

# **Diplomarbeit**

Studiengang Umweltschutztechnik – Vertiefungsrichtung Verkehr

Thema:

**Verkehrsdatenerfassung mit Videotechnik zur Immissionsmodellierung –  
Experimentelle Untersuchung an der Heilbronner Straße**

Eingereicht von:

cand. Ing. Martin H. O. Ruhé  
Herschelstraße 16c  
70565 Stuttgart

Betreuer:

Institut für Straßen und Verkehrswesen  
Prof. Dr. R. D. Kühne  
Dipl.-Ing. J. Schubert

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Kurzfassung</b> .....	1
<b>2 Einleitung</b> .....	3
2.1 Hintergrund .....	3
2.2 Methodisches Vorgehen .....	4
2.2.1 Projektkoordination .....	4
2.2.2 Ablaufplan.....	6
<b>3 Literatur und Forschung</b> .....	9
3.1 Verkehrsdatenerhebung .....	9
3.2 Automatische Bildverarbeitung.....	11
3.3 Videotechnologie und Statistik .....	13
<b>4 Messstation</b> .....	15
4.1 Komponenten .....	15
4.1.1 System.....	15
4.1.2 Kamera 1 .....	16
4.1.3 Kamera 2.....	17
4.1.4 Frame-Grabber .....	18
4.1.5 Rechner .....	18
4.1.6 Recorder .....	19
4.2 Untersuchungsstandort .....	19
4.3 Aufbau und Betreuung der Station .....	22
4.3.1 Aufbau.....	22
4.3.2 Betreuung .....	25
4.4 Kameraeinstellung.....	25
4.4.1 Blickrichtung .....	25
4.4.2 Bildausschnitt .....	26
<b>5 Untersuchung</b> .....	33
5.1 Bildauswertung.....	33
5.2 Programm.....	36
5.3 Datensätze .....	36
<b>6 Plausibilitätsprüfung</b> .....	39
6.1 Voruntersuchung .....	39
6.2 Software .....	43
6.2.1 Voraussetzungen .....	43
6.2.2 Fahrzeugverhalten.....	45
6.3 Hardware.....	46
6.4 Auswertung .....	50
6.4.1 Einleitung .....	50
6.4.2 Korrelation Verkehrsdaten – Immissionsdaten .....	53
<b>7 Diskussion und Ausblick</b> .....	55
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	57
<b>Anhang</b> .....	59

## Abbildungsverzeichnis

ABB.1: Ablaufplan der Diplomarbeit .....	7
ABB.2: Aufbau und Funktion eines pneumatischen Verkehrsdatenerfassungssystems .....	10
ABB.3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus .....	15
ABB.4: Kamera Sony, FCB-IX470P .....	16
ABB.5: Kamera Sony, SSC-DC50 AP, Objektiv optional .....	18
ABB.6: Untersuchungsstandort mit Messstrecke und Messwagen .....	21
ABB.7: Konstruktiosskizze der Kamerahalftung .....	23
ABB.8: Befestigung beider Kameras auf einem Träger .....	24
ABB.9: Seitliche Verdeckung von einem Pkw durch einen Lkw .....	27
ABB.10: Verdeckung der Messlinien .....	27
ABB.11: Seitliche und vertikale Verdeckung schematisch dargestellt .....	28
ABB.12: Die Auflösung eines Bildes an verschiedenen Stellen .....	29
ABB.13: Straßenraum der Heilbronner Straße im Bereich der Messstrecke .....	30
ABB.14: Kreuzungsbereich Heilbronner Straße Siegle Straße .....	31
ABB.15: Messstrecke bei Nacht, aufgenommen ohne IR-Modus .....	32
ABB.16: Unterschied der Grauwertübergänge und der Farbübergänge .....	33
ABB.17: Ergebniszeile der AVE-Dateien .....	37
ABB.18: Schematische Darstellung der projizierten Fahrzeuglänge .....	37
ABB.19: Vergleich der Kameras, Anzahl Kfz nach Fahrspuren .....	42
ABB.20: Grafische Darstellung der Zeitachsen von und nach der Korrektur .....	43
ABB.21: Kfz-Anzahl nach Fahrspuren und Tageszeit .....	45
ABB.22: Mittlere Geschwindigkeiten nach Fahrspuren, Kamera FCB-IX470P .....	47
ABB.23: Mittlere Geschwindigkeiten nach Fahrspuren, Kamera SSC-DC50AP .....	48
ABB.24: Messstrecke bei Nacht, aufgenommen mit IR-Modus .....	49
ABB.25: Grafische Darstellung der Varianzen der Fehlerterme .....	51
ABB.26: Grafische Darstellung von NOx-Immissionskonzentrationen und Verkehrsstärke .....	53



### 1 Kurzfassung

Aus dem Jahre 1989 stammen die ersten Versuche mit Hilfe von Computern aus Videosequenzen bestimmter Straßenverkehrsszenen Informationen über jedes einzelne Fahrzeug zu extrahieren. Heute, 11 Jahre danach befindet sich ein Programm auf dem Markt, welches den Anspruch erhebt, mit eingeführten Systemen zur Verkehrsdatenerfassung, wie z.B. der Induktionsschleife, in Konkurrenz treten zu können. Da die DaimlerChrysler AG für verschiedene Untersuchungen detaillierte Informationen über das Fahrverhalten des Fahrzeugkollektivs unter verschiedenen Randbedingungen benötigt, ist sie an einem zuverlässigen System zur Verkehrsdatenerfassung interessiert. Der Inhalt dieser Diplomarbeit ist es, solch ein System zu testen und gegebenenfalls weiterführende Wege der Systemverbesserung aufzuzeigen. Dabei bildet das Herzstück des Systems das speziell zur Verkehrsdatenerfassung entwickelte Bildauswertungsprogramm ViVA-traffic der Firma GVA, Gesellschaft für Verkehrsanalyse mbH. Um die für dieses Vorhaben optimalen Hardware-Komponenten auswählen zu können, wurden die beiden Firmen SONY und die Firma CCP Camera Components zur Unterstützung hinzugezogen. In dieser Diplomarbeit wurden für den Versuchsaufbau als Kamera die Modelle FCB-IX470P und SSC-DC50 AP der Firma SONY verwendet. Als Bilddatenspeicher kamen der DV-Recorder DSR-30P und der Hi-8 Videowalkman GV-A500E, ebenfalls Produkte des Hauses SONY, zum Einsatz. Unter vier möglichen Standorten wurde für die Durchführung der Versuche in Stuttgart ein Abschnitt der Heilbronner Straße gewählt. Die Messstrecke liegt zwischen dem Pragsattel und der Stadtbahnhaltestelle Siegle Straße. Die Kamera wurde dabei auf dem Dach des Landesamtes für Straßenwesen installiert.

