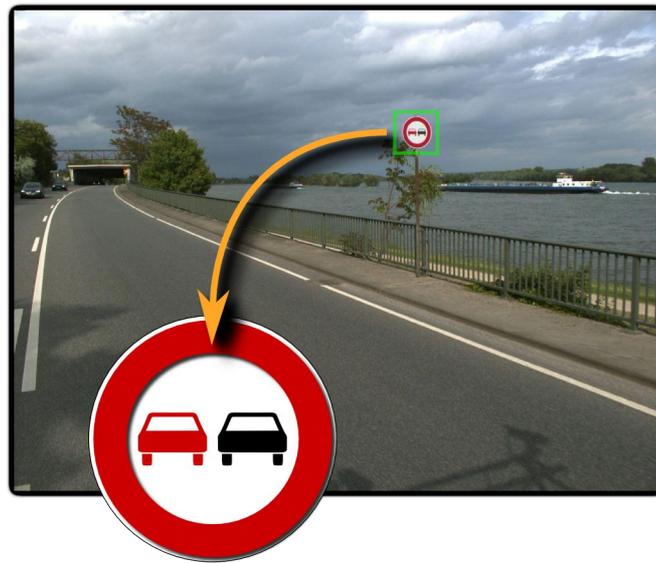


Schlussbericht

AEROS – Automatische Erfassung von Objekten aus Bildfolgen des Straßenraumes



Zuwendungsempfänger	Fachhochschule Kaiserslautern
Förderkennzeichen	17101X10
Vorhabenbezeichnung	Automatische Erfassung von Objekten aus Bildfolgen des Straßenraumes - AEROS
Berichtszeitraum	01.09.2010 – 31.08.2013

Prof. Dr. Martin Böhm <martin.boehm@fh-kl.de>

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

27.01.14

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzdarstellung.....	3
1.1	Aufgabenstellung.....	3
1.2	Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde.....	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zum Projektstart.....	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
2	Eingehende Darstellung.....	6
2.1	Verwendung der Zuwendung.....	6
2.2	Zahlenmäßiger Nachweis.....	8
2.3	Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	9
2.3.1	Teilprobleme.....	9
2.3.2	Auswertelgorithmen.....	10
2.3.3	Analyse der Leistungsfähigkeit unseres Verfahrens.....	17
2.4	Nutzen und Verwertbarkeit.....	17
2.5	Fortschritt Anderer auf dem Gebiet.....	17
2.6	Veröffentlichungen.....	17

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Geoinformationen und damit verbundene Technologien sind ein bedeutender Wirtschaftsfaktor in der modernen Informations- und Wissensgesellschaft. Die Dienstleister für Straßeninformationen sind ständig bestrebt, ihre Datenerfassungstechnologien auf hohem Niveau zu halten und sind offen für den Einsatz und die Vermarktung neuer innovativer Verfahren.

Die Straßenbau- und -verkehrsverwaltungen in Deutschland haben die gesetzlich vorgeschriebene Pflicht, die Sicherheit und den Fluss des öffentlichen Straßenverkehrs zu gewährleisten. Zu diesem Zweck dienen u.a. Verkehrszeichen, deren Aufstellung durch verkehrsrechtliche Anordnungen geregelt ist. Zur laufenden Gewährleistung der Verkehrssicherheit ist eine regelmäßige Überprüfung aller Verkehrszeichenstandorte erforderlich. Neben dieser gesetzlichen Pflicht haben die Behörden auch Eigeninteresse an der Vollständigkeit und Korrektheit der aufgestellten Zeichen, da im Zweifelsfalle die Behörde gegenüber Verkehrsteilnehmern bei Schadensereignissen aufgrund fehlender oder nicht erkennbarer Zeichen haftet. Somit besteht auch unter dem Aspekt der Beweissicherung Handlungsbedarf in allen Verwaltungen.

Sowohl die Erfassung des sicherheitsrelevanten Bestands an Objekten im Straßenraum, wie Verkehrszeichen und Lichtsignalanlagen, aber auch Schutzplanken, Fahrbahnmarkierungen u.Ä. in *Straßeninformationsbanken* (SIB) als auch Aktualisierung dieses Bestands, stellt eine immer wichtigere Aufgabe für Bund, Länder und Kommunen dar. Eine gängige Erfassungsmethode ist, die Strecken mit kamerabestückten Fahrzeugen zu befahren, die in regelmäßigen Abständen Bilder aufzeichnen. Diese Bildfolgen werden anschließend manuell ausgewertet und die Daten für die SIB aufbereitet.

Diese manuelle Auswertung der Bildfolgen ist sehr zeit- und kostenintensiv, da die komplette Bildfolge von geschulten Hilfskräften durchgesehen werden muss. Dabei muss die Hilfskraft die Position jedes im Bild zu sehende Verkehrszeichen markieren und die Bezeichnung des Schildes aus dem offiziellen Verkehrszeichenkatalog in die SIB eintragen. Ein zusätzliches Problem stellt die Fehleranfälligkeit dar, die jeden manuellen Auswerteprozess begleitet.

Ziel des Projekts ist die automatisierte Auswertung dieser Bildsequenzen mittels Bildverarbeitungsmethoden und maschinellen Lernverfahren.

1.2 Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Die erste Version des Antrags wurde mit einem Konsortium aus den Projektpartnern: *Fachhochschule Kaiserslautern, Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern und Lehmann+Partner GmbH, Kirchheim*¹ gestellt. Leider wurde während des Antragszeitraums für die *Lehmann+Partner GmbH* am 13.08.2010 ein Antrag auf Eröffnung des Insolvenzverfahrens gestellt, was zum Ausscheiden des benötigten Industriepartners führte.

In Folge dessen wurde eine intensive Suche nach einem möglichen Nachfolger für das Projektkonsortium gesucht.

1 Bzw. deren Holding *DSI – Deutsche Straßeninformations GmbH*

Am 5.10.2010 unterzeichneten die Firmen *IVT-Informationssysteme für Verkehr und Technik GmbH, Oppenheim* und *Stradis – Straßendateninformationssysteme Ingenieurgesellschaft, Wiesbaden* eine Interessensbekundung für eine Beteiligung im Projekt *AEROS* und wurden anschließend Industriepartner im Projekt.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der gesamte Arbeitsplan ist in drei Meilensteine *M1, M2* und *M3* untergliedert:

- **M1: Aufbau-, Planungs- und Entwicklungsphase; Laufzeit 17 Monate**
Ziel ist das Erreichen guter Detektions- und Erkennungsraten für eine hohe Anzahl von VZ (Verkehrszeichen) bei guten Witterungsverhältnissen.
Diese Phase beinhaltet die Spezifikation des Systems, grundlegende Arbeiten wie die Akquisition von Bildmaterial (bei einfachem Wetter), Sichtung, Prüfung der Bildfolgen, die Implementierung von geeigneten grafischen Benutzeroberflächen (=GUI) für die Qualitätssicherung (=QS) und eine effiziente Auditierung sowie die Prüfung einzelner Bildverarbeitungsverfahren (=BV) -Verfahren aus der MabLib (eine am ITWM erstellte BV-Bibliothek für verschiedenste Aufgaben) auf Einsetzbarkeit. Darauf aufbauend werden in der BV-Entwicklung zusätzliche Bildvorverarbeitungsverfahren zur Aufbereitung des Bildmaterials entwickelt und diverse Detektionsverfahren umgesetzt und miteinander kombiniert sowie erste Klassifikationsalgorithmen implementiert.
- **M2: Optimierungsphase 1; Laufzeit 6 Monate**
Ziel ist die Verbesserung der Detektions- und Erkennungsraten aus Phase 1 durch eine robuste Merkmalsfusionierung (u.a. Optimierung der Merkmalsgewichtungen) ebenfalls bei guten Witterungsverhältnissen; Insbesondere VZ mit einer sehr niedrigen Detektions- und/oder Erkennungsrate sollen nach Abschluss dieser Phase erheblich besser erkannt werden.
- **M3: Optimierungsphase 2; Laufzeit 13 Monate**
Ziel ist die weitere Verbesserung der Detektions- und Erkennungsraten aller VZ. Die BV-Verfahren sollen nun auch hinsichtlich schwierigerer Umgebungsbedingungen erweitert und im Hinblick auf Erkennungsrate und Laufzeit optimiert werden.

