsgeschwindigkeit in Bezug auf den Einsatz bei typischen

Fahrgeschwindigkeiten im Strassenverkehr. Ziel ist es, dass das Fahrzeug einen zuverlässigen Rundumblick seiner Umgebung mit einer seiner Fahrgeschwindigkeit angepassten Entfernung erfassen kann. Im folgenden werden nun geeignete Sensoren und deren Fähigkeiten zur Umfelderkennung vorgestellt.

### 2.2.1 Sonar

Ultraschallsensoren basieren auf dem Prinzip der Laufzeitmessung und haben einen Messbereich von ca. 15cm bis 8m. Sie werden derzeit in Fahrerassistenzsystemen beim Einparkassistent und generell als Abstandswarner im Nahbereich eingesetzt. Sie senden elektroakustische Signale mit Frequenzen von 20KHz bis 1 GHz. Diese Frequenzen sind oberhalb des vom Menschen hörbaren Bereichs und werden als Ultraschallwellen bezeichnet. Die vom Sender induzierten Ultraschallwellen werden von der Umgebung und in ihr befindlichen Objekten reflektiert. Die Laufzeitverzögerung mit der die Echosignale den Empfänger entspricht der Entfernung zu erkannten Objekten. Aus der Form des reflektierten Signals kann ein Rückschluss auf die Beschaffenheit auf die Objektstruktur gemacht werden. Bei charakteristisch eindeutigen Echos, können unter Umständen sogar Objekte direkt erkannt werden.[Ahr01]

### 2.2.2 Radar

Radar ist die Abkürzung für die Englische Bezeichnung "Radio Angle Detection and Ranging" und steht für ein Ortungsverfahren für Objekte durch ein Gerät das elektromagnetische Wellen im Mikrowellenbereich (MHz-GHz) als Primärsignal aussendet und diese durch die reflektierten Strahlen, auch Echos genannt, lokalisieren kann. Für den Einsatz von Radarsensoren zur Detektion von Objekten in der Fahrzeugumgebung spricht eine große Reichweite in der Objekte noch detektiert werden können. Ein Nachteil ist, dass nur metallische Oberflächen die Strahlung reflektieren und das ein vermehrter Einsatz im Massenmarkt nicht unbedenklich für die Umweltbelastung ist. Aus den reflektierten Radarwellen von entfernten metallischen Objekten können folgende Informationen abgelesen oder berechnet werden(aus [Wik05]):

1. Aus dem Winkel Richtung Norden ergibt sich die relative Richtung des angepeilten Objekts.
2. Aus der Zeit zwischen Absenden und Empfangen kann die Entfernung unter Verwendung der Lichtgeschwindigkeit als Geschwindigkeitskonstante berechnet werden.
3. Aus der reflektierten Frequenz kann mit Hilfe des Doppler-Effekts berechnet werden, ob und wie sich das Objekt relativ auf den Beobachter zubewegt oder von ihm weg.
4. Aus dem Verfolgen der einzelnen Messvorgänge ergibt sich die bereits zurückgelegte Bahn bzw. Strecke des Objekts.
5. Bei guter Auflösung des Radars können sogar Bilder des Objekts erzeugt werden.

Laut Literaturlage sind Radarsensoren die zurzeit am häufigsten eingesetzten Sensoren für derzeit existierende Assistenzsysteme, wie die automatische Abstandsregelung und den automatischen Einparkassistent. Allerdings werden sie bisher aufgrund von noch sehr hohen Produktions- und Materialkosten nur in der gehobenen Mittelklasse und Oberklasse angeboten. Aus diesem Grund wurde im Jahre 2003/04 ein Generationswechsel hin zu kostengünstigeren Systemen angestrebt. Eine hoffnungsvolle Technologie hierfür ist die im Jahre 2004 genehmigte 24 GHz - Kurzpuls Technologie. Da die Zulassung allerdings an gewisse Auflagen gebunden ist, laufen die Entwicklungen der Marktführer wie Raytheon und Siemens weiterhin mit Technologien des 77-79 GHz Bandes.

CW-Radarsysteme (CW = Continuous Wave) strahlen mit ihrer Antenne eine konstante Frequenz ab, die von den zu ortenden Objekten reflektiert wird. Bewegt sich dieses Objekt, verändert das reflektierte Signal gegenüber dem ausgesandten seine Frequenz. Diese Veränderung der Frequenz wird als Doppler-Effekt bezeichnet. Durch diesen Effekt ist es möglich zu erkennen ob sich das geortete auf den Betrachter zubewegt oder von ihm weg. Nimmt die Frequenz zu, kommt das Objekt auf den Betrachter zu, nimmt sie ab, von ihm weg. Durch einen Vergleich von gesendeter und empfangener Frequenz lässt sich zudem die Geschwindigkeit des Objekts ermitteln. Diese Prinzip wird beispielsweise von Radargeräten der Polizei zur Messung von Geschwindigkeitsüberschreitungen.

Eine andere Art von Radar- Geräten sind die Frequenzmodulierten Geräte. Sie senden mit einer ständig alternierenden Frequenz. Die Frequenz steigt dabei linear an um dann bei einer bestimmten Frequenz abrupt wieder auf den Anfangswert abzufallen. Hierdurch ergibt sich für den Signalverlauf ein Sägezahnmuster. Durch das stetige Senden und ändern der Frequenz kann sowie die lineare Änderung der Frequenz kann neben der aus der Differenz der Frequenzen bestimmten Geschwindigkeit auch die absolute Entfernung zwischen Betrachter und Objekt ermittelt werden. Durch diese Eigenschaft finden diese Art von Radarsensoren in Abstandswarnsystemen von Autos Verwendung. Im Gegensatz zu Antikollisionssystemen in der Automobiliindustrie gibt es in der Luftfahrt schon seit geraumer Zeit Kollisionsvermeidungssysteme. Diese stationär am Boden befindlichen Systeme errechnen aufgrund der Flugkoordinaten von erkannten Objekten und der prognostizierten Flugbahn ob ein naher Vorbeiflug oder gar ein Zusammenstoß bei beibehalten der derzeitigen Flugbahn wahrscheinlich ist. Wird eine Gefahrensituation erkannt, werden die Fluglotsen über die Notsituation informiert. Dies ist möglich, da die Flugzeuge bei der Reflexion der Radarstrahlung ein digitales Muster und Kennung zur Identifikation sowie Informationen über die aktuellen Flugparameter in die reflektierten Strahlen einkodieren.