Nach verschiedenen Voruntersuchungen wurde der hohe Betreuungsaufwand, der für den Versuchsaufbau nötig war, deutlich. In Zusammenarbeit mit der Entwicklungsfirma GVA wurde daraufhin eine Programmänderung durchgeführt. Von diesem Zeitpunkt an, wurde die Helligkeits- und Kontrastangleichung des auszuwertenden Bildes in vorgegebenen Zeitintervallen automatisch durchgeführt.

Da die Datensätze der erhobenen Verkehrsdaten Fehler aufwiesen, musste eine umfangreiche Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden. Durch zwei extra dafür entwickelte Konvertierungsprogramme konnten die Fehler beseitigt werden. Die Bilder, die von den Kameras in den Nachtstunden erzeugt wurden, konnte das Programm ViVA-traffic nur sehr schwer auswerten. Die Fahrzeuganzahl entsprach dabei noch den durch manuelle Zählungen ermittelten Sollwerten. Die Fahrkurven der in der Nacht detektierten Fahrzeuge konnten nicht ausgewertet werden. Ein speziell dafür entwickeltes Programm konnte aus den Rohdaten von ViVA-traffic die Fahrkurven der einzelnen Fahrzeuge darstellen. Durch dieses Programm konnte deutlich gezeigt werden, dass man aus den nachts erzeugten Fahrkurven nicht auf das Verhalten der Fahrzeuge schließen kann.

Tagsüber konnte man mit einem statistischen Verfahren die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Halbstundenwerte für Geschwindigkeit und Beschleunigung ermitteln.

## 1. Kurzfassung

Es besteht diesbezüglich demnach noch einiger Entwicklungsbedarf. Drei mögliche Richtungen könnten dabei verfolgt werden. Zum einen müsste die Qualität der Kameras verbessert werden, vor allem der auftretende Blooming-Effekt führt zu Fehlmessungen. Die zweite Möglichkeit besteht darin, im Spektralbereich von für den Menschen sichtbarem Licht, bis hin zu infrarotem Licht die Kameras einzusetzen und mit Infrarotscheinwerfern die Szene, für den Menschen unsichtbar, auszuleuchten. Den dritten möglichen Lösungsweg bildet ein spezieller Algorithmus, der die in den Nachtstunden aufgenommenen Sequenzen besser auswerten kann.



## 2 Einleitung

### 2.1 Hintergrund

Für die automatisierte Erhebung von Verkehrsdaten bietet sich eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten an. So werden Verkehrsplanung und Verkehrslenkung in Zeiten knapper Kassen und stetig steigender Verkehrszahlen immer wichtiger. Der Straßenneubau ist dem Straßenausbau und der Straßenmodernisierung gewichen. Der zunehmende Verkehr kann nur durch eine effizientere Nutzung und bessere Auslastung des vorhandenen Straßennetzes bewältigt werden. Das sind die wesentlichen Ziele der modernen Straßenverkehrsplanung. Voraussetzung für eine funktionierende Verkehrsplanung und eine sinnvolle Leitung der Verkehrsströme, ist eine sowohl zeitlich umfassende, als auch flächendeckende Erhebung von Verkehrsdaten. Modellierungen von Verkehrsaufkommen, Steuerungen von Lichtsignalanlagen, Überwachung von Sonderbauwerken des Straßenverkehrs und großräumige Entzerrung von verkehrlichen Ballungszentren sind nur einige Einsatzgebiete von automatisch erhobenen Verkehrsdaten.

Verkehrsstärke, Verkehrsdichte, Verkehrsgeschwindigkeit, Zeitlücken und das Fahrzeugkollektiv sind die Größen, die dabei hauptsächlich von Interesse sind und erhoben werden müssen. Die am häufigsten eingesetzte Technologie zur Erhebung von Daten aus dem Straßenverkehr besteht aus einer, in die Fahrbahndecke eingelegten Leiterschleife mit angeschlossenem Detektor, die sog. Induktionsschleife. Daneben gibt es verschiedene Systeme, wie Radar- oder Druckschlauch-Detektoren. Diese werden aufgrund von verschiedenen Nachteilen nur noch für Kurzzeitmessungen eingesetzt [ 1]. Die Induktionsschleife stellt den momentanen Stand der Technik dar und ist somit das System, an dem alle Neuentwicklungen gemessen werden müssen.

Dass die Videotechnologie einen immer größeren Einfluss im Verkehrswesen gewinnt, liegt nicht zuletzt an den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der damit entwickelten Systeme. In einer 1998 von der Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlichten Studie über den Einsatz von Videotechnologie im Straßenwesen [Heck 98], sahen die befragten Kommunen mehrere Einsatzmöglichkeiten. Neben der bereits realisierten Videoüberprüfung von Kanalsystemen und dem schon weit verbreiteten „Monitoring“ tritt vor allem die Visualisierung von Projekten in den Vordergrund. — Beim Monitoring wird das Bild des überwachten Straßenabschnitts in der Verkehrsleitzentrale nur auf einem Monitor visualisiert. Eventueller Handlungsbedarf kann nur vom Personal eingeleitet werden. — Bei nur sieben von neunzehn der befragten Kommunen ist ein Einsatz von automatisierter Videotechnik bei der Erhebung von Verkehrsdaten „zukünftig denkbar“. Dabei können auch der Zustand der Fahrbahn und des Umfeldes dokumentiert werden. Auch Überwachung von Sonderbauwerken des Straßenverkehrs, vor allem Straßentunnel, werden immer häufiger mit Hilfe von Videotechnologie

---

<sup>1</sup> Im Kapitel Technikvergleich wird auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme eingegangen.

## 2. Einleitung

überwacht. Es sind auch projizierte Wechselverkehrszeichen denkbar, um nur einige Einsatzfelder der Videotechnologie im Straßenverkehr zu nennen.

Die DaimlerChrysler AG benötigt im Rahmen verschiedener Projekte Verkehrsdaten. Deshalb beschäftigt sich die Abteilung FT4/TU mit der Entwicklung eines Systems zur Verkehrsdatenerfassung. Dieses System soll die vielfältigen Vorteile der Videotechnologie nutzen.

Anfang der Neunziger wurden die ersten Systeme vorgestellt [Schweig 94], die durch automatisierte Bildauswertung, Verkehrsdaten aus Videoaufzeichnungen des zu untersuchenden Straßenraumes erhoben. Wenn man der Frage nachgeht, was sich in dieser Zeit getan hat, so ist die Weiterentwicklung der Computerhardware, vor allem die Entwicklung leistungsfähiger Prozessoren und dem damit verbundenen Preisverfall, die entscheidendste Änderung. Dadurch ließen sich die Ansätze [2] der einzelnen Softwareentwickler in marktfähige Systeme umsetzen und können jetzt mit der Induktionsschleifen-Technologie in Konkurrenz treten.