Durch unsere wöchentlich durchgeführten jour-fixe Treffen, bei denen der Projektstand bewertet wurde und die Fortschritte in den Teilproblemen diskutiert wurden, konnten wir die strategische Ausrichtung des Projekts steuern. Dabei wurden Ansätze, die sich als nicht erfolgsversprechend herauskristallisierten, verworfen und neue Ansätze verfolgt. Zum Beispiel wurde im Projektverlauf der ViolaJones-basierte Ansatz verworfen und ein LBP (=local binary pattern)-basierter Ansatz weiter verfolgt. Das Verfahren der Farbsegmentierung, vor allem dessen Geschwindigkeitsoptimierung stellte sich im Projektverlauf als aufwändiger heraus, als ursprünglich gedacht. Da das Verfahren aber unserer Meinung nach, in Kombination mit anderen Verfahren, viele Vorteile bringt, wurde in diesen Arbeitspunkt mehr Aufwand investiert, als ursprünglich eingeplant.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zum Projektstart

Internationale Forschungsaktivitäten zur Verkehrszeichendetektion sind seit mehreren Jahren zu verzeichnen. Vor allem im Automotive-Bereich (Fahrerassistenzsysteme) sind auch Erfolge in der Praxisumsetzung erzielt worden (Patente: [1],[2],[3],[4]). Die Verfahren arbeiten in Echtzeit, indem eine Kamera die Situation vor dem Fahrzeug erfasst und eine Auswertungssoftware die Aufnahmen nach relevanten Verkehrsschildern durchsucht. In der Regel handelt es sich hierbei um Verkehrszeichen zur Geschwindigkeitsbeschränkung. Der Fahrer bekommt anschließend diese Information in geeigneter Weise angezeigt. Auch die Fahrzeugsteuerung selbst ist damit möglich (Tempomat).

Accenture [5], die University of Connecticut [6], Matsuhita [4] und Bosch [3] haben darüber hinaus spezielle BV-Methoden, wie Differenzerkennung, FFT-basierte Filter oder Waveletbasierte Verfahren für die Verbesserung der Verkehrszeichenerkennung im PKW-Bereich als Patent angemeldet.

Navigationsdatendienstleister setzen zunehmend ebenfalls Lösungen zur automatischen Verkehrszeichendetektion ein. Diese Lösungen sind aber in der Regel begrenzt auf bestimmte Verkehrszeichengruppen (Geschwindigkeitsbeschränkungen, Ein- und Durchfahrtsbeschränkungen) oder auf bestimmte Aufmerksamkeitsregionen im Straßenumfeld.

Zusammenfassend lässt sich als Ergebnis dieser Untersuchung festhalten, dass die Verkehrszeichenerkennung nahezu ausschließlich für die Anwendung in Fahrerassistenzsystemen patentrechtlich erwähnt wird und somit wegen des o. a. Abgrenzungen keine Gefahr von Patentverletzungen besteht.

Die wissenschaftliche Literatur behandelt überwiegend die Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Fahrerassistenzsysteme. Die vorgestellten Verfahren sind i. A. auf wenige relevante Verkehrszeichen beschränkt. Für die Detektion und Klassifizierung aller 700 Verkehrszeichen sind die Verfahren deshalb nur eingeschränkt nutzbar. Die Automobilindustrie forscht derzeit an der 100%igen Erkennung von einigen wenigen, aber für die Fahrerassistenz sehr wichtigen, Verkehrszeichen (Maximalgeschwindigkeiten, Stopp-Zeichen, Vorfahrtachten). Diese Fahrerassistenzsysteme stehen anderen Anwendern nicht in brauchbarer Form zur Verfügung. Ferner wird in AEROS die Erkennung aller Verkehrszeichen inkl. Hinweisschildern zur Verkehrsleitung, Ortskennzeichnungen etc. benötigt. Ein solches Komplettsystem, welches zusätzlich für ergänzende Straßeninformationen erweiterbar sein muss, gab es zum Zeitpunkt des Projektstarts nicht auf dem Markt. Die im Automotivbereich notwendigen Echtzeitanforderungen werden in AEROS nicht benötigt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Fraunhofer ITWM konnte im Vorfeld des Projektes im Bereich der Bildvorverarbeitung [7], [8], [9] und Klassifizierung [10], [11], [12] bereits auf fundierte Praxiserfahrung, etwa bei Projekten mit rauen Umgebungsbedingungen, zurückgreifen. Auch im Bereich der Verkehrszeichenerkennung wurde vor Projektstart, bereits eine Diplomarbeit bearbeitet [13]. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden erste erfolgreiche Tests auf realen Bilddaten der DSI durchgeführt. Diese Vorarbeiten wurden als Grundlage für den Projektbeginn genutzt und stellten die Basis der weiteren Zusammenarbeit dar.

Innerhalb des Projekts beteiligte sich das ITWM als wissenschaftlicher Berater und erfahrene Bildverarbeitungsgruppe, so dass den Studenten, die Studien- und Bachelorarbeiten im Rahmen des Projekts erstellt haben, ein Arbeitsplatz am ITWM

eingrichtet wurde. Dies förderte den fachlichen Austausch zwischen dem Student und den praxiserfahrenen Betreuern.

Die Stradis GmbH ist ein Partner mit langjähriger Erfahrung im Bereich der Bilderfassung von Straßenszenen. Ihr stehen mehrere Spezialfahrzeuge zur Verfügung die mit moderner Kamertechnik ausgestattet sind, um den befahrenen Straßenraum zu erfassen und die Bilddaten mit den dazu gehörigen Positionsdaten zu archivieren.

Die Firma Stradis lieferte die zu analysierenden Bildsequenzen mit den entsprechenden Standort-Daten. Außerdem wurden von ihr zu jeder Bildsequenz Informationen zu den eingesetzten Kameras und Objektiven sowie deren genaue Anordnung auf den Aufbauten der Erfassungsfahrzeuge geliefert.



Abbildung 1: Kamerabestücktes Erfassungsfahrzeug der Stradis GmbH

Die IVT GmbH ist ein Partner mit 20jähriger Erfahrung in der Verarbeitung, Pflege, Beratung und Visualisierung von SIBs.

Das Auswerten und Einpflegen des Datenbestands wird momentan von der IVT als Auftragsarbeit an Hilfskräfte vergeben, die die Bildsequenzen manuell sichten und die gefundenen Verkehrszeichen mit ihren hinterlegten Positionsangaben in die SIB eintragen. Dieser Vorgang wurde durch das Projekt AEROS teilweise automatisiert.

Ferner lieferte die IVT das Know-How über den Datenbankstandard der SIBs, deren Datenformate und den offiziellen aktuellen Verkehrszeichenkatalog.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendung wurde wie im Projektplan vorgesehen für die Entwicklung von Bildverarbeitungsverfahren zur Detektion von Verkehrszeichen verwendet. Zum Projektstart musste durch die Insolvenz des früheren Projektpartners DSI, ein neues Konsortium mit neuen Industriepartnern gefunden werden. Nach umfangreichen Recherchen und dem Besuch des *Deutschen Straßen- und Verkehrskongresses* in Mannheim erklärten sich schließlich die beiden Firmen IVT und Stradis bereit, sich am Projekt zu beteiligen.

Zunächst wurde ein Kickoff-Meeting am 03.11.2010 bei der Firma Stradis in Wiesbaden abgehalten, um das weitere Vorgehen zu planen und den Forschungspartnern die Möglichkeit zu geben, direkt auf die Bedürfnisse der Industriepartner einzugehen und einen anwendungsorientierten Entwicklungsprozess einzuschlagen.

Dabei wurde festgelegt, dass die Firma Stradis dem Forschungspartner ITWM das eigens entwickelte Softwarewerkzeug zur manuellen Auditierung der Bildsequenzen, sowie eine Vielzahl an Bilddaten zur Verfügung stellt.

Das ITWM stellte mehrere Hilfskräfte ein, die zunächst die Bilddaten zu sichten, mögliche Problemerkandidaten zu identifizieren und eine Softwareinfrastruktur erstellen, um mit der Entwicklung der Algorithmen beginnen zu können.

Außerdem wurde Werbung an der Universität Kaiserslautern und der Fachhochschule Kaiserslautern gemacht, um Studenten für Studien- und Abschlussarbeiten zu gewinnen und die verschiedenen algorithmischen Ansätze zu verfolgen.

Als Arbeitsplätze für diese Hilfskräfte, wurden durch die Projektmittel zwei leistungsfähige PC-Systeme angeschafft und am Fraunhofer ITWM aufgestellt. Ein Teil der genehmigten Ausgaben wurde, nach Absprache mit dem AiF, in das Jahr 2011 verschoben, da die Notwendigkeit der Anschaffung durch den Projektverzug noch nicht gegeben war.

Aus den an die Studenten vergebenen Aufgaben, entstanden im Jahr 2011 vier Studienarbeiten [14], [15], [16], [17] und eine Bachelorarbeit [18]. Dabei wurden algorithmische Teilprobleme bearbeitet, sowie Werkzeuge neu- oder weiterentwickelt, die der systematischen Evaluation der Ergebnisse dienen.