### 2.2.3 Laserscanner

Bei den Lasersensoren gibt es neben den Scannern die als Sendeeinheit nur eine Laserdiode besitzen, deren Strahl durch einen sich rotierenden Spiegel abgelenkt wird, auch noch die Mehrstrahllaser. Die Mehrstrahllaser besitzen statt einer mehrere Sendeeinheiten mit denen ein Laserstrahl in die Umwelt projiziert wird. In der Regel sind die Laserdioden die durch ihre halbkreisförmige Anordnung einen Erfassungsbereich von generell 30° ermöglichen. Im Gegensatz hierzu verwenden die Laserscanner lediglich eine Sende- und Empfangseinheit, die allerdings über eine Mechanik bei einigen Typen einen Erfassungsbereich von 180° und bei

anderen sogar einen Rundumblick (360°) ermöglicht. Um die Datenmenge bei Bedarf klein zu halten und nur die benötigten Informationen auszuwerten, kann der Erfassungsbereich softwaretechnisch eingeschränkt werden. Für den Laserscanner spricht die Eigenschaft das auch nicht metallische Oberflächen seine Strahlung reflektieren und das aus seinen den empfangenden Daten sofort eine Entfernungs- und Richtungsinformation entnommen werden kann. Kritikpunkt sind aufgrund seiner radialen Abstrahlung die eingeschränkte Reichweite für garantierte Detektion von Objekten einer bestimmten Mindestgröße.

Zur Verwendung im Faust-Projekt wird unter anderem der SICK PLS Laserscanner kommen. [SIC05] Bei ihm handelt es sich um einen tastenden Laserscanner, was bedeutet, der Scanner braucht keine separaten Empfänger oder Reflektoren. Daher eignet er sich für dynamisch veränderliche und unbekannte Umgebungen weshalb ein Einsatz für autonome Fahrzeuge bzw. Fahrerassistenzsysteme denkbar ist. Durch die Lichtlaufzeitmessung ist er in der Lage durch die gemessene Entfernung und Richtung von erkannten Objekten deren relative Position zum Scanner zu bestimmen und diese dem datenverarbeitenden Programm zur Verfügung zu stellen. Hierfür sendet er sehr kurze Lichtimpulse aus, die durch einen sich im Scanner befindlichen Spiegel in die Umgebung ablenkt werden. Dieser konstant rotierende Spiegel bewirkt, dass die Lichtimpulse eine halbkreisförmige Fläche überstreichen, wodurch ein Erfassungsbereich von 180° entsteht. Trifft das Licht auf ein Objekt, so wird es reflektiert und zum Sensor zurückgeworfen. In dieser Zeit läuft eine elektronische Stoppuhr mit, um die Laufzeit des reflektierten Lichtstrahls messen zu können. Die verstrichene Zeit zwischen Sende- und Empfangszeitpunkt bestimmt durch Berechnung die Entfernung zum Objekt. Der Spiegelwinkel des reflektierten Lichtstrahls bestimmt in welcher Richtung sich das Objekt befindet. Durch beide Parameter zusammen kann dann die genaue Position des Objekts zum Sensor bestimmt werden.

Durch die physikalische Eigenschaft der radialen Abtastung der Umgebung durch den Sensor, ergibt sich mit einer großer werdenden Entfernung vom Scanner ein geringer werdendes Auflösungsvermögen welches einer garantierten Mindestauflösung von 70mm bis zu einer Entfernung von 4m entspricht. Diese Eigenschaft bewirkt eine Begrenzung des Wahrnehmungsradius in Abhängigkeit der mindestens zu detektierenden Objekte aus dem Fahrzeugumfeld. Der garantierte Messbereich ist bis zu einer Entfernung von 50m ausgelegt. Bis zu dieser Entfernung werden Konturen noch erkannt, wenn der Reflexionsgrad (mindestens 20-30 Prozent) des Objekts zur Detektion ausreicht. Prinzipiell kann eine Erhöhung der Auflösung kann durch die Verwendung von mehreren Sensoren erreicht werden, indem sie versetzt nebeneinander und mit einem unterschiedlichen Abstrahlwinkel am Fahrzeug angebracht werden. Es gibt auch die Variante eines abbildenden Laserscanners. Dieser misst zusätzlich zu der Laufzeit des ausgesendeten Lichtimpulses auch die Intensität des reflektierten Signals. Die Aufnahme der Intensitätswerte erfolgt üblicherweise in 16bit Graustufen. Das Ergebnis ähnelt einem Abbild der Oberfläche wie bei einem Schwarzweißfoto.