Die vorliegende Diplomarbeit wird ein System zur automatischen Erfassung von Straßenverkehrsdaten mit Videotechnologie vorstellen und zeigen, dass es mit dem heutigen Stand der Technik, mit der Induktionsschleife, durchaus konkurrieren kann und darüber hinaus vielfältige Vorteile bietet. Wie das hier verwendete videogestützte Verkehrsdatenerfassungssystem aufgebaut ist, zeigt diese Diplomarbeit ebenso wie die Ansätze des verwendeten Bildauswertungsprogramms für die Verkehrsdatenerfassung. Die Ansätze anderer Bildauswertungsprogramme aus dem Bereich der Verkehrsdatenerfassung werden ebenfalls kurz vorgestellt. Untersuchungen zur Plausibilität der mit diesem System erhobenen Daten und die Auswahl der optimalen Systemkomponenten, wie Kamera oder Speichermedium, sind zentraler Teil dieser Diplomarbeit. Als eine mögliche Auswertung der so erhobenen Verkehrsdaten soll eine Korrelation zwischen Verkehrs- und Immissionsdaten gerechnet werden.

### **2.2 Methodisches Vorgehen**

#### 2.2.1 Projektkoordination

In diesem Kapitel wird eine Übersicht über den Ablauf und die verschiedenen Aufgaben dieser Diplomarbeit gegeben. Der Ablaufplan der Diplomarbeit ist in Abbildung 1 zu ersehen.

Um sich über das Themengebiet der automatischen Bildauswertung und der damit angestrebten Verkehrsdatenerfassung einen Überblick verschaffen zu können, stand am Anfang dieser Diplomarbeit eine Literaturrecherche zu den Begriffen „Verkehrsdatenerfassung“, „Videotechnologie“ und „automatische Bildauswertung“. Die in der Arbeit erhobenen Daten werden auf ihre Plausibilität hin untersucht. Dazu bedarf es verschiedener statistischer Verfahren. Um in diesem Bereich eine Übersicht zu erlangen, wurde auch hier eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Entscheidung darüber, mit welchem Bildauswertprogramm das System in dieser Diplomarbeit entwickelt werden

---

<sup>2</sup> Die Ansätze werden im Kapitel 4 „Bildauswertung“ im einzelnen erläutert.

soll, wurde schon einige Zeit vor ihrem Beginn festgelegt. So waren auch schon die ersten Kontakte zum Hersteller des Programms geknüpft worden.

Die Firma GVA Gesellschaft für Verkehrs Analyse mbH ist aus dem Lehrstuhl für Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern hervorgegangen und hat die Vermarktung des Programms ViVA-traffic übernommen. Um für das System die optischen Komponenten, wie Kamera und Bilddatenspeicher auswählen zu können, wurde mit den Firmen CCP Camera Components und SONY Deutschland Kontakt aufgenommen. Welche Komponenten letztendlich aus den Empfehlungen und Angeboten zum Einsatz kamen, ist den Kapiteln 3.1.2 und 3.1.3 zu entnehmen. Die Funktionsweise der Kameras wurde erst unter Laborbedingungen getestet. Das von der Firma CCP Camera Components empfohlene Modell wurde ohne jegliches Wetterschutzgehäuse geliefert, so dass ein Einsatz im Freien unmöglich war. Aus diesem Grund wurden die ersten Untersuchungen zur Auswahl der besten Messstellen, bzw. des optimalen Kamerastandortes mit einem herkömmlichen Camcorder durchgeführt. Zeitgleich wurde das System soweit ergänzt, dass ein Einsatz im Freien bei allen Wetterbedingungen möglich wurde. Die Firma Elektro Ziegler in Stuttgart wurde dabei von SONY beauftragt, diese Ergänzungen mit Material und Know-how zu unterstützen. Die einzelnen Komponenten des Computers der Auswerteeinheit wurden von den Softwareentwicklern der Firma GVA empfohlen. Die verwendeten Frame-Grabber mussten darüber hinaus noch auf das Programm abgestimmt werden, damit eine Auswertung überhaupt möglich wurde.

Nachdem die Entscheidung über den Standort endgültig gefallen war, wurden weitere Anpassungen des Systems an die Gegebenheiten der Örtlichkeit nötig. Rechner und Recorder konnten ohne große Probleme in einem Rack aufgestellt werden. Die Überbrückung der großen Distanz zwischen der Kamera und der Aufnahme- und Auswerteeinheit wurde dabei zum Problem. Auch die Montage der Kamera brachte einige Schwierigkeiten mit sich, da die Fassade des betreffenden Gebäudes unter keinen Umständen beschädigt werden durfte. Die Lösungen dieser Aufgaben sind in Kapitel 3.3.1 dargestellt.

Von dem gewählten Kamerastandpunkt auf dem Dach des Landesamtes für Straßenwesen kann die Heilbronner Straße auf eine längere Strecke gut eingesehen werden. Welchen Bildausschnitt die Kamera tatsächlich erfassen soll, hängt von verschiedenen Umständen ab. Da der Kamerastandort an sich nur einen Kompromiss verschiedener Anforderungen des Programms und der Technik darstellt, ist die Wahl des Bildausschnittes von besonderer Bedeutung. Verdeckungen durch Fahrzeuge oder Gebäude spielen dabei ebenso eine große Rolle, wie die bestmögliche Auflösung der Abbildung auf dem Bildschirm bzw. im Rechner. Welcher Bildausschnitt aus welchen Gründen gewählt wurde, ist in Kapitel 3.4.2 im einzelnen erläutert.

Nachdem die Phase des Versuchsaufbau zum größten Teil abgeschlossen war, konnten die ersten Tests durchgeführt werden. Dabei stand die Frage im Vordergrund, welche der beiden Kameras besser für das Verkehrserfassungssystem geeignet ist. Unabhängig vom Ergebnis dieser Tests wurden die Kameras während des größten Teils der Diplomarbeit parallel eingesetzt.

## 2. Einleitung

Nachdem der Versuchsaufbau soweit getestet war, wurde mit der Erhebung und Aufzeichnung der Verkehrsdaten begonnen. Die vorangegangenen Tests hatten gezeigt, dass vor allem das Programm der Bildauswertung eine intensive Betreuung erforderlich macht. So wurde die Station jeden Morgen und jeden Abend kontrolliert. Darüber hinaus wurden die erhobenen Daten alle zwei bis drei Tage gesichert, und auf Fehler hin überprüft.