Ende April 2012 wurde das Projekt auf der Hannovermesse vorgestellt. Dabei wurde auf dem Gemeinschaftsstand des Forschungsministeriums Rheinland-Pfalz eine Präsentation auf einem großformatigen Monitor gezeigt. Diese war keine einfache Powerpoint Präsentation, sondern eine Livedemonstration der erstellten Auswerterroutinen. Dafür wurde eine unbearbeitete Bildsequenz von Verkehrsszenen verwendet, die uns unser Industriepartner zur Verfügung gestellt hat. Diese Sequenz wurde dann auf einem Notebook live analysiert, die gefundenen Verkehrszeichen klassifiziert und die Resultate in einer großformatigen, posterähnlichen, animierten Webseite dargestellt. Das Interesse am Projekt war verhalten, was wir auf das Fehlen von fachspezifischem Publikum und der Vielzahl von Ausstellern zurückführen.

Für die Implementierung der Detektions- und Klassifikationsalgorithmen war es zunächst notwendig, ein Bildverarbeitungsframework zu haben, um die Bilddaten vorzuverarbeiten, sie zu normalisieren und eine Bibliothek mit Basisalgorithmen zur Verfügung zu haben, mit denen die eigenen Verfahren implementiert werden können.

Für diesen Zweck wurden zwei Bibliotheken verwendet, einerseits die OpenSource Bibliothek *OpenCV* [19], sowie die Fraunhofer ITWM Eigenentwicklung *ToolIP* [20]. Die Bildverarbeitungsapplikation ToolIP bietet neben einem umfangreichen Satz an Bildverarbeitungsalgorithmen (*MASC-Software Library*) eine grafische Oberfläche, die einen *Rapid-Prototyping* Ansatz in der Algorithmenentwicklung erlaubt.

Die Verfahren lassen sich als Algorithmenknoten in einer Graphenstruktur anordnen und ohne Programmieraufwand parametrisieren und ausführen (siehe Abbildung 2).

Der Einsatz von ToolIP innerhalb des Projekts, ermöglichte mit vergleichbar geringem Aufwand, verschiedene Ansätze für die Bildvorverarbeitung und die eigentlichen Detektions- und Klassifikationsaufgaben auszuprobieren und diese Prototypen auf ihre Leistungsfähigkeit zu testen.

Zusätzlich wurden Lehrlicenzen von ToolIP für die Fachhochschule angeschafft, die auf

Rechnern des dortigen Bildverarbeitungslabors Verwendung finden und zusätzlich innerhalb der Bildverarbeitungs-Vorlesung eingesetzt werden.

Das Problem der Verortung der Verkehrszeichen wurde 2012 in einer Diplomarbeit [21] behandelt und gelöst.

Die Problemstellung wurde bereits im September 2011 auf dem *mathematischen Modellierungsworkshop* an der TU-Kaiserslautern vorgestellt. Dort sind von Mathematikstudenten einige Teilprobleme bearbeitet worden.

Im September 2012 stellten wir unseren algorithmischen Lösungsansatz auf dem *18. Workshop Farbbildverarbeitung* der TU Darmstadt vor, wobei wir vertiefend auf die Aspekte der Farbbildanalyse und Farbsegmentierung eingingen [22].

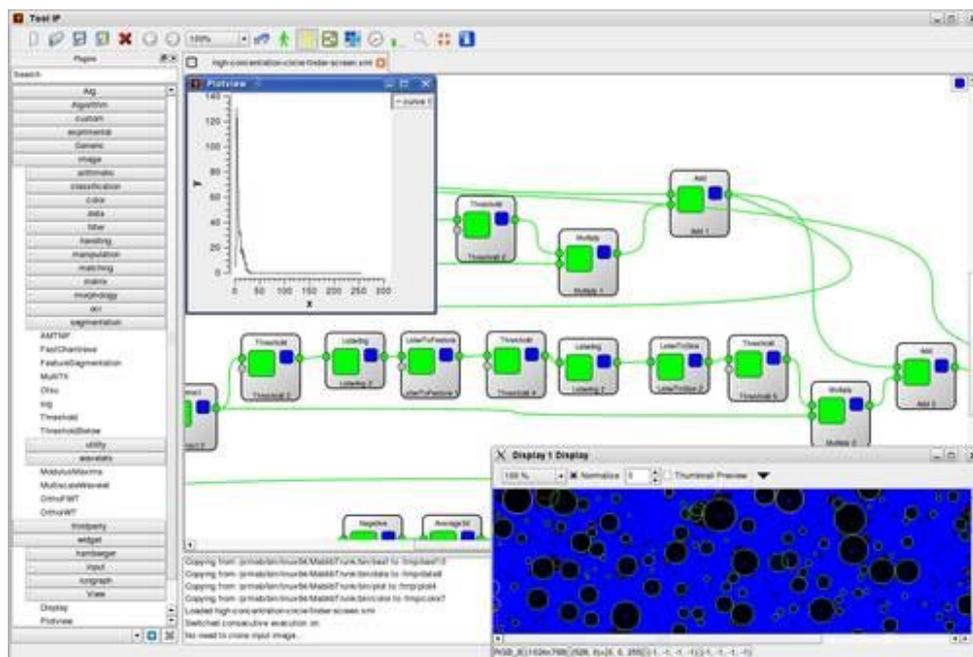


Abbildung 2: ToolIP - Tool for Image Processing

Im Mai 2013 wurde die internationale Verkehrsfachmesse *Intertraffic* in Istanbul besucht, mit dem Ziel Industriepartner für einen Folgeantrag des Projekts zu gewinnen. Dafür wurden im Vorfeld der Messe mit in Frage kommenden Firmen, Gesprächstermine während des Messebesuchs vereinbart. Leider konnte bis dato kein Interessent gefunden werden.

2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Nachfolgend der zahlenmäßige Nachweis zu den Positionen des Finanzierungsplans, der zum Projektbeginn erstellt wurde.

Für die Position 0812 hat sich im Finanzierungsplan eine Lücke aufgetan, da die Kosten für die Stelle E13 bei Antragstellung zu gering angesetzt wurden. Nach Analyse der Finanzsituation bestand für den Abschluss der Arbeit keine Gefahr, weil andere Positionen im Finanzierungsplan nicht ausgeschöpft wurden und, nach Rücksprache mit dem Projektträger Jülich, umgewidmet werden konnten.

Position Gesamtfinanzierungsplan	Entstandene Ausgaben insgesamt bis einschl.2013	Gesamtfinanzierungsplan
0812	187.150,86	158.616,00
0817	0,00	0,00
0820	0,00	0,00
0822	23.107,28	24.000,00
0831	0,00	0,00
0834	0,00	0,00
0835	0,00	2.000,00
0843	686,58	12.300,00
0846	7.926,44	24.000,00
0850	12.586,78	38.100,00
Summe:	231.457,94	259.016,00

Tabelle 1: Finanzierungsplan

Im Folgenden die Auflistung der inventarisierten Geräte und Softwarelizenzen die mit Projektmitteln beschafft wurden.

Die im Punkt 1 gelisteten PC-Systeme wurden für die Algorithmenentwicklung eingesetzt, darauf wurde die unter Punkt 2 aufgeführte Bildverarbeitungsbibliothek installiert und verwendet. Zusätzlich wurde ein Drucker beschafft und ein Netzwerk-Festplattenspeichersystem zur Archivierung der Bilddaten.

Beim Rechner unter Punkt 3 handelt es sich um ein Notebook, welches für die Lehre und außerdem für die Präsentation der Ergebnisse auf den besuchten Messen und Workshops, eingesetzt wurde.

Das Grafiktablet unter Punkt 4 wird als Eingabe- und Präsentationsmedium innerhalb von Vorlesungen, Seminaren und Laboren verwendet.

Lfd.Nr.	Bezeichnung	Anz.	Einzelpreis	Gesamtpreis	Lieferfirma	Notwendigkeit für das Projekt	Datum der Anschaffung
1	PC-Systeme, Drucker, Festplatten-Speichersystem	2	3.856,20	7.712,39	Dojani & Schreiber GmbH	erforderlich	40578
2	Lizenz MASC-Software Library	1	2.771,30	2.771,30	Fraunhofer ITWM	erforderlich	40583
3	D & S Intel System	1	1.094,80	1.094,80	Dojani & Schreiber GmbH	erforderlich	40701
4	Grafiktablet Wacom	1	1.008,29	1.008,29	Alternate	erforderlich	40974

Tabelle 2: Inventarverzeichnis/Geräteliste

Insgesamt wurden nicht alle bewilligten Mittel aufgebraucht und es werden 9800€ an die Bundeskasse zurück überwiesen.

Die angeschafften Geräte verbleiben an der Fachhochschule Kaiserslautern und werden im Bildverarbeitungslabor und zur Lehre weiterhin eingesetzt. Außerdem ist ein weiterer Projektantrag zur Fortführung von AEROS geplant, in dem die angeschafften Geräte und Lizenzen weiter verwendet werden können.