Durch Einsatz eines rotierbaren oder schwenkbaren 180° Sick-Laserscanners, ist es möglich unterschiedliche Erfassungsbereiche zu erhalten. Diese reichen von großen Kugelsegmenten, bis hin zu einer Vollkugel, die eine komplette Abbildung des Fahrzeugumfelds erlaubt. Einzige Beschränkung im Hinblick auf Verwendbarkeit in mobilen Systemen ist die Aufnahmedauer, die durch die Dauer für eine Scannzeile multipliziert mit dem Abfahren des Kugelabschnitts bestimmt wird. Eine Überlegung im Bezug auf den maximal benötigten Scanbereich, sollte für eine Minimierung der Verarbeitungszeit gemacht werden. Die Reichweite des Lasersen-

sors wird begrenzt durch die Lichtgeschwindigkeit und die Drehgeschwindigkeit des Spiegels im Scanner. Da der Laserscanner nach dem Prinzip der Laufzeitmessung arbeitet, muss der reflektierte Lichtstrahl mit der Drehgeschwindigkeit des Spiegels synchronisiert werden. Die maximale Reichweite wird somit von der Leistung der Infrarot/Laserdiode und der Drehgeschwindigkeit des Ablenkspiegels bestimmt. [Han05]

#### 2.2.4 Bildverarbeitung

Die Erfassung der Umgebung durch den Einsatz von Laserscanner bietet eine besonders hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und ist wenig rechenintensiv. Sie ermöglicht jedoch keine eindeutige Fahrspurerkennung. Hier kommt die dritte Art von Sensoren, die bildgebenden Sensoren wie Mono- und Stereokameras zum Einsatz. Die digitale Bildverarbeitung bietet zuverlässige und erprobte Verfahren zur Erkennung der Fahrspur und von Verkehrsschildern.[Lev05] Vorteile der digitalen Bildverarbeitung für den Einsatz zur Umgebungserfassung ist die relative Wetterunempfindlichkeit im Vergleich zu Laserscannern, die große Reichweite und die erhöhte Anzahl von Objektmerkmalen. Nachteile sind eindeutig die rechenintensive Verarbeitung der Bilddaten und die Beleuchtungsempfindlichkeit, sowie die Tatsache das im Vergleich zu Laser- und Radar-Sensoren die Entfernungsinformation nicht direkt aus den Sensordaten ableitbar ist. Unterschiedliche Aspekte der zu ermittelnden Ergebnisse geben die Art der zu verwendenden bildgebender Hardware vor.

Mit Hilfe von Stereokameras, oder einer multikamera Anordnung lassen sich Tiefenbilder von der Umgebung erzeugen. Bei der Stereobildverarbeitung geht es um das Ermitteln von Informationen über die Lage von Objekten im 3-D Raum, welche aus zweidimensionalen Bildern gewonnen wird. Ein klassisches Beispiel für die Visualisierung bzw. die Erzeugung eines dreidimensionalen Seheindrucks ist die Anaglyphentechnik, bei der rechtes und linkes Bild unterschiedlich eingefärbt werden. Durch eine Brille mit verschiedenen farbigen Brillengläsern, wird dem menschlichen Gehirn, die jeweils horizontal versetzten Bilder getrennt zugeführt. Der Versatz zwischen linkem und rechten Bild erzeugt einen dreidimensionalen Seheindruck, obwohl nur zweidimensionale Abbildungen vorliegen. Dieser Versatz wird Disparität genannt und entsteht durch den Abstand zwischen den zwei Objektiven der Stereokamera, welche beim Mensch dem Abstand zwischen seinen beiden Augen entspricht.

Eine rein zweidimensionale Interpretation der Umwelt , wie Fahrspur- und Verkehrsschilderkennung lässt sich im Vergleich zur Stereobildverarbeitung mit erheblich weniger Rechenaufwand auch aus Einzelbildern oder sogar Bildfolgen ermitteln. Mit Hilfe der Stereobildverarbeitung lassen sich zusätzlich, zu der mit Hilfe von Einzelbildern möglichen Fahrspur- und Verkehrsschilderkennung, Tiefeninformationen aus der Umgebung gewinnen. Diese durch Stereokameras erzeugten Bildpaaren liefern das Basismaterial für Algorithmen der Stereobildverarbeitung zum Erzeugen von Tiefenbildern. Diese Tiefenbilder zeigen eine Art Tiefenkarte in der helle Grauwerte nahe Bildbereiche und dunkle Grauwerte Bildbereiche markieren, die weiter vom Betrachter entfernt sind. (s. Abb. 6)In Entfernungsinformation bzw. in die Realität übertragen, entsprechen helle Grauwerte einer großen Disparität und dunkle einer kleinen. (Für die Methoden zum Ermitteln der Disparität sein an dieser Stelle auf den Anhang A.2 verwiesen.)

## **3 Sensordatenfusion**

### **3.1 Aspekte der Sensorfusion**

Bei dem Einsatz einer Sensordatenfusion muss ein Vergleich der Kosten und des zusätzlichen Nutzen durch Einsatz mehrerer Sensoren angestellt werden, um eine qualifizierte und gezielte Auswahl von Sensoren machen zu können. Sicher ist dies momentan auch der Grund für den ausschließlichen Einsatz von Fahrerassistenzsystemen in Oberklassefahrzeugen renommierter Autohersteller. Nur eine kontinuierliche Weiterentwicklung und der erfolgreiche Einsatz kann den Einzug in den Massenmarkt bewirken. Ein Beispiel für ein Sicherheitssystem basierend auf dem Einsatz von Laserscannern findet sich in [Kir00].

Die unterschiedliche Charakteristik der eingesetzten Sensoren geben eine Vorgabe für die zu empfehlende Fusionsarchitektur. Hierfür ist eine Klassifikation von Sensoren nötig. Je nach Montageort und Fähigkeit gibt es generell zwei unterschiedliche Klassifikationsmerkmale die die Fusionsarchitektur bestimmen. Zum einen die homogenen Sensoren, welche physikalisch das gleiche Messprinzip verwenden und somit die gleichen Einschränkungen in Form von Auflösung und Reichweite mit sich bringen. Zum anderen die heterogenen Sensoren, die selbst unterschiedliche Eigenschaften besitzen und somit sich eher ergänzend aufeinander auswirken. Hierdurch ist es möglich das ein Sensor die Schwächen eines anderen ausgleichen kann und somit zu einer genaueren Umgebungserfassung beiträgt. Dies ist die eigentliche Intension bei der Sensordatenfusion, wo durch die Multisensorik eine Verbesserung der Messdaten gegenüber denen von Einzelsensoren erreicht werden soll.[vH04]

### **3.2 Arten von Fusionsmodellen**

Bei der Fusion der Messdaten von den einzelnen Sensoren kommen hauptsächlich drei Prinzipien zur Anwendung:

1. Redundante Fusion
2. Komplementäre Fusion
3. Kooperative Fusion

Beim redundanten Fusionsmodell wird das Umfeld von mehreren identischen Sensoren aufgenommen. Die Sensoren besitzen den gleichen, mindestens einen sich grob überlappenden Erfassungsbereich. Mit diesem Modell kann die Genauigkeit und Fehlertoleranz, sowie eine erhöhte Ausfallsicherheit durch redundante Sensoren, der aufgenommenen Daten erreicht werden. Eine Erhöhung der Akquisitionsgeschwindigkeit kann durch Parallelisieren der Messwertaufnahme erzielt werden.