In diesem Zeitraum wurde auch wieder Kontakt zu den Softwareentwicklern von GVA aufgenommen, da verschiedene Erkenntnisse aus dem intensiven Umgang mit dem Programm Änderungen sinnvoll erscheinen ließen. Durch diese intensive Zusammenarbeit konnte eine Programmänderung schon in der Phase der Datenerhebung umgesetzt werden (siehe dazu auch Kapitel 4.2).

Die regelmäßige Kontrolle der erhobenen Verkehrsdaten zeigte bald, dass eine Aufbereitung der Daten nötig war. Bevor überhaupt eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden konnte, musste ein Verfahren entwickelt werden, mit dessen Hilfe das vom Bildauswerteprogramm ViVA-traffic gelieferte Ergebnis nachvollzogen werden konnte. Das Programm ist so aufgebaut, dass die ermittelten Daten nur durch zeitgleich durchgeführte Zählungen geprüft und verifiziert werden konnten. Der Hersteller des Programms ermöglichte es, dass die Daten, welche direkt aus den Bildern gewonnen werden und aus denen ViVA-traffic intern Fahrzeuganzahl und Geschwindigkeiten ermittelt, auch für diese Diplomarbeit genutzt werden konnten. Es handelt sich dabei um die Rohdaten: zweidimensionale Ortskoordinaten, ergänzt um die Erfassungszeit für jedes detektierte Objekt. Das genaue Format ist in Kapitel 4.3 beschrieben und im Anhang dargestellt.

Auf der Basis dieser Daten wurde schon vor Beginn dieser Diplomarbeit an einer Darstellung der Fahrkurven der detektierten Kraftfahrzeuge gearbeitet. Allerdings war dieses Programm nur dazu geeignet, einige wenige Fahrkurven darzustellen. Herr Alexander Berreth entwickelte aus dieser Idee ein Programm, mit dessen Hilfe beliebig viele Fahrkurven dargestellt werden konnten. In dieser Diplomarbeit wurde es derart ergänzt, dass erste statistische Informationen mit den Kurven ausgegeben werden konnten. Parallel dazu wurde ein zweites Programm entwickelt, das aufgrund verschiedener Regelmäßigkeiten in den Datensätzen auftretende Fehler korrigieren kann. Durch dieses Programm konnten große Teile der Datensätze rekonstruiert werden, so dass die Fahrkurven dargestellt werden konnten. Die Prüfung auf Plausibilität erwies sich als äußerst kompliziert und aufwendig, sie ist im Kapitel 5 eingehend beschrieben. Die Untersuchung, ob es einen Zusammenhang zwischen Immissionsdaten, erhoben am Straßenrand des Untersuchungsstandortes, und Geschwindigkeits- oder Beschleunigungswerten gibt, wurde exemplarisch durchgeführt. Mit der Darstellung der Ergebnisse und einem Aufzeigen weiterer Entwicklungsmöglichkeiten wurden die praktischen und theoretischen Teile dieser Diplomarbeit abgeschlossen.

### 2.2.2 Ablaufplan

Der Ablauf der Diplomarbeit ist in Abbildung 1 dargestellt. Die einzelnen Schritte der Aufgaben dieser Diplomarbeit wurden in zehn Arbeitspakete (AP) unterteilt.

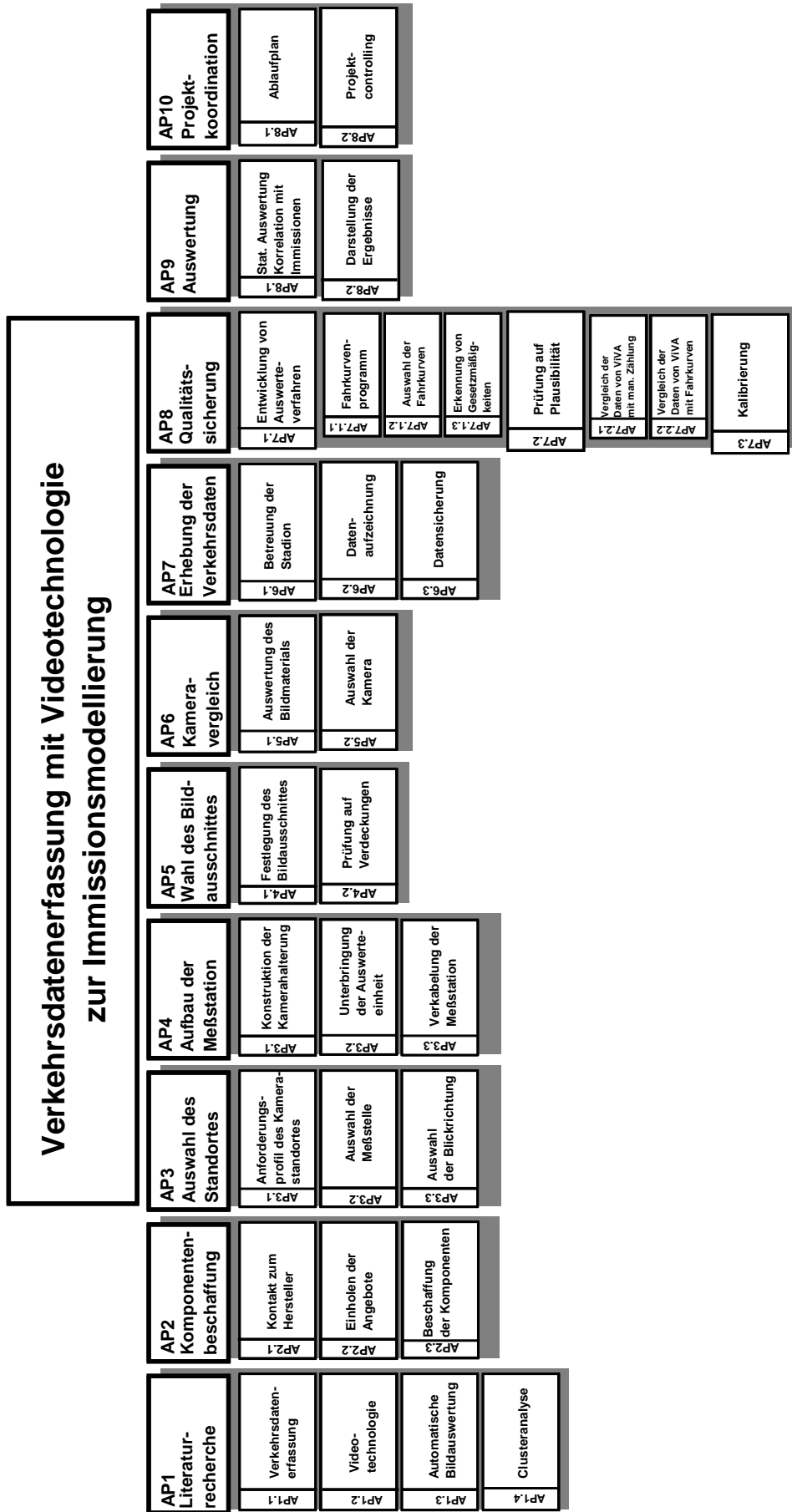


Abb.1: Ablaufplan der Diplomarbeit

## 2. Einleitung

### 3 Literatur und Forschung

Dieses Kapitel gliedert sich in die vier Gebiete der Literaturrecherche „Verkehrsdatenerhebung“, „automatische Bildverarbeitung“, „Videotechnologie und Statistik“.