2.3 Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Problemstellung wurde zunächst in verschiedene Teilprobleme und mögliche Lösungsansätze zerlegt, die unabhängig voneinander bearbeitet wurden. Den schematischen Ablauf des Auswerteprozesses zeigt die folgende Grafik:

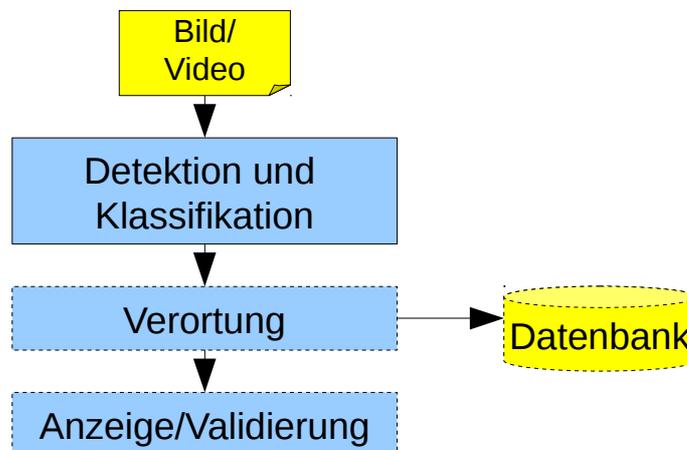


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Auswertung

2.3.1 Teilprobleme

- **Systemsoftware**

Hierbei handelt es sich um die Rahmen- und Steuerkomponente des gesamten Systems. Die Aufgabenbereiche sind Bildakquisition (das Laden der strukturiert abgelegten Bildsequenzen von Datenträgern), der Aufruf der einzelnen Auswertekomponenten mit den geladenen Bildern, die Speicherung der Ergebnisse und die Aufbereitung der Ergebnisse in einer grafischen Bedienoberfläche.

Zusätzlich gibt es eine Komponente zur Generierung von Auswertestatistiken und Laufzeitanalysen. Als Programmiersprache für die Systemsoftware kam *Erlang* [23] zum Einsatz. Eine Entwicklung der Firma Ericsson die mittlerweile als OpenSource Implementierung weiterentwickelt wird. Ausschlaggebend für die Entscheidung waren das dynamische, skalierbare Laufzeitsystem, sowie die eingebaute Clusterfähigkeit.

Die grafische Oberfläche besteht aus einer dynamischen Ajax-Website, mit einem Erlang-Webserver als Backend.

- **Auswertelgorithmen**

Hierbei handelt es sich um eine Komponente, die durch ein Bildverarbeitungs- und Mustererkennungsverfahren einen möglichen Verkehrszeichenkandidaten bestimmt. Dabei wird der Typ des Verkehrszeichens, die Position (xy-Koordinaten) des Zeichens im Bild, sowie ein Konfidenzwert (eine Wahrscheinlichkeit) von den verschiedenen Auswertelgorithmen geliefert. Jeder Algorithmus besitzt zusätzlich einen Performancewert, der die Aussagekraft, also die Leistungsfähigkeit des Algorithmus beschreibt. Das kann zum Beispiel bedeuten, dass ein Algorithmus der eine hohe Konfidenz für ein Ergebnis liefert, aber der Algorithmus selbst einen niedrigen Performance-Wert besitzt, schlechter abschneidet als ein Algorithmus der ein guter Performer ist und sich seines Ergebnisses aber nicht ganz sicher ist. Mit diesem Wichtungsverfahren können die einzelnen Ergebnisse dann objektiv

verglichen werden.

- **Struktur der einzelnen Auswertelgorithmen zueinander**
Hierbei handelt es sich um die Anordnung der Auswertelgorithmen zueinander. Das bedeutet ein Algorithmus kann als Eingabe die Ergebnisse eines anderen Algorithmus erwarten, um dessen Ergebnisse zu verbessern. So entsteht eine *Pipeline-Struktur* des gesamten Auswerteprozesses.
- **Zusammenführung der Einzelergebnisse und Bestimmung des Gesamtergebnisses**
Am Ende dieser Auswerte-Pipeline werden die Einzelergebnisse zusammengefasst. Hierbei wird aus den Konfidenzwerten der Ergebnisse und eines globalen Performancewertes der einzelnen Algorithmen ein Gesamtergebnis bestimmt. Die Performancewerte der einzelnen Algorithmen wurde durch Heuristiken bestimmt. Hier kann aber auch alternativ ein Feedback System verwendet werden, in dem falsch klassifizierte Ergebnisse bestraft werden was wiederum in die Bestimmung des Performancewertes mit einfließt. Sogar die Bestimmung der Performancewerte durch das Training eines SVM-Klassifikators (Support Vektor Maschine) wäre möglich, wurde aber aus zeitlichen Gründen nicht implementiert.
- **Verortung der gefundenen Verkehrszeichen**
In diesem Schritt wird die Position der gefundenen Verkehrszeichen im Bild (x,y-Koordinaten) über eine räumliche Transformation des Kameraraums auf die, mit den Bildern aufgezeichnete GPS-Koordinate abgebildet. Es wird also eine Weltkoordinate des Verkehrszeichenstandorts errechnet, die in das herkömmliche Kartenmaterial eingezeichnet werden kann. Diese Positionsdaten werden vorher validiert und danach in die SIB eingetragen.

Neben diesen zu lösenden Teilproblemen, identifizierten wir verschiedene Lösungsansätze, um die eigentliche Auswertung zu implementieren.

Die Auswertung gliedert sich in zwei Teilaspekte:

- **Das Finden der Verkehrszeichen im Bild**
Hierbei werden zunächst Kandidaten für mögliche Verkehrszeichen anhand ihrer *Form* oder ihrer *Farbe* identifiziert und an die nachfolgende Auswertung weitergereicht.
- **Die Klassifikation der gefunden Verkehrszeichen**
Hierbei wird ein möglicher Verkehrszeichenkandidat einem konkreten Verkehrszeichen aus dem offiziellen Verkehrszeichenkatalog zugeordnet.

Einige der von uns implementierten Verfahren fassen diese beiden Schritte zu einem zusammen. Das heißt, ein Verkehrszeichenkandidat ist durch das Verfahren schon automatisch einem konkreten Verkehrszeichen zugeordnet oder das Verfahren behandelt nur das Finden von Kandidaten, ohne eine Aussage über das konkrete Verkehrszeichen zu treffen.

2.3.2 Auswertelgorithmen

Nachfolgend sind die implementierten Auswerteverfahren dargestellt.

Farbsegmentierung

Bei der Farbsegmentierung werden farblich ähnliche, zusammenhängende Bereiche im Bild erkannt und zu Regionen zusammengefasst. Da die Verkehrszeichen eine

standardisierte Farbpalette verwenden, lässt sich die Suche auf wenige Farbklassen beschränken. Diese weichen aber durch unterschiedliche Lichtverhältnisse, Kameraeinstellungen und dem altersbedingten Ausbleichen des Verkehrszeichens, voneinander ab.

Die aufgenommenen Bilder befinden sich kamerabedingt im RGB-Farbraum. Dieser Farbraum hat die Eigenschaft, dass ähnliche Farben nicht unbedingt ähnliche Farbwerte haben müssen. Daher werden die Bilddaten vorher in den HSI-Farbraum transformiert, der unter anderem aus einem Farbwinkel besteht, der alle Farben auf einen Winkel zwischen 0° bis 360° abbildet. Damit ist sichergestellt, dass ähnliche Farben sich in einem zusammenhängenden Winkelintervall befinden (siehe Grafik 4).

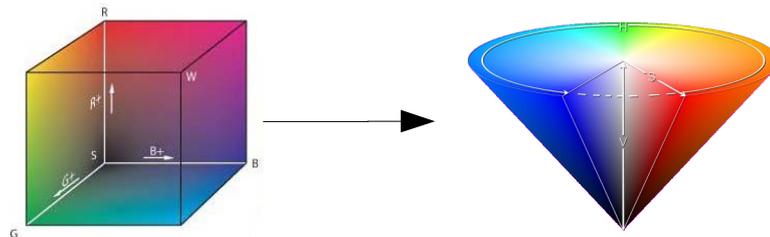


Abbildung 4: Farbtransformation RGB nach HSI

Anschließend müssen die gefundenen Pixel, die einem Farbintervall entsprechen, zusammengefasst werden. Dafür wird ein so genannter *Region-Growing Algorithmus* verwendet, der benachbarte Pixel sucht, die dem gleichen Farbbereich angehören und diese Pixel dann zu einer zusammenhängenden Region zusammenfassen.