Bei der komplementären Fusion werden hauptsächlich unterschiedliche Sensoren mit sowohl sich ergänzendem als auch überlappendem Erfassungsbereich eingesetzt. Durch diese Voraus-

setzung ergibt sich ein erweiterter Merkmalsraum für Beobachtungen der Umwelt. Die Komplementarität bewirkt einen Informationsgewinn durch Ergänzung und Auflösen von Mehrdeutigkeiten. Als Beispiel sei die unterstützende Vorverarbeitung für eine Bildverarbeitung genannt, indem durch einen Laserscanner einzelne interessante Regionen (ROI) im Gesamtbild ermittelt werden, bevor die doch rechenintensive Bildverarbeitung, weitere Details im gewünschten Bildausschnitt ermitteln kann. Im Gegensatz zum redundanten Fusionsmodell bewirkt in dieser Konstellation ein Ausfall von Sensoren auch einen Informationsverlust.

Ein kooperatives Fusionsmodell (s. Abb. 3) vereint das redundante und komplementäre Fusion. Da die Grenzen bei beiden eher fließend sind ist das kooperative Modell das am häufigsten verwendete, denn häufig lässt sich die Fusionsarchitektur gar nicht eindeutig bestimmen, da die Erfassungsbereiche und Merkmale teilweise identisch und teilweise komplementär sind. Durch das Zusammenspiel von mehreren Sensoren bei der Auswertung kommt es zu neuen Informationsmerkmalen, die die einzelnen Sensoren für sich gesehen nicht leisten können. Ein Beispiel für die kooperative Fusion bei der Abbildung der Umwelt stellt die Triangulation zweier entfernungsmessender Sensoren dar. Nur durch die Kombination der Messwerte kann die Position des Objekts bestimmt werden.

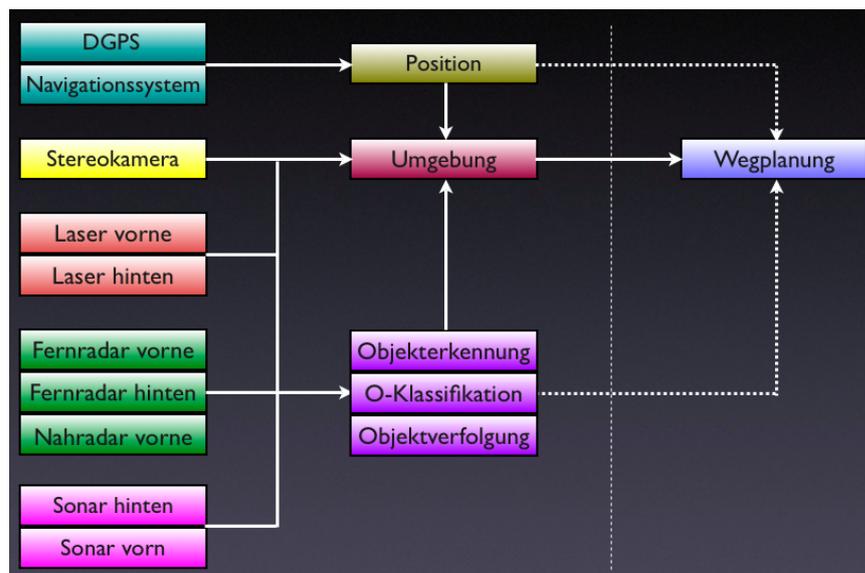


Abbildung 3: Kooperatives Fusionsmodell

Oder wie im gezeigten Modell sind Sensoren wie Laserscanner, Radar, Sonar und Stereokamera als redundantes System für die Umgebungserfassung und Objekterkennung ausgelegt. Als komplementäre Sensorwerte zur Positionsbestimmung und hierdurch einen zusätzlichen Informationsgewinn zur eigenen Lage im Raum und Positionierung von anderen Objekten, dient das DGPS und die Nutzung von vorhandenen Messwerten aus Navigationssystemen.

## 4 Ausblick Master-Thesis

### 4.1 Implementation kooperatives Fusionsmodell

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, kommen in einem kooperativen Fusionsmodell (s. Abb. 3) redundante und komplementäre Sensoren zum Einsatz. Da Radarstrahlen generell nur von metallischen Gegenständen reflektiert werden, kann keine Fahrspur erkannt werden. Für eine umfassende Sensordatenfusion müssen demzufolge komplementäre Sensoren für die Fusion hinzugezogen werden. Eine Fahrspurerkennung kann zuverlässig nur mit Hilfe von Kameras erkannt werden. Kommen dabei Stereokameras zum Einsatz, liefern diese neben den komplementären Umgebungsdaten zur Verkehrsschild und Fahrbahnbegrenzungserkennung, zusätzlich Bildinformationen für eine Tiefenbildberechnung. Diese redundanten Sensordaten für eine Entfernungsmessung könnten schneller und genauer auch mit Hilfe von Laserscannern ermittelt, allerdings kann mit den redundanten Messwerten auch eine höhere Sicherheit gewährleistet werden, da die Messergebnisse bei identischen Werten sich gegenseitig verifizieren. Die Implementierung eines Fusionsmodells stelle ich mir als einen Grundbestandteil meiner Masterarbeit vor.