#### 3.1 Verkehrsdatenerhebung

In diesem Abschnitt sollen einige Systeme zur Erhebung von Verkehrsdaten vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile kurz aufgezeigt werden. Da sich zahlreiche physikalische Gesetze zur Erfassung von Fahrzeugen eignen, gibt es auch viele verschiedene Erfassungsprinzipien. Nach diesen Prinzipien können die einzelnen Systeme klassifiziert werden: Berührungs-Detektoren, Schallfeld-Detektoren, elektromagnetische Stationärfeld-Detektoren und elektromagnetische Strahlungsfeld-Detektoren. Stellvertretend für diese Fülle von Systemen, die im Laufe der Zeit entwickelt wurden, wird hier aus jeder Klasse jeweils nur ein System vorgestellt; die anderen sind in entsprechenden Literaturstellen (z.B. in: [Markovic 96]) eingehend beschrieben.

#### Induktionsschleife

Die Induktionsschleife mit angeschlossenem Detektor entspricht dem Stand der Technik und wird deshalb an erster Stelle genannt. Sie gehört in die Gruppe der elektromagnetischen Stationärfeld-Detektoren. Dieser Sensor besteht im wesentlichen aus zwei Teilen: Einer in die Fahrbahndecke eingelegte Induktionsschleife und einem angeschlossenem Detektor, der die erzeugten Signale interpretiert und in Daten ablegt (siehe auch [Lapierre 72]).

Die sog. Spule ist eine von Wechselstrom durchflossene Leiterschleife, die aus ein bis drei Windungen besteht. Der in dieser Schleife fließende Strom erzeugt um den Leiter ein elektromagnetisches Feld, das durch bewegte Massen verändert werden kann. Fahren Kraftfahrzeuge über eine Spule hinweg, so werden metallische Massen in diesem Feld bewegt, die den Verlauf des Magnetfeldes verändern. Dadurch wird in der Induktionsschleife eine Impedanzänderung erzeugt, die gemessen werden kann und durch den Detektor in Daten umgewandelt wird.

Wurde zu Beginn der Schleifenentwicklung die Änderung an sich detektiert und damit das Fahrzeug gezählt, so ist heute die Art der Änderung von Bedeutung: Trägt man die Spannung  $u$  über der Zeit  $t$  auf, ergeben sich charakteristische Verläufe, an denen die Art des Fahrzeuges erkannt wird. So kann ein LKW von einem Bus dadurch unterschieden werden, daß die große Masse des Motors vorne, bzw. am Ende des Fahrzeugs zu einer signifikanten Änderung des Spannungsverlaufs führt.

Diese Tatsache ermöglicht neben den Bestimmungen von Momentangeschwindigkeit und Fahrzeugdichte eine Klassifizierung der Signale in verschiedene Fahrzeugklassen. Neben dem einfachen Aufbau und der Wartungsfreiheit des Systems gibt es aber auch verschiedene Probleme, die dieses physikalische Prinzip mit sich bringt:

### 3. Literatur und Forschung

Die erhobenen Daten sind alle ortsbezogen, d.h. die Verkehrsdaten können nur an einer sehr begrenzten Stelle erhoben werden. Möchte man die Geschwindigkeit in einem Streckenabschnitt bestimmen, so muss das Muster der verschiedenen Einzelsignale wiedergefunden werden [Böker 84]. Das damit erzielbare Ergebnis geht nicht über eine ungefähre Durchschnittsgeschwindigkeit hinaus. Die Installation dieses Verkehrsdatenerfassungssystems birgt weitere Probleme: so muss die Straße für den Verkehr längere Zeit gesperrt werden, was in der Regel zu erheblichen Verkehrsbehinderungen führen kann. Wenn so ein System erst einmal installiert ist, kann es nicht mehr entfernt oder an anderer Stelle eingesetzt werden; es eignet sich also nicht zum kurzzeitigen Einsatz. Man kann zwar Schleifen aus sehr einfachen Mitteln herstellen [Bark 90], die für eine begrenzte Dauer Daten liefern, aber auch diese sind nach ihrem Einsatz zerstört. Es sind damit also keine kurzfristigen Nachuntersuchungen möglich.

#### Druckschlauch

Der Druckschlauch ist ein älteres Verkehrsdatenerfassungssystem und vertritt hier die Klasse der Berührungs-Detektoren. Dieses pneumatische Verkehrserfassungssystem funktioniert nach einem recht einfachen Prinzip: Es wird ein Schlauch quer über die Straße gelegt und an einem Ende luftdicht verschlossen. Am anderen Ende dieses Schlauchs wird eine Membran angebracht.