Abbildung 5: Ergebnis der Farbdetektion an einem Beispielbild

So lassen sich Kandidaten finden, indem man Farbintervalle für bestimmte Verkehrszeichentypen definiert. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, mit dem man wie bereits erwähnt, keine konkreten Verkehrszeichen klassifiziert, sondern nur die Position von Kandidaten bestimmen kann, die dann in einem Nachfolgeschritt klassifiziert werden müssen. Natürlich werden auch andere Objekte der Szene gefunden, die eine Verkehrszeichen ähnliche Farbe haben. Diese Fehldetektionen müssen dann anschließend mit einem Form-basierten Verfahren aussortiert werden.

Die Farbsegmentierung hat den Vorteil einer schnellen Analysegeschwindigkeit und einer hohen Robustheit. Sie kann als Vorverarbeitungsschritt für aufwendigere Klassifikationsverfahren verwendet werden um deren Suchbereiche einzugrenzen und so deren Auswertegeschwindigkeit zu erhöhen.

Das Verfahren wurde in einer Studienarbeit [14] evaluiert und anschließend innerhalb

einer Bachelorarbeit implementiert und optimiert [18].

Viola-Jones Algorithmus

Das Verfahren von Viola und Jones [24] beschreibt ein effizientes Verfahren zur Detektion und Klassifikation von Objekten in Bilddaten. Beim Viola-Jones Algorithmus werden zur Objekterkennung so genannte *Haar-Features* (im Folgenden kurz als „Feature“ bezeichnet) genutzt.

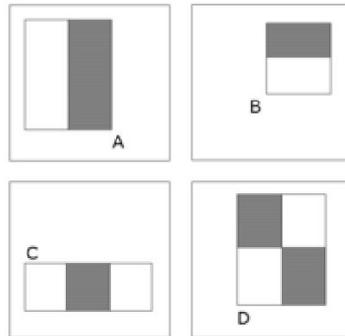


Abbildung 6: Die verschiedenen Haar Features (Masken)

Um den Wert des Features zu bestimmen werden alle Grauwerte innerhalb der Rechtecke addiert. Hierbei werden die Werte im weißen Bereich positiv und die im schwarzen Bereich negativ gewichtet.

Da der Featuretyp sowie dessen Position und Dimension frei wählbar sind, gibt es sehr viele mögliche Featurekombinationen pro Bildausschnitt. Bei einer Fenstergröße von zum Beispiel 24x24 Pixeln, existieren ungefähr 45.000 verschiedene Features.

Um diese große Anzahl an Berechnungen effizient durchführen zu können, wird ein so genanntes *Integralbild* erzeugt, bei dem in jedem Pixel die Summe der vorangehenden Pixel steht. Dadurch muss diese Summe nicht bei jedem Durchlauf neu berechnet werden, sondern kann durch direkte Addition und Subtraktion der Werte in den Eckpunkten ermittelt werden.

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y')$$

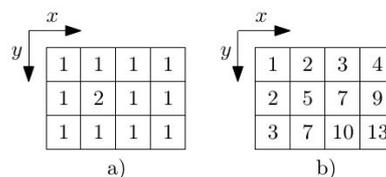


Abbildung 7: a) Ausgangsbild b) resultierendes Integralbild

Um die benötigte Zeit zur Objekterkennung weiter zu minimieren, werden nicht alle Features pro Fensterausschnitt ausgewertet. Der verwendete *AdaBoost* (Adaptive Boosting) Algorithmus wählt aus dieser Menge einige aus, welche das Objekt möglichst präzise beschreiben. Jedes Feature mit einer Detektionsrate von >50% (also besser als durch bloßes Raten) stellt einen *weak-classifier* dar.

Der Klassifikator mit dem geringsten Fehler wird ausgesucht und das Gewicht für jedes Bild neu bestimmt. Dabei werden die Bilder, bei welchen die vorher ausgewählten Klassifikatoren Probleme hatten, stärker gewichtet. Diese Schritte werden mehrmals wiederholt. Die so gewonnenen weak-classifier werden nun zu einem *strong-classifier* kombiniert.

Die Erkennungszeit für ein Objekt wird durch Anordnen der strong-classifier zu einer *Kaskade* weiter verringert. Hierzu werden die im vorherigen Schritt generierten strong-classifier nach Größe, also der Anzahl der weak-classifier aus welchen sie zusammengesetzt sind, geordnet. Das Fenster wird zuerst mit dem kleinsten strong-classifier getestet. Findet dieser kein mögliches Objekt, wird der Ausschnitt verworfen, ansonsten wird die Region mit den nächst größeren strong-classifier übergeben. Ist der letzte classifier erreicht, entscheidet dieser, ob das gesuchte Objekt enthalten ist.

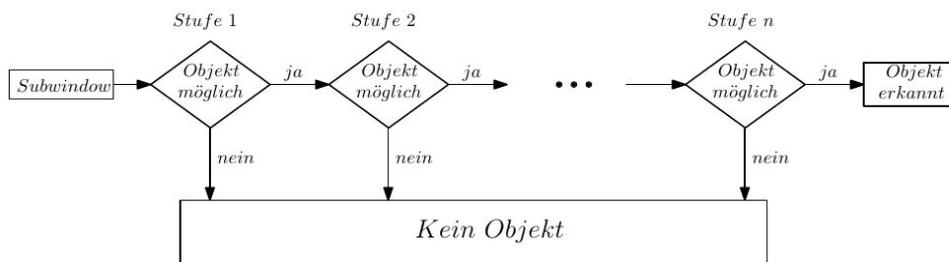


Abbildung 8: Kaskade aus strong classifiern

Die ersten Ergebnisse dieses Verfahrens fielen sehr positiv aus, es wurde eine Erkennungsrate von 96% der im Bild enthaltenen Verkehrszeichen erreicht. Allerdings mit einer sehr hohen Rate an Falsch-Positiv Detektionen².

Diese Fehldetektionen lassen sich durch Mehrfachdetektionen der einzelnen Klassifikatoren erklären. So wurde zum Beispiel ein Tempo 80 Zeichen immer auch von einem Klassifikator für Tempo 50 Zeichen erkannt.

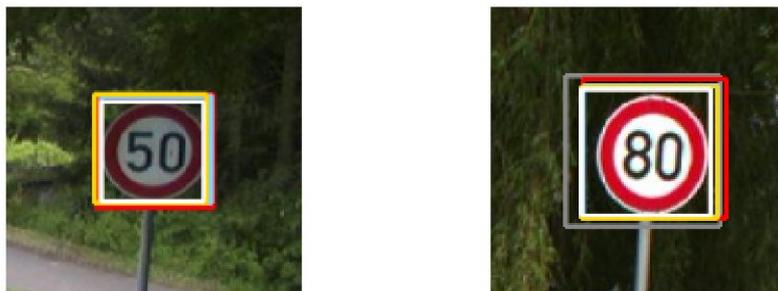


Abbildung 9: Mehrfachdetektion von Tempo 50 und Tempo 80 Schild

Ein Lösungsansatz, der die Trennschärfe dieser Klassifikatoren erhöht und der ein gutes Ergebnis zur Reduktion dieser Fehlklassifikationen brachte, war der Einbau einer nachgeschalteten Schrifterkennung für Verkehrszeichen von denen a priori bekannt ist, dass sich alphanumerische Zeichen auf ihnen befinden.

Da bei diesem Ansatz ein Klassifikator für jeden Verkehrszeichentyp trainiert werden muss und zusätzlich jeder Klassifikator auf jedem Bild laufen muss, nimmt die

² Also Detektionen von Verkehrszeichen, wo in Wirklichkeit keines war.

Detektionsgeschwindigkeit mit jedem zu suchenden Verkehrszeichen linear ab. Da es sich dabei aber um unabhängige Operation handelt, kann man auf modernen Multicore CPUs eine Auswertung pro Kern starten, was die Detektionsgeschwindigkeit mit der Anzahl der Kerne linear erhöht. Ein weiterer Ansatz die Detektionsgeschwindigkeit zu erhöhen, ist die Anordnung der Klassifikatoren in einer Baumstruktur. Hier wird durch einfache Klassifikatoren zum Beispiel kreisförmige von eckigen Verkehrszeichen unterscheiden und dann im nachfolgenden Schritt, nur die Klassifikatoren für kreisförmige bzw. für eckige Schilder ausgeführt. Dadurch ließ sich die Auswertegeschwindigkeit ebenfalls drastisch erhöhen (siehe Abbildung: 10 und 11).