### 4.2 Virtueller Sensor

Sich überschneidende Sensorwerte können zur gegenseitigen Verifikation genutzt werden. Nicht überlagerte Sensorwerte von geometrisch angeordneten gleichen Sensoren oder sich auch überschneidende aber unterschiedlicher Sensortypen, können ergänzend genutzt werden. Die Beeinflussung von Werten und Parametern der unterschiedlichen Sensoren sowie der Zugriff der Anwendungen auf den virtuellen Sensor durch Rückkopplung der Applikation auf die Sensoren kann die Geschwindigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse erhöhen, wenn durch eine Art von Sensoren eine ROI für weitere Sensoren gebildet werden. Als Beispiel kann der Laserscanner Verkehrsschilder lokalisieren den Ort für die Kameras zur Erkennung bestimmen.

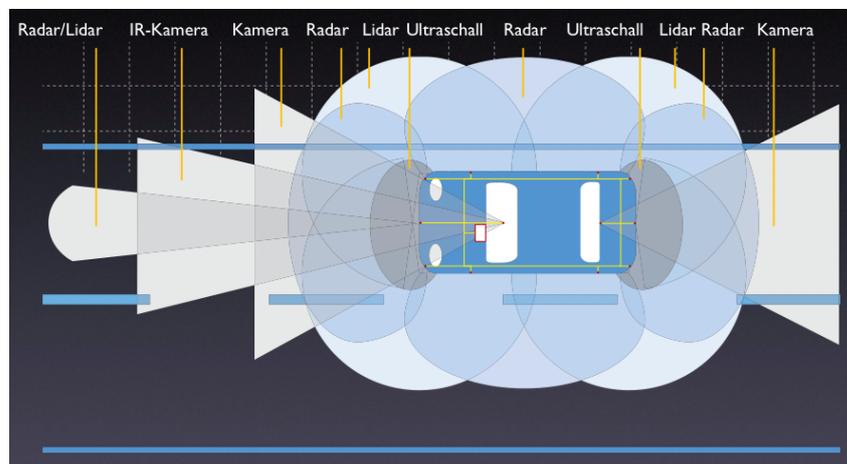


Abbildung 4: Sensoranordnung entsprechend Invent-Projekt [Inv05]

### 4.3 Umfeldmodell

Das Ziel der Masterarbeit sollte dann die Realisierung eines Umfeldmodells sein, welches einem Entscheider für Fahrbefehle eines Fahrerassistenzsystems die benötigten Informationen in geeigneter Weise zur Verfügung stellt. Der Entwurf eines dreidimensionalen Raumes als globales Koordinatensystem der Umgebung zeigt als Idee Abbildung 5. Mit Hilfe dieses Modells soll das System in seinem Fahrverhalten auf die in der Umgebung befindlichen Objekte reagieren können. Blaue Objekte im Entwurf entsprechen im Fahrverlauf befindliche Hindernissen. Die grüne Linie stellt eine mögliche Strecke dar, die hier einen Ausweichvorgang simuliert.

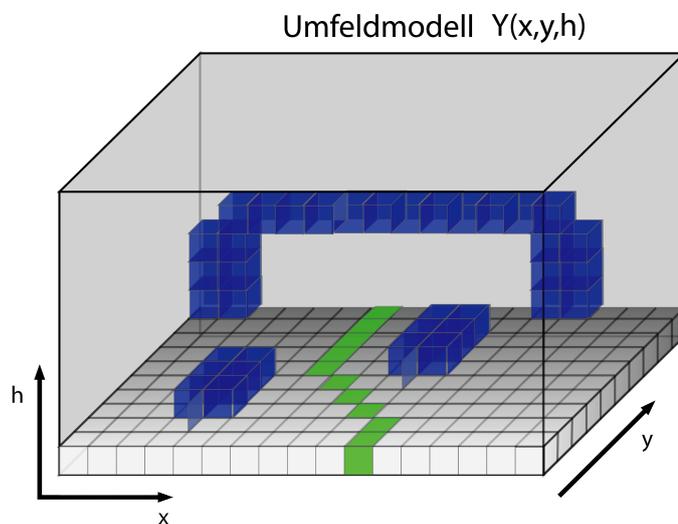


Abbildung 5: Dreidimensionale Darstellung des Umfeldes

Zum Erzeugen des Umfeldmodells in Form von Datensätzen für geometrische und objektbezogene Eigenschaften oder das Erstellen einer virtuellen Umgebung, werden die Parameter des Umfeldes und der darin befindlichen Objekte benötigt. Diese müssen durch Methoden der Objekterkennung, Objektklassifikation und Objektverfolgung (Tracking) ermittelt werden. Hierfür gibt es Ansätze in der digitalen Bildverarbeitung und im Gebiet der neuronalen Netze. [Woo02] Im einzelnen müssen diese Methoden folgendes leisten:

1. Die Objekterkennung muss das Erkennen der Fahrbahn, von Hindernisse und anderen Verkehrsteilnehmern gewährleisten und diese dann selektiert für eine Klassifikation aufbereitet weiterleiten.
2. Die Objektklassifikation hat die Aufgabe erkannte Objekte Anhand von bestimmten Merkmalen zu klassifizieren. Wenn das System nicht zwischen Fahrzeugen und Passanten unterscheiden kann würde dies ein Problem beim reaktiven Verhalten darstellen.
3. Die Objektverfolgung stellt ein zusätzliches Feature dar, was in einfachen Systemen nicht zwingend erforderlich ist. In einem komfortablen Assistenzsystem liefert es allerdings wichtige Informationen über dynamische Objekte aus der Umgebung, auf die entsprechend reagiert werden muss.