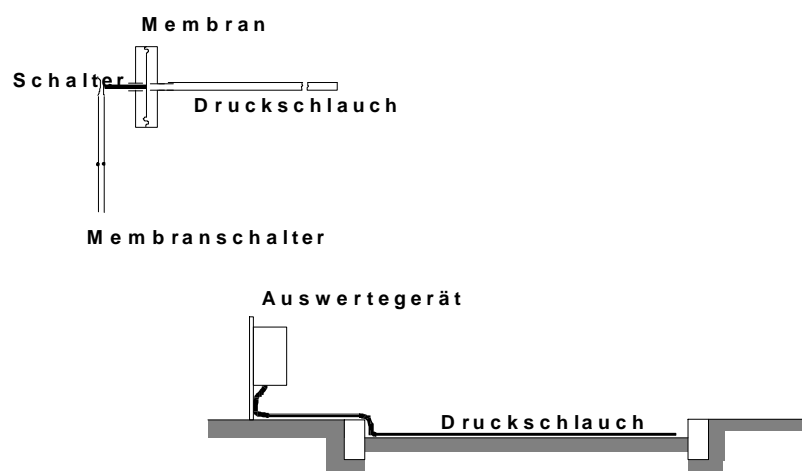


Abb.2: Aufbau und Funktion eines pneumatischen Verkehrsdatenerfassungssystems

Fährt nun ein Fahrzeug über den Schlauch, so wird der Druck in diesem Schlauch erhöht und die Membran beult sich nach außen aus. Mit einem Wegaufnehmer an dieser Membran kann man die Bewegungen der Membran und damit die Achsen der Fahrzeuge zählen. Darin liegt auch der größte Kritikpunkt: Da es auch drei- und mehrachsige Fahrzeuge gibt, macht man einen nicht unerheblichen Fehler, wenn für jedes Fahrzeug zwei Achsen angenommen werden. Es können aber mit Hilfe eines modernen Signalwandlers, in einem begrenzten Rahmen, auch Geschwindigkeiten ermittelt und die Fahrzeuge klassifiziert werden [Inst. Straßen und Verkehrswesen 94]. Das Material der pneumatischen Schwelle hält der Belastung durch die darüber fahrenden Kraftfahrzeuge nicht sehr lange stand, so dass sich dieses System nicht für eine Langzeitmessung bzw. Dauerzählstelle eignet.

### Ultraschalldetektor

Man nennt dieses Prinzip — im Unterschied zum passiven Schalldetektor, einem Mikrofon, das die Schallabstrahlung eines Fahrzeuges registriert — auch aktiver Schalldetektor. Er gehört, wie der Name andeutet, der Klasse der Schallfeld-Detektoren an. Es handelt sich dabei um einen Ultraschallgenerator, der einen Schallimpuls auf die Fahrbahnoberfläche wirft. Dieser Schallimpuls wird nach einer bestimmten Laufzeit von der Fahrbahnoberfläche reflektiert und in einem Empfänger registriert. Die Unterschiede in der Laufzeit sind ein Zeichen dafür, ob gerade ein Fahrzeug anwesend ist oder nicht. Durch die unterschiedliche Höhe der Fahrzeuge entstehen unterschiedliche Laufzeiten, wodurch eine grobe Klassifikation der Fahrzeuge erreicht werden kann. Für Geschwindigkeitsmessungen benötigt man einen weiteren Sensor, der in Fahrtrichtung in definiertem Abstand hinter dem ersten angeordnet ist.

### Radardetektor

Dieser Detektor funktioniert nach dem physikalischen Prinzip der elektromagnetischen Strahlungsfeld-Detektoren. Es handelt sich in diesem Fall um den sog. Dopplereffekt. Treffen Wellen aller Art — hier sind es elektromagnetische Wellen — auf ein sich bewegendes Objekt, an welchem sie reflektiert werden, ergibt sich ein Frequenzunterschied zur Abstrahlfrequenz. Dieser Frequenzunterschied ist proportional zur Geschwindigkeit, mit der sich das Fahrzeug relativ zur Sende- und Empfangseinheit bewegt. Ob stehende Fahrzeuge von der Umgebung unterschieden werden können, hängt von dem einzelnen Gerätetyp ab.

Das in dieser Diplomarbeit getestete System, der Detektion mit Videokamera und Bildauswertungsprogramm ist im weitesten Sinne ein Licht-Detektor und gehört somit zu den elektromagnetischen Stationärfeld-Detektoren. Damit soll die Betrachtung der vorhandenen Verkehrsdatenerhebungssysteme abgeschlossen werden. Detaillierte Beschreibungen verschiedenster Systeme können [Markovic 96, Lapierre 72] entnommen werden. Speziell mit der Induktionsschleife befassen sich [Bark 90, Böker 84].

### **3.2 Automatische Bildverarbeitung**

Unter dem Begriff „automatische Bildauswertung“ ist eine Vielzahl unterschiedlicher Disziplinen zusammengefasst. Es wird nach den Begriffen stehendes oder bewegtes Bild unterschieden. Beim bewegten Bild gibt es die Teilbereiche der ortsfesten oder der bewegten Kamera. Daneben gibt es noch die Unterscheidung in Mono- oder Stereosehen. Bevor das Monomaschinensehen mit einer ortsfesten Kamera näher betrachtet wird, werden die anderen Begriffe in aller Kürze erklärt.

Bei der Auswertung stehender Bilder werden Bereiche im Bild mit verschiedenen Vorgaben auf Übereinstimmungen überprüft. Somit kann z.B. eine Maschine erkennen, in welcher Position ein Werkstück auf einer Werkbank liegt und ein Werkzeug entsprechend dirigieren.

### 3. Literatur und Forschung

Wird eine Kamera bewegt, gibt es keine ruhenden Bereiche in den aufgenommenen Szenen. Es bewegt sich das gesamte Bild, bewegte Objekte unterscheiden sich dabei von den stehenden Objekten nur in der Relativbewegung zur Kamera. Eine Detektion einzelner Objekte ist dabei äußerst kompliziert. Um die Lage der Objekte zueinander als weitere Information nutzen zu können, muss das Bild einer zweiten Kamera hinzugezogen werden. Befinden sich beide Kameras in einer unveränderlichen Position zueinander, spricht man von Stereosehen. Aus den Differenzen der beiden Bildern lassen sich räumliche Informationen errechnen, die zur Detektion einzelner Objekte herangezogen werden können.

Das System, wie es in dieser Diplomarbeit aufgebaut und eingesetzt wird – es ist in Kapitel 3.1 eingehend beschrieben – besteht aus einer ortsfesten Kamera. Man spricht also in diesem Fall von Monomaschinensehen.

Damit sind zwei wichtige Randbedingungen für die automatische Bildauswertung gegeben: erstens die ortsfeste, unbewegliche Kamera und zweitens nur eine Kamera und damit nur ein auswertbarer Bildausschnitt. In [Eggimann 96] wurden verschiedene Bildverarbeitungssysteme für den Straßenverkehr auf ihre Tauglichkeit hin getestet. Es handelt sich dabei um „Autoscope 2004“, ein amerikanisches Produkt, um das Staudetektionssystem „VD 90 SD“ von Grundig, um „INVIS 2.3“ der Firma Infex AG, um das französische Produkt „ARTIS ROAD“ von T2M, um das Programm „Telemat TD“ von der Siemens Albis AG, „Traficon CCIDS/CCATS“ der Taxomex AG und das zweite französische Produkt „VELEC Mercure Station“ der Firma VELVEC. Die Systeme wurden von den verschiedenen Anbietern freiwillig für Benchmarking zur Verfügung gestellt. Getestet wurden in den Aufgabengebieten Verkehrsdatenerfassung und Ereignisdetektion, wobei nur im Bereich der Verkehrsdatenerfassung Aussagen über Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messresultate gemacht wurden.