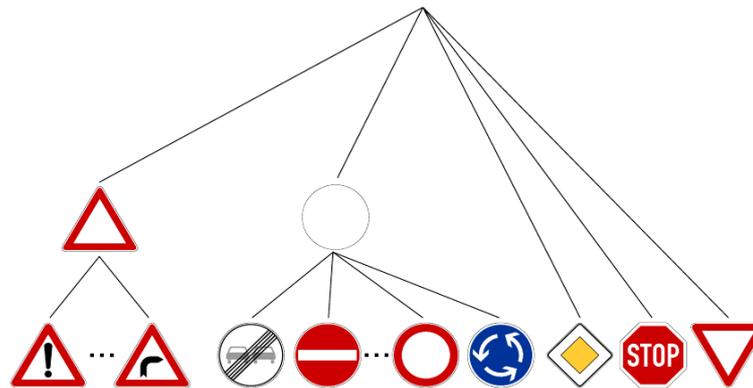


Abbildung 10: Baumartige Anordnung der Klassifikatoren

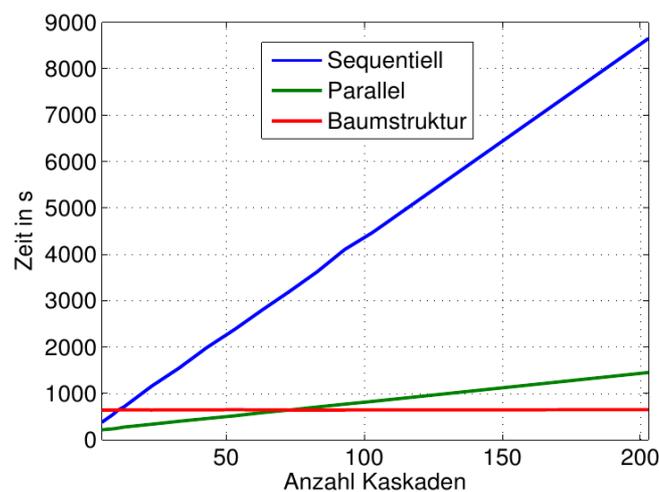


Abbildung 11: Laufzeit sequenzieller, paralleler und als Baum strukturierter Suche in Abhängigkeit von der Anzahl gesuchter Verkehrszeichen

Der ViolaJones Algorithmus wurde innerhalb einer Studienarbeit für die Problemstellung der Verkehrszeichenerkennung evaluiert [15].

Local Binary Patterns (LBP)

Die Local Binary Patterns (LBP) wurden 1994 von Ojala, Pietikainen und Harwood vorgestellt [25]. Ursprünglich wurde das Verfahren zur Ergänzung bestehender

Texturklassifikationstechniken entwickelt.

Zur Auswertung eines LBPs werden die Pixel in dessen 8-er Nachbarschaft durch Schwellwertbildung binarisiert (siehe Abbildung 12). Hierbei geht der Grauwert des betrachteten Pixels und die Grauwerte der Nachbarschaftspixel sowie eine geeignet gewählte Schwellwertfunktion ein.

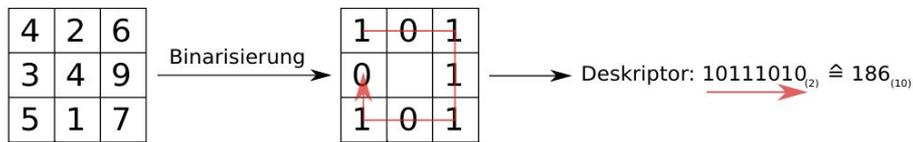


Abbildung 12: Berechnung des LBPs eines Pixels.

Aufbauend auf den LBPs wurden 2007 von Liao, Zhu, Lei, Zhang und Li [26] die *Multi-scale Block Local Binary Patterns* (MB-LBP) entwickelt. Sie sollten eine Alternative zu den oben erwähnten *Haar-Features* darstellen.

Zur Evaluation der LBPs wird die im vorherigen Abschnitt beschriebene Kaskadenstruktur (allerdings mit LBPs statt Haar-Features) verwendet. Zur einfachen Vergleichbarkeit der beiden Algorithmen wurden dieselben Parameter gewählt. Zur Beurteilung wurden 108 Testbilder eingesetzt. Die Auswertung (siehe Abbildung 13) belegt die deutlich bessere Eignung der LBPs gegenüber den Haar-Features zur Verkehrszeichendetektion. Es wurde eine Detektionsrate von 97.7% erreicht.

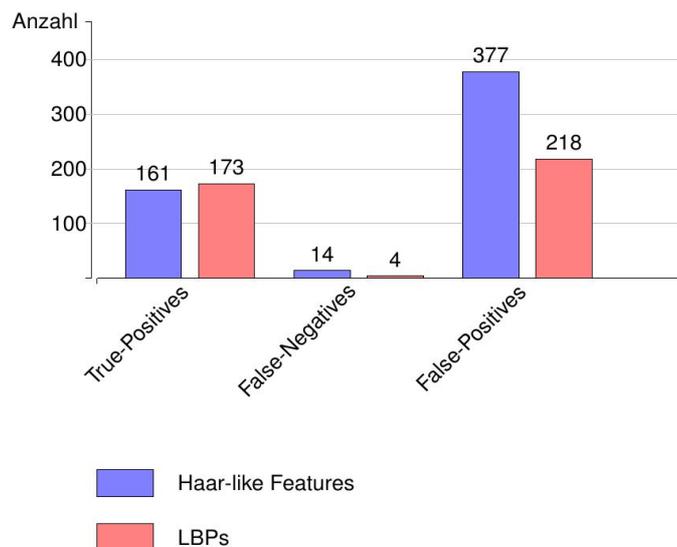


Abbildung 13: Vergleich der Detektionsraten von LBP und Haar Features

Histograms of Oriented Gradients (HOG)

Die HOG-Features wurden 2005 von Navneet Dalal im Zuge seiner Promotion entwickelt [27], [28]. Sie wurden ursprünglich zur Detektion von Personen in Bildern oder Videos konzipiert, allerdings zeigte sich im Rahmen der Beurteilung des Verfahrens, dass sich der Algorithmus ebenfalls zum Finden von anderen Objekten eignet. Hinter der Entwicklung des Verfahrens stand die Annahme, dass sich die Form und das Aussehen eines Objekts gut durch die Verteilung der Helligkeitsgradienten im Bild beschreiben lässt. Die Vorgehensweise ist schematisch in Abbildung 14 dargestellt.

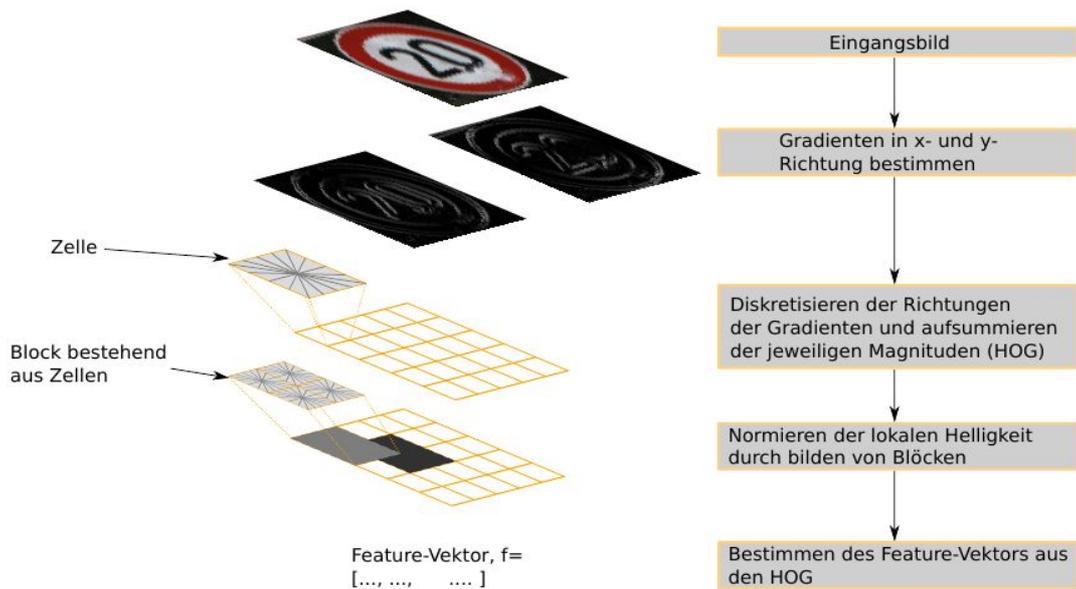


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Bestimmung des HOG-Feature-Vektors.

Um im Anschluss an die Detektion durch Verwendung von HOG-Features, eine Klassifikation des gefundenen Verkehrszeichens durchführen zu können, wird eine *Support-Vektor-Maschine* mit manuell auditierten Daten trainiert. Ein Vorteil hierbei, im Vergleich zum ViolaJones Verfahren ist, dass die Detektion und die Klassifikation in getrennten Schritten erfolgt.

Dies ermöglicht, bei den HOG-Features die Ergebnisse der Farbklassifikation und der LBPs einfließen zu lassen und damit in einem Verfahren die Form und die Farbe der analysierten Regionen gemeinsam zu klassifizieren. Der schematische Ablauf der Auswertung ist in Abbildung 15 dargestellt.