## 5 **Abbildungsverzeichnis**

### **Abbildungsverzeichnis**

1	Derzeitige Situation im Bereich von Fahrerassistenzsystemen. [Ibe05] . . . . .	4
2	Sensoren zum Ermitteln von Umfeldinformationen. . . . .	5
3	Kooperatives Fusionsmodell . . . . .	11
4	Sensoranordnung entsprechend Invent-Projekt [Inv05] . . . . .	12
5	Dreidimensionale Darstellung des Umfeldes . . . . .	13
6	Das linke Bild zeigt ein Tiefenbild, das rechte ein überlagertes Stereobildpaar. .	19
7	Berechnung von SAD - Summe der Absoluten Differenzen . . . . .	20
8	Berechnung von ZNCC - Normierte Kreuzkorrelation . . . . .	20
9	Vergleich zwischen SAD und ZNCC . . . . .	20

## 6 Literaturverzeichnis

### Literatur

- [Ahr01] Oliver Ahrens. *Mikrosystemtechnische Sensoren in relativ bewegten Systemen für die industrielle Anwendung*. PhD thesis, Universität Bremen, 2001.
- [Ame02] Christian Ameling. *Steigerung der aktiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen durch ein Kollisionsvermeidungssystem*. VDI Verlag, 2002.
- [Gre05] Point Grey. <http://www.ptgrey.com/>, <http://www.ptgrey.com/products/bumblebee/index.html>, Bumblebee Stereokamera, November 2005.
- [Han05] RTS Hannover. <http://www.rts.uni-hannover.de/forschung/robooter/3d-laser/>, 3D-Laserscanner, November 2005.
- [Ibe05] Ibeo. <http://www.ibeo-as.de/>, [http://www.ibeo-as.de/html/knho/knho\\_senstech\\_st.html](http://www.ibeo-as.de/html/knho/knho_senstech_st.html), Scanner Technology, November 2005.
- [Inv05] Invent. <http://www.invent-online.de>, Intelligenter Verkehr und nutzgerechte Technik, November 2005.
- [Kir00] Alexander Kirchner. *Sensordatenverarbeitung eines Laserscanners für autonome Fahrfunktionen von Kraftfahrzeugen*. VDI Verlag, 2000.
- [Lag00] Ulrich S. Lages. *Untersuchung zur aktiven Unfallvermeidung von Kraftfahrzeugen*. VDI Verlag, 2000.
- [Las05] Sick Lasermesssysteme. <http://www.sick.de/de/de.html>, <http://ecatalog.sick.com/Products/ProductFinder/product.aspx?finder=Produktfinder&pid=9168&lang=de>, SICK Laserscanner, November 2005.
- [Lev05] P. Levi, editor. *Videobasierte Fahrspurerkennung zur Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen*, volume *Autonome Mobile Systeme 2005*. Springer-Verlag, Dezember 2005.
- [Mil04] Frank Mildner. *Untersuchung zur Erkennung und Vermeidung von Unfällen für Kraftfahrzeuge*. VDI Verlag, 2004.
- [Res05] Roke Manor Research. <http://www.roke.co.uk/sensors/stealth/celldar.asp>, Celldar, November 2005.
- [SIC05] SICK. *Tastender Laser Scanner PLS*. SICK AG, 2005.
- [Stü03] Dirk Stücker. *Heterogene Sensordatenfusion zur robusten Objektverfolgung im Automobilen Straßenverkehr*. PhD thesis, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, 2003.

- [vH04] Volker von Holdt. *Integrale Multisensorielle Fahrumgebungserfassung nach dem 4D Ansatz*. PhD thesis, Universität der Bundeswehr München, 2004.
- [Wik05] Wikipedia. <http://de.wikipedia.org/wiki/Radar>, Radar, November 2005.
- [Woo02] Rafael C. Gonzales Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, second edition edition, 2002.

## 7 Glossar

### A

---

**ABS** Anti Blockier System. Verhindert bei einer Vollbremsung das die Räder/Bremsen blockieren und so das Fahrzeug im Falle einer Notbremsung noch manövrierfähig bleibt.

### D

---

**DGPS** Differential Global Positioning System. Dient der genaueren Positionierung als herkömmliches GPS unter Verwendung eines Referenzsatelliten.

**Disparität** Die Disparität in der Stereobildverarbeitung ist ein Maß für den Versatz zwischen linkem und rechtem Bild an. Es ist zu erkennen, das dichte Objekte eine hohe Disparität besitzen und weiter entfernte eine geringere Disparität. Die Disparität entspricht in der Stereobildverarbeitung auch der inverse Tiefe.

### E

---

**ESP** Electronisches Stabilitäts Programm. Verhindert das Ausbrechen oder unkontrolliertes Fahrverhalten, bei zu hoher Kurvengeschwindigkeit oder zu heftigen Beschleunigen.

### R

---

**ROI** Region of Interest. Definiert Bildbereiche die für weitere Berechnungen oder Betrachtungen relevant sind. Durch festlegen von ROI können Berechnungen optimiert werden, indem für Berechnungen uninteressante Bildbereiche ausgeschlossen werden die keine direkte Rolle für das Ergebnis spielen.

### S

---

**SAD** Sum Of Absolute Differences - Summe der Absoluten Differenzen.

### T

---

**Tiefenbild** Ein Tiefenbild zeigt eine Art Tiefenkarte in der helle Grauwerte nahe Bildbereiche und dunkle Grauwerte Bildbereiche markieren, die weiter vom Betrachter entfernt sind.

**Triangulation** Verfahren aus der Geometrie, um den Abstand zu einem Punkt zu finden, indem durch aufspannen eines Dreiecks zwischen dem Zielobjekt und einem weiteren Referenzpunktes mit geometrischen Berechnungen der Abstand ermittelt werden kann.