Die getesteten Systeme kann man gemäß ihren verwendeten Bildverarbeitungs-Algorithmen in zwei Gruppen einteilen: Die Produkte, welche nach dem Tripwire-Verfahren und die, die nach dem Tracking-Verfahren arbeiten. Die Verfahren werden in Kapitel XY behandelt. Bei der Ermittlung der Fahrzeugzahlen wurden doch erheblich unterschiedliche Ergebnisse erzielt, wogegen bei der Ermittlung eines mittleren Geschwindigkeitswertes sehr gute Übereinstimmung mit der Referenzmessung erreicht wurde. Die detaillierten Ergebnisse sind in [Eggimann 96] dargestellt.

In einer Studie der Virginia Transportation Research Council [Cottrell 94] wurde das Produkt „Autoscope VIDS“ als das beste Produkt betitelt. Es sind Fehler von 2-7 % bei der Detektion von Fahrzeugen beschrieben, die durch das Ergebnis der Studie [Eggimann 96] allerdings nicht bestätigt werden konnten.

Eine weitere Studie [Klein 97] hatte den Vergleich verschiedener Detektionsprinzipien zum Inhalt, videogestützte Fahrzeugdetektoren waren dabei ebenfalls im Test. In [Schweig 94] wird mit „DiVA Digitale Verkehrs-Analyse“ ein weiteres videogestütztes Verkehrsdatenerfassungssystem beschrieben.

### 3. Literatur und Forschung

Es wurde wie das in dieser Diplomarbeit verwendete System an der Universität Kaiserslautern entwickelt und stellt aller Wahrscheinlichkeit nach den Vorläufer von „ViVA-traffic“ dar.

Dass videogestützte Detektoren deutlich vielfältiger eingesetzt werden können, als in dieser Diplomarbeit vorgesehen ist, zeigen [Topp 91, Topp 96, Topp 98]. Da Unfallforschung nicht in das Themengebiet dieser Diplomarbeit gehört, sollen diese Literaturstellen nur als kleiner Exkurs am Ende dieses Abschnittes aufgeführt werden.

#### **3.3 Videotechnologie und Statistik**

Die beiden Themengebiete werden aus folgenden zwei Gründen in diesem Abschnitt zusammengefasst. Die Statistik ist ein eindeutig definiertes Themengebiet, welches in vielfältigen Standardnachschlagewerken beschrieben ist, so dass es sinnvoll ist, nur die tatsächlich verwendeten Werke zu erwähnen [Sachs 93, Sachs 84, Hartung 89, Hartung 92, Bösel 92, Bösel 94]. Bei der Videotechnologie handelt es sich um ein Gebiet, das einerseits sehr stark mit der automatischen Bildauswertung verflochten ist, und andererseits mit dem Sehen an sich in enger Beziehung steht. Es ist daher verständlich, dass sich nur sehr wenige Stellen in der Literatur [Bergmann 93] ausschließlich mit diesem Thema befassen.

### 3. Literatur und Forschung

## 4 Messstation

### 4.1 Komponenten

In diesem Kapitel wird zuerst das komplette System beschrieben, bevor auf die einzelnen Komponenten eingegangen wird. Die Abschnitte über die Wahl des Untersuchungsstandortes und der Aufbau der Messstation schließen sich an.

#### 4.1.1 System

Die einzelnen Komponenten wurden, wie in Abbildung 3 dargestellt, zu einem funktionierenden System zusammengeschaltet.

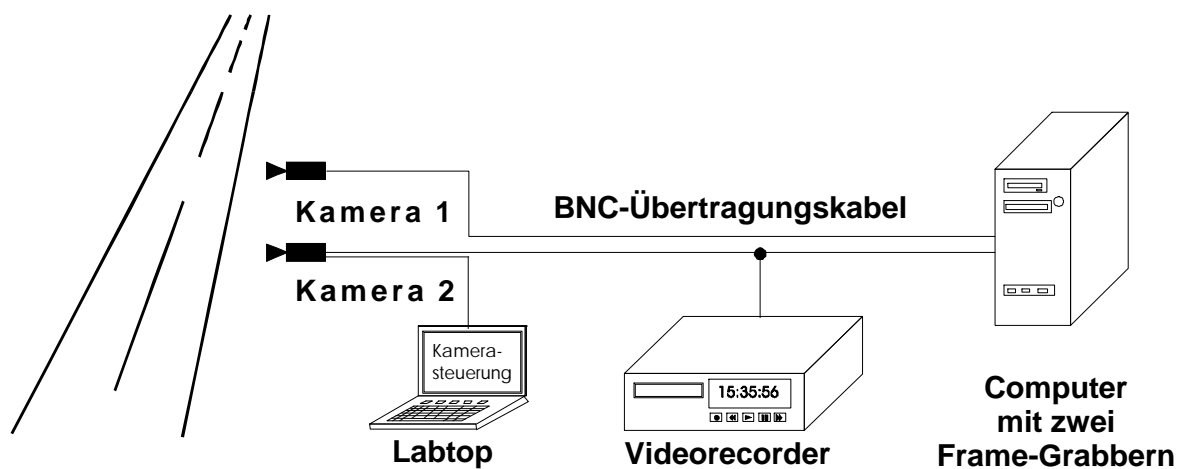


Abb.3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Die beiden Kameras wurden über je einen Frame-Grabber mit dem Computer verbunden. In jeder Signalübertragungsleitung wurde eine Verzweigung eingebaut, so dass nach Bedarf wahlweise eines der beiden Kamerasignale in den Videorecorder eingespeist werden konnte, ohne dass dabei auf die Auswertung mit dem Programm ViVA-traffic verzichtet werden musste. Der Videowalkman wurde bei Bedarf an den Digitalrecorder angeschlossen. Dadurch konnte das Steuerungsmenü des Recorders auf dem Display des Hi-8-Gerätes dargestellt werden. Dies war z.B. beim Einstellen der verschiedenen Zeiten der Timer-Funktion nötig. Der in Abbildung 3 dargestellte Laptop wurde für die Ansteuerung der Kamera 2 benötigt.

Nachfolgend werden die einzelnen Komponenten des Systems beschrieben. Für die Diplomarbeit wurden zwei Kameras auf ihre Eignung hin untersucht, auf sie soll nun näher eingegangen werden.