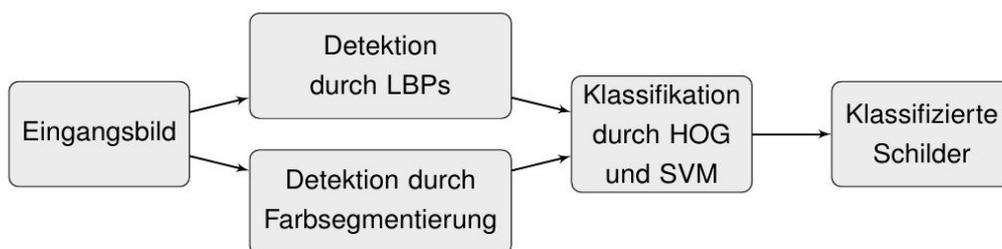


Abbildung 15: Schematischer Ablauf der gesamten Auswertepipeline

Zum Anlernen des Klassifikators wurden die Trainingsdaten des *German Traffic Sign Recognition Benchmark* [29] verwendet. Sie enthalten Abbildungen von 43 verschiedenen Schildklassen aus unterschiedlichen Perspektiven, unter variierenden, zum Teil sehr ungünstigen Belichtungsverhältnissen und Störungen. Einige Beispielbilder des Trainingsdatensatzes sind in Abbildung 16 zu sehen.



Abbildung 16: Beispielbilder der Trainingsdaten des GTSRB

Die LBP- und HOG-Features, sowie die Klassifikation mittels einer SVM, wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit erstellt [30].

Seit Mitte 2013 stellt die Arbeitsgruppe die den GTSRB Benchmark erstellt hat, auch einen Wettbewerb für die Detektion von Verkehrszeichen in Straßenszenen zur Verfügung, und zwar den: *German Traffic Sign Detection Benchmark* [31]. Leider konnten wir aus zeitlichen Gründen unser Verfahren nicht mehr mit diesem Datensatz testen.

2.3.3 Analyse der Leistungsfähigkeit unseres Verfahrens

Das entwickelte Verfahren zur Verkehrszeichenklassifikation wurde mit den Ergebnissen des *German Traffic Sign Recognition Benchmark* [29] verglichen. Hierbei handelt es sich um ein Trainings- sowie Testdatensatz, der von der Ruhr-Universität Bochum zur Verfügung gestellt wird. Bei der Problemstellung handelt es sich um eine reine Klassifikationsaufgabe. Das Problem der Detektion der Verkehrszeichen im Bild wird außer Acht gelassen.

Eine Vielzahl internationaler Arbeitsgruppen haben Lösungen eingereicht und ihre Klassifikationsraten bestimmt. Tabelle 3 zeigt die Leistungsfähigkeit unseres Ansatzes im Vergleich zu den besten eingereichten Verfahren.

Methode	Klassifikationsrate
Committee of CNNs	99.46 %
Multi-Scale CNNs	98.31 %
<i>HOG+SVM</i>	96.93 %
Random Forests	96.14 %

Tabelle 3: Das entwickelte Verfahren (*HOG+SVM*) im Vergleich zu den besten Ergebnissen des GTSRB

Das Verfahren kann also mit den besten bestehenden Ansätzen konkurrieren. Allerdings gibt es noch Probleme bei Verkehrszeichen, bei denen die Farbsegmentierung nicht einsetzbar ist (zum Beispiel die weißen Auflösungszeichen für Tempolimits). Hier verlieren wir den Vorteil der Kombination von Form- und Farbanalyse.

Außerdem stellten sich die blauen, runden Richtungspfeile als problembehaftet heraus, da unsere Algorithmen eine gewisse Toleranz gegenüber der Verdrehung der Verkehrszeichen aufweisen müssen (Rotationsinvarianz). Da es sich bei diesen Pfeilen aber um verschiedene Zeichen handelt (laut Verkehrszeichenkatalog), je nach dem in welche Richtung sie zeigen, kommt es hier manchmal zu Fehlklassifikationen.

2.3.4 Verortung der Verkehrszeichen

Um die Position der Verkehrszeichen in Weltkoordinaten, zu bestimmen, musste ein Verfahren entwickelt werden, das die Position der gefundenen Verkehrszeichen im Bild (deren x,y-Koordinate), mit Hilfe der bei der Bildaufnahme abgelegten GPS-Koordinate, in Weltkoordinaten umrechnet.

Dabei muss die Geometrie des GPS-Sensors zu den Kameras, die optische Verzeichnung des verwendeten Objektivs und dessen räumliche Projektion einbezogen werden. Um die Genauigkeit der Positionsbestimmung zu erhöhen, wurde das Kamerasetup an Testkörpern kalibriert und es kamen Verfahren aus der Stereotriangulation zum Einsatz.

Die Problemstellung wurde im September 2011 auf dem *mathematischen Modellierungsworkshop* an der TU-Kaiserslautern vorgestellt und es wurden innerhalb dieses 2-tägigen Workshops von Mathematikstudenten, einige Teilprobleme analysiert. Dabei wurden erste, vielversprechende Lösungsansätze erarbeitet.

Die Aufgabe wurde dann innerhalb einer Diplomarbeit [21] tiefer beleuchtet und sowohl eine theoretische, als auch praktische Lösung gefunden.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit

Innerhalb des Projekts wurden die algorithmischen sowie theoretischen Grundlagen erarbeitet, um ein System zur offline Objekterkennung des Straßenraums zu schaffen. Die Priorität lag dabei im Gegensatz zu Fahrerassistenzsystemen, in hoher Detektions- und Klassifikationsqualität. Das Erreichen einer schnellen Auswertegeschwindigkeit war in AEROS zweitrangig.

Dies ermöglichte es uns, aufwendigere und sogar mehrere nacheinander geschaltete Verfahren einzusetzen, um dem Anspruch an die Detektionsrate und der Menge an gesuchten Objekten gerecht zu werden.

Das System ist bereit für den Produktiveinsatz bei den Projektpartnern, muss sich aber noch im Langzeittest bewähren. Die grafische Oberfläche muss noch an die ergonomischen Wünsche der Partner angepasst werden.

Die entwickelten Verfahren, lassen sich außerdem bei einer Vielzahl von Problemstellungen einsetzen. Bei jedem Bildverarbeitungsproblem, bei dem eine größere Menge gleichartiger Objekte in Bilddaten detektiert werden müssen, ließe sich das System einsetzen. Es müssen nur ausreichend viele und gut auditierte Trainingsdaten zur Verfügung stehen.

Zum Beispiel könnte das System eingesetzt werden, um Produkt- oder Firmenlogos in TV oder Filmsequenzen zu finden und eine automatisierte Productplacement-Analyse durchzuführen. Auch die automatisierte Erfassung der Produktpositionen und Mengen in Supermarktregalen ist denkbar.

Die erfolgreichen Verfahren werden im Rahmen der Vorlesung *Image Processing und Pattern Recognition* an der FH Kaiserslautern vorgestellt.

Eine Problemstellung die innerhalb des Projekts außer Acht gelassen wurde, die sich aber für einen Nachfolgeantrag eignet, ist die Analyse von wegweisenden Verkehrszeichen. Diese setzen sich oftmals aus einer komplexen Struktur von Pfeilen, Ortsangaben und Straßennummern zusammen. Um solche Schilder zu analysieren, muss neben einer Zeichen und Texterkennung, auch eine semantische Analyse durchgeführt werden, die die Richtungsangaben den entsprechenden Pfeilspitzen zuordnet.

2.5 Fortschritt Anderer auf dem Gebiet

Die Ruhr-Universität Bochum erweiterte ihren bisherigen Klassifikations-Benchmark, bei dem unser Verfahren gute Ergebnisse erzielt, um einen Detektions-Benchmark von Verkehrszeichen in Straßenszenen.

Die besten dort eingereichten Verfahren basieren zum Teil, wie unser System, auf HOG-Features in Kombination mit einer SVM [31].

Die Nutzung und Weiterentwicklung der von uns eingesetzten HOG-Features wird mittlerweile auch für andere Detektions- und Klassifikationsaufgaben verwendet. Zum Beispiel wird an der Universität Berkeley an HOG-basierten Verfahren geforscht, die Personen und sogar die von ihnen ausgeführten Körperposen erkennen und klassifizieren können [32], [33], [34].

Ebenfalls in Berkeley wurden HOG-Features zur Detektion von Objekten eingesetzt, die teilweise starre und deformierbare Teile aufweisen (z.B. ein Fahrradfahrer auf seinem Rad) [35], [36], [37].