### Z

---

**ZNCC** Zero Mean Normalized Cross Correlation - Normierte Kreuzkorrelation.

## A Weitere Recherche und Realisierungen

### A.1 Neuentwicklung Celldar - Passives Radar

Eine andere Technik als das bisher vorgestellte Radar besitzt das passive Radar. Diese ziemlich neue Technologie macht sich die heute mittlerweile schon vorhandenen Strahlung in der Umwelt zunutze, wodurch zumindest ein System auch seinen Namen erhalten hat. Das Celldar System [Res05], entwickelt in der den Forschungslabor der Roke Minor Limited, nutzt die vorhandenen Mobilfunkstrahlungen und Satelliten um Objekte in der Umgebung des Beobachters zu lokalisieren. Diese Technik hat den Vorteil, selbst keine aktive Strahlung auszusenden und ist aus diesem Grund auch von großem Interesse für die Militärs. Für einen allgemeinen Einsatz im Alltag spricht die kostengünstige Hardware und die umweltschonenden Eigenschaften. Eine hohe Verbreitung verhindert derzeit in mobilen Systemen die hohe Rechenleistung, die benötigt wird um aus dem komplizierten Strahlungsgeflecht in der Umwelt, die reflektierte Strahlung herauszufiltern, die von den zu erkennenden Objekten reflektiert wird. Einsatz findet diese System bereits in Verkehrsüberwachungsanlagen, die zudem die Eigenschaften besitzen, im Gegensatz zu anderen Sensortechniken, nahezu wetterunabhängig zu sein.

### A.2 Berechnung der Disparität - Erstellung von Tiefenbildern

Bei der Aufnahme von Stereobildern gibt es in der Regel zwei unterschiedlich Arten der Kameraanordnung. Zum einen die parallele Anordnung der Kameras, zum anderen eine Anordnung, bei der sich die optischen Achsen der Kameras in einem Punkt vor dem Betrachter schneiden. Die zweite Variante nennt man auch den Kreuzblick. Dieser entspricht mehr dem menschlichen Organismus als die ersten Variante. Die parallele Anordnung der Kameras erlaubt eine einfachere Berechnung der Disparitäten für einzelne Objektmerkmale. Es ist zu erkennen das sich vom linken zum rechten Bild nur positive Disparitäten. Um die Disparität zwischen linkem und rechtem Bild zu verdeutlichen, wurde das linke und rechte Kamerabild mit Transparenz dargestellt und überlagert. (s. Abb. 6) Die gelben Pfeile geben den Versatz zwischen linkem und rechtem Bild an. Es ist zu erkennen, das dichte Objekte eine hohe Disparität besitzen und weiter entfernte eine geringere Disparität. Disparität = inverse Tiefe.

Zum Ermitteln der Disparität gibt es die Möglichkeit der Korrelation von Grauwertintensitäten der einzelnen Bildpunkte. Als Algorithmen für die Korrelation stehen zum einen die differentielle Methoden SAD zum anderen Kreuzkorrelation ZNCC zur Verfügung. Sie unterscheiden sich in der Anfälligkeit für Beleuchtungsschwankungen und im Rechenaufwand. Durch einfache Rechenoperationen ist der SAD besonders Ressourcen schonend. Bei idealen Bildern, gibt der SAD sehr gute Ergebnisse, die nicht schlechter sind, als die von aufwendigeren Korrelationsverfahren. Durch die Differenz der Grauwertintensität Schwierigkeiten bei Beleuchtungsschwankungen nachvollziehbar. Es wird jeweils die Differenz der Grauwertintensität an Position  $(m, n)$  im Linken Bild zur Position  $(m+d, n)$  im rechtem Bild gebildet. Diese Differenzen werden summiert. Die Summe der Differenzen ist ein Maß der Übereinstimmung. Bei identischer Bildinformation ist die Summe idealerweise NULL. Was aber in realen Bildern kaum zutrifft. (s. Abb. 7)

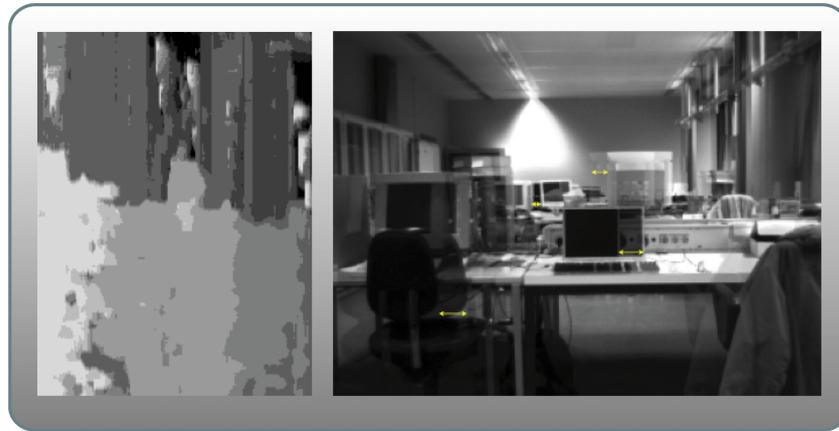


Abbildung 6: Das linke Bild zeigt ein Tiefenbild, das rechte ein überlagertes Stereobildpaar.

Im Gegensatz zum SAD ist der ZNCC wesentlich Rechenaufwändiger. (s. Abb. 8) Allerdings liefert er auch bei nicht ganz idealem Bildmaterial gute Ergebnisse, wo der SAD bereits versagt. Als Beispiel zeigt Abbildung 9 ein in der Helligkeit manipuliertes Stereo-Bildpaar. Beim SAD sind deutliche Schwächen zu erkennen. Eine zuverlässige Erzeugung eines Tiefenbildes ist so nicht möglich. Der ZNCC zeigt hier seine Vorteile, dass er durch die Normierung die Helligkeitsunterschiede ausgleicht, da hier die Grauwertverteilung auf den Helligkeitslevel errechnet wird. Somit entsteht ein Verhältnis und keine absolute Abweichung, wodurch Helligkeitsschwankungen zwischen linkem und rechtem Bild keine Rolle mehr spielen. Der Korrelationskoeffizient der normierten Kreuzkorrelation ist der Quotient aus der Kovarianz zwischen den beiden Korrelationsfenstern und dem Produkt ihrer Varianzen. Er hat einen Maximalwert von 1 für eine totale Übereinstimmung und man kann sagen das bei Werten über 0,7 ein identisches Merkmal gefunden ist. Bei der Berechnung der Korrespondenzen durch die Korrelation entsteht ein Volumen. Dies Volumen wird als Disparitätsvolumen bezeichnet, das praktisch die Korrelationswerte in Scheiben hintereinander entsprechend ihrem Disparitätsgrad angordnet.

Wie können nun die Disparitäten für jeden Bildpunkt des Tiefenbildes gefunden werden? Ein laut Literatur sehr häufig angewendetes Verfahren ist das Best-Match Verfahren. Bei diesem Verfahren bestimmt der Disparitätsgrad mit der höchsten Korrelation die Disparität für die Bildpunkte im Tiefenbild. Es wird für jeden Bildpunkt entsprechend seiner  $(x, y)$ - Position die entsprechende Disparität gesucht indem an der aktuellen Bildposition im Volumen der Disparitätsgrad ermittelt wird, der die höchste Korrelation aufweist. Dies ist in vielen Fällen nicht verkehrt. Durch die bereits erwähnten Mehrfachdeutungen können allerdings Fehler entstehen. Bei einer Bildgröße von  $384 \times 268$  wird bei einer Disparity Range von 15 Pixeln für die Erzeugung eines Tiefenbildes 1,6s benötigt. Der Suchbereich entspricht etwa einer Tiefe von ca. 7m. Hier zeigt sich die Negativseite der Stereobildverarbeitung gegenüber den Laserscannern. Bei den Laserscannern steht die Tiefeninformation sofort zur Verfügung und kann direkt in das globale Koordinatensystem eingetragen werden.

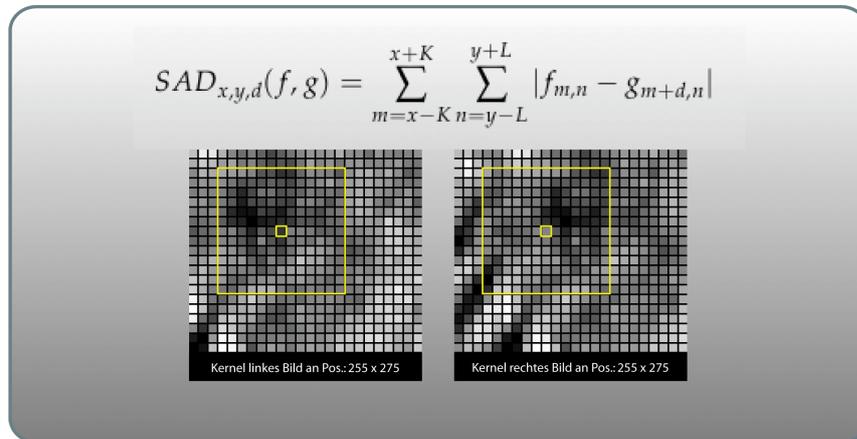


Abbildung 7: Berechnung von SAD - Summe der Absoluten Differenzen

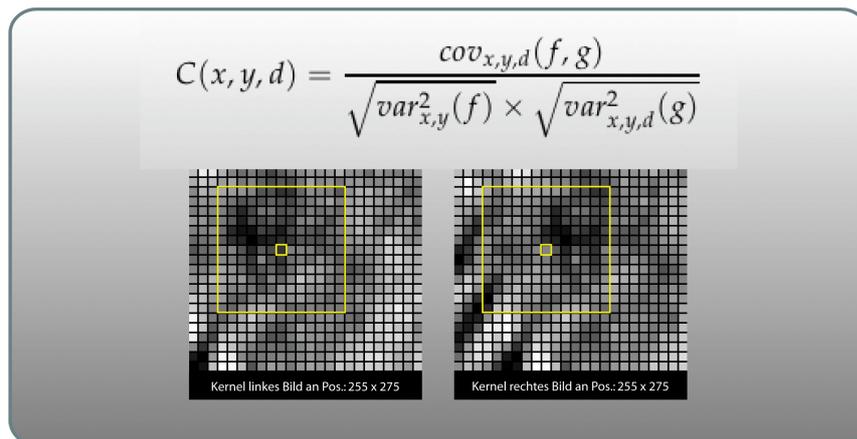


Abbildung 8: Berechnung von ZNCC - Normierte Kreuzkorrelation

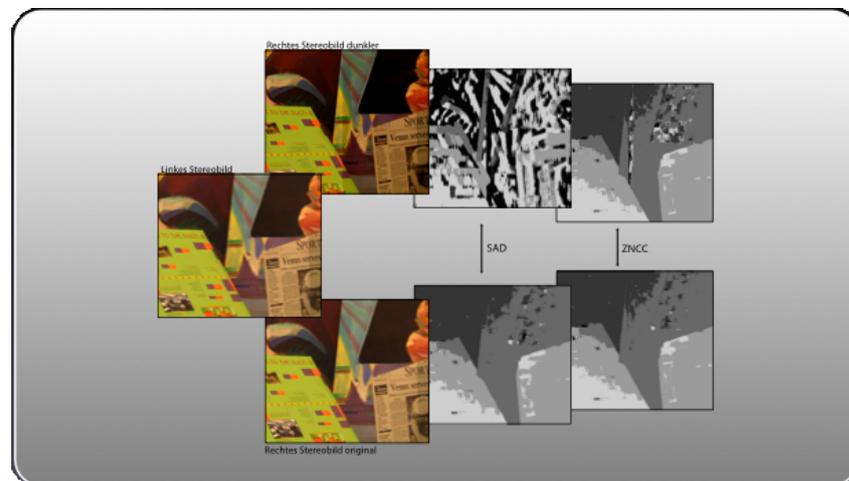


Abbildung 9: Vergleich zwischen SAD und ZNCC