Die neusten Verfahren im Bereich Objekt- und Mustererkennung lassen sich im *PASCAL* (Pattern Analysis, Statistical Modelling and Computational Learning) Benchmark testen. Dabei handelt es sich um einen auditierten Trainings- und Testdatensatz zum Vergleich von Segmentierungs- und Klassifikationsverfahren. Die hier eingereichten Verfahren benutzen zum Teil auch LBP- und HOG-basierte Verfahren, sowie SVMs als Klassifikatoren.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Trend zur Detektion von deformierbaren oder semi-deformierbaren Objekten geht (Posen- und Personenerkennung).

2.6 Veröffentlichungen

Im Zuge des Projekts entstanden vier Studienarbeiten [14], [15], [16], [17], zwei Bachelorarbeiten [14], [30] und eine Diplomarbeit [21].

Es gab einen Artikel im Magazin *FH-Rundschau* der Fachhochschule Kaiserslautern [38] sowie einen Konferenzbeitrag bei der Tagung: *18. Workshop Farbbildverarbeitung* in Darmstadt [22].

Außerdem wurde das Projekt 2012 auf der *Hannovermesse* am Gemeinschaftsstand des Landes Rheinland-Pfalz präsentiert.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kamerabestücktes Erfassungsfahrzeug der Stradis GmbH.....	5
Abbildung 2: ToolIP - Tool for Image Processing.....	7
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Auswertung.....	9
Abbildung 4: Farbtransformation RGB nach HSI.....	11
Abbildung 5: Ergebnis der Farbdetektion an einem Beispielbild.....	11
Abbildung 6: Die verschiedenen Haar Features (Masken).....	12
Abbildung 7: a) Ausgangsbild b) resultierendes Integralbild.....	12
Abbildung 8: Kaskade aus strong classifiern.....	13
Abbildung 9: Mehrfachdetektion von Tempo 50 und Tempo 80 Schild.....	13
Abbildung 10: Baumartige Anordnung der Klassifikatoren.....	14
Abbildung 11: Laufzeit sequenzieller, paralleler und als Baum strukturierter Suche in Abhängigkeit von der Anzahl gesuchter Verkehrszeichen.....	14
Abbildung 12: Berechnung des LBPs eines Pixels.....	15
Abbildung 13: Vergleich der Detektionsraten von LBP und Haar Features.....	15
Abbildung 14: Schematische Darstellung der Bestimmung des HOG-Feature-Vektors.....	16
Abbildung 15: Schematischer Ablauf der gesamten Auswertepipeline.....	16
Abbildung 16: Beispielbilder der Trainingsdaten des GTSRB.....	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Finanzierungsplan.....	9
Tabelle 2: Inventarverzeichnis/Geräteliste.....	9
Tabelle 3: Das entwickelte Verfahren (HOG+SVM) im Vergleich zu den besten Ergebnissen des GTSRB.....	18

Literaturverzeichnis

- [1]: DaimlerChrysler, *Hierarchisch aufgebaute Klassifikation* ,US6801638B1/04
- [2]: DaimlerChrysler, *Reine Formerkennung und hierarchische Klassifikation* ,US6556692B1/03
- [3]: Bosch, *Einsatz von Stereokameras zur Umfelderkennung* ,EP1028387A2/00
- [4]: Matsuhita, *Farbbasierte Erkennung durch Standard-Bildverarbeitungs-Verfahren* ,US6859546B2/05
- [5]: Accenture, *Differenzerkennung bei Bildfolgen* ,US7058206B1/06
- [6]: University of Connecticut, *FFT-basierte Filter, Korrelationsverfahren Kombination mit anderen Verfahren, Wavelets* ,US7068844B1/06
- [7]: S. Didas, J. Weickert, B. Burgeth, *Properties of higher order nonlinear diffusion filtering* Journal of Mathematical Imaging and Vision, Vol. 35, pp. 208-226,2009
- [8]: Florack, J. Weickert, *A generic approach to diffusion filtering of matrix-fields* Computing, Vol. 81, pp. 179-197,2007
- [9]: G. Steidl, S. Didas, J. Neumann, *Splines in higher order TV regularization* International Journal of Computer Vision, Vol. 70, No. 3, pp. 241-255,2006
- [10]: O. Wirjadi, Y.-J. Kim, T. Breuel, *Spatial Statistics for Tumor Cell Counting and Classification* Proceedings of the 31st DAGM Symposium, pp. 492-501,2009
- [11]: O. Wirjadi, T. Breuel, *A Branch and Bound Algorithm for Finding the Modes in Kernel Density Estimates* International Journal of Computational Intelligence and Applications, 8(1), pp. 17-35,2009
- [12]: H. Stephani, M. Herrmann, K. Wiesauer, S. Katletz, B. Heise, *Enhancing The Interpretability of Terahertz Data Through Unsupervised Classification* Proceedings of the XIX IMEKO World Congress, pp. 2329-2334,2009
- [13]: A. de Vries, *Offline Verkehrszeichenerkennung für Geoinformationssysteme* Diplomarbeit, FH Oldenburg/ Ostfriesland/ Wilhelmshafen, Fachbereich Informatik,2008
- [14]: Dorothea Steinhauer, *Studienarbeit: Farbsegmentierung bei Verkehrszeichen* Fachhochschule Kaiserslautern,2011
- [15]: Marco Blauth, *Studienarbeit: Verkehrszeichendetektion in Bildsequenzen basierend auf dem Viola-Jones Verfahren* fachhochschule Kaiserslautern,2011
- [16]: Viktor Truderung, *Studienarbeit: Implementierung einer Statistik im Umfeld einer Auditierung* Fachhochschule Kaiserslautern,2011
- [17]: Oliver Montibeler, *Studienarbeit: Entwicklung von Bildverwaltungstools mit Python* Fachhochschule Kaiserslautern,2012
- [18]: Dorothea Steinhauer, *Bachelorarbeit: Klassifikation von Verkehrszeichen basierend auf Farb- und Forminformation* Fachhochschule Kaiserslautern,2011
- [19]: OpenCV, <http://www.opencv.org> ,
- [20]: ToolIP, <http://www.itwm.fraunhofer.de/abteilungen/bildverarbeitung/oberflaecheninspektion/toolip.html> ,

- [21]: Viktor Truderung, *GPS-unterstützte Verortung von Objekten des Straßenraums* Fachhochschule Kaiserslautern,2012
- [22]: M. Blauth, E. Kraft, F. Hirschenberger, M. Böhm, *Large-Scale Traffic Sign Recognition based on Local Features and Color Segmentation* Tagungsband: 18. Workshop Farbbildverarbeitung, TU-Darmstadt,2012
- [23]: Erlang, <http://www.erlang.org> ,
- [24]: Paul Viola, Michael Jones, *Robust Real-time Object Detection.* ,2001
- [25]: Timo Ojala, Matti Pietikäinen, David Harwood, *Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions.* Proceedings of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition,1994
- [26]: Shengcai Liao, Xiangxin Zhu, Zhen Lei, Lun Zhang und Stan Z. Li., *Learning Multiscale Block Local Binary Patterns for Face Recognition.* International Conference on Biometrics,2007
- [27]: Navneet Dalal und Bill Triggs. , *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection* Proceedings of IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition , 2005
- [28]: Navneet Dalal, *Finding People in Images and Videos* PhD Thesis. Institut National Polytechnique de Grenoble,2006
- [29]: German Traffic Sign Recognition Benchmark, <http://benchmark.ini.rub.de> Ruhr Universität Bochum,
- [30]: Marko Blauth, *Detektion und Klassifikation von Verkehrszeichen in Bildsequenzen basierend auf Farb- und Formmerkmalen* Bachelorarbeit: Fachhochschule Kaiserslautern,2012
- [31]: Ruhr Universität Bochum, <http://benchmark.ini.rub.de/?section=gtsdb&subsection=news> ,
- [32]: Lubomir Bourdev, Jitendra Malik, *Poselets: Body Part Detectors Trained Using 3D Human Pose Annotations* ICCV,2009
- [33]: Lubomir Bourdev, Subhransu Maji, Thomas Brox, Jitendra Malik, *Detecting People Using Mutually Consistent Poselet Activations* ECCV,2010
- [34]: Lubomir Bourdev, Subhransu Maji, Jitendra Malik, *Describing People: Poselet-Based Approach to Attribute Classification* ICCV,2011
- [35]: P. Felzenszwalb, R. Girshick, D. McAllester, *Cascade Object Detection with Deformable Part Models* CVPR,2010
- [36]: R. Girshick, P. Felzenszwalb, D. McAllester, *Object Detection with Grammar Models* Neural Information Processing Systems,2011
- [37]: R. Girshick, *From Rigid Templates to Grammars: Object Detection with Structured Models* Ph.D. dissertation, The University of Chicago,2012
- [38]: Falco Hirschenberger, *Forschen für Verkehrssicherheit AEROS* Fachhochschule Kaiserslautern,2012