## 4. Messstation

### 4.1.2 Kamera 1, FCB-IX470P

Die Kamera mit der Bezeichnung „FCB-IX470P“ von SONY hat die Abmessungen von 50 x 90 x 50 mm. Sie ist nicht in einem Gehäuse untergebracht, sondern besteht nur aus verschiedenen Platinen, die ungeschützt und ohne Anschlüsse ein würfelförmiges Gerät bilden. Das Zoomobjektiv dieser Kamera hat eine Brennweite 10 bis 120 mm, eine Lichtstärke von 1: 1,4, ein Gewindedurchmesser von  $\varnothing$  37 mm und ist fest eingebaut. Einzelne Funktionen der Kamera, wie z. B. den Autofokus oder der Zoom können über Taster direkt an dem Gerät angesteuert werden. Da aber ein Wettergehäuse nötig ist, sind diese Taster verdeckt und damit nicht zu gebrauchen. Um die Funktionen weiterhin nutzen zu können, muss die Kamera über eine Standard-Schnittstelle mit Hilfe eines Computers angesteuert werden. Die dazu nötige Software mit der Bezeichnung „Fcb-47“ wurde für die Studie von der Firma Sony zur Verfügung gestellt.

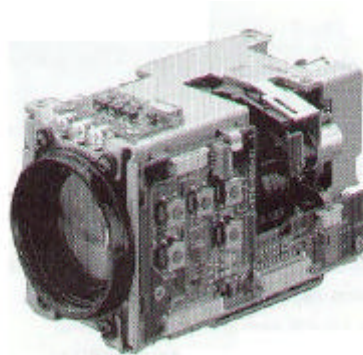


Abb.4: Kamera SONY, FCB-IX470P

Die vielfältigen Funktionen, die mit der Software Fcb-47 gesteuert werden können, sind im großen und ganzen nicht von Bedeutung und werden falls erforderlich an gegebener Stelle erklärt. Bei der Installation der Kamera wurden über die Software nur die Brennweite und die Bildschärfe eingestellt. Die Belichtungsparameter des Bildes werden bei dieser Kamera im Gegensatz zum anderen Testgerät nur über das ganze Bild berechnet. Es können also nicht einzelne Bildbereiche stärker gewichtet werden. Für den Nachtbetrieb oder an Stellen mit geringer Helligkeit gibt es die Möglichkeit der das Restlicht zu verstärken.

Die wichtigste Eigenschaft dieser Kamera ist die Empfindlichkeit des CCD-Chips (Bezeichnung: „ICX 206 AK“) für Infrarotes (IR) Licht von einer Wellenlänge größer 720 nm. Bei dieser Wellenlängen ist das Licht für das menschliche Auge nicht zu sehen, es kann aber mit dieser Kamera in sichtbare Bilder umgewandelt werden. Dadurch kann man mit dieser Kamera bei, für den Menschen totaler Dunkelheit, sichtbare Bilder erzeugen, wenn die Szene mit IR- Licht ausgeleuchtet wird. In dem Gerät sind drei Leuchtdioden integriert, die bei Bedarf infrarotes Licht ausstrahlen können, aber für den Einsatz in dieser Diplomarbeit nicht ausgelegt sind. Die Intensität des ausgestrahlten Lichtes ist viel zu gering, um den ganzen Straßenraum auf 120 m auszuleuchten. Darüber hinaus treten an der Schutzscheibe des Wettergehäuse Reflexionen auf, die zu massiven Störungen bei der Videoaufzeichnung führen.

In der Kamera ist ein Filter integriert, der auch über den Computer angesteuert werden kann. Wird dieser Filter in die optische Achse der Kamera geschwenkt, wird das infrarote Licht aus dem Spektrum des Tageslichtes heraus gefiltert. Dadurch können die Farben des Bildes intensiver dargestellt werden. Erst wenn dieser Filter aus der optischen Achse und damit aus dem Lichtstrahl geklappt wird, kann die IR-Sensitivität des CCD-Kamerachips ausgenutzt werden. Die Farben des Bildes werden dadurch erheblich fahler. Da diese Funktion nur im Nachtbetrieb bzw. bei Dunkelheit relevant ist und damit für die Wahrnehmung der Farben in dieser Situation eine zu geringe Lichtstärke herrscht, fällt das nicht weiter ins Gewicht.

Für das menschliche Auge liefert die Kamera während den Tagstunden ein gleichmäßig ausgeleuchtetes Bild mit natürlich dargestellten Farben. In den Stunden mit sehr geringer Helligkeit hat das Bild einen gelblichen Farbton, was aber auch von der Straßenbeleuchtung herrühren kann. Mit aktivierter Restlichtverstärkung wirkt das Bild grau bzw. farblos, aber durchaus heller. Die Entfernung des Infrarotfilters bewirkt ohne Ausleuchtung durch einen Infrarotscheinwerfer auf größere Distanzen gar nichts. Auf kurze Distanzen wie in geschlossenen Räumen kann mit Hilfe der eingebauten IR-Leuchtdioden bei totaler Finsternis ein deutliches, wenn auch grün getöntes, Bild erzeugt werden.

### 4.1.3 Kamera 2, SSC – DC50 AP

Die zweite Kamera, ebenfalls ein Gerät von SONY, Typ SSC – DC50 AP, unterscheidet sich grundlegend von der ersten. Die Kamera ist in einem Gehäuse von 50 x 50 x 90 mm untergebracht. Dieses Gehäuse ist mit verschiedenen Schnittstellen ausgestattet, so dass man mit handelsüblichen Steckern das Gerät mit Strom versorgen und das Videosignal ohne größeren Aufwand in ein Recorder oder Rechner einspeisen kann. Das Gerät ist nicht wetterfest, daher musste es ebenfalls in ein geeignetes Wetterschutzgehäuse eingebaut werden.

Ein Objektiv ist in diese Kamera nicht fest eingebaut. Dies hat den Nachteil, daß maximal ein mechanisches Zoomobjektiv aufgeschraubt werden kann, um einen vergleichbaren Standard zu dem anderen System zu erreichen. Da aber für diese Studie eine Zoomfunktion nicht benötigt wird — die Bildauswertungssoftware ist auf einen festen Bildausschnitt angewiesen —, wird dieser Umstand bei der Kamerabewertung nicht berücksichtigt [1]. Durch das aufschraubbare Objektiv erreicht man eine gewisse Flexibilität. So kann man sich für kostengünstige Lösungen oder für besonders lichtstarke Objektive entscheiden.

Funktionen wie Restlichtverstärkung oder Infrarotlicht-Ausleuchtung sind bei diesem Kamerasystem nicht enthalten. Die Berechnung der Bildbelichtung kann bei dieser Kamera auf verschiedene Arten geschehen: Man kann mit Hilfe eines Drehschalters zwölf verschiedene Bereiche des Bildes auswählen, die dann bei der Helligkeitsverteilung des gesamten Bildes stärker berücksichtigt werden. Dies hat den Vorteil, daß bei großflächigen, kontrastreichen Helligkeitsverteilungen im Bild, die wichtigen Bereiche besser bewertet werden. Zum Beispiel können sehr helle Bereiche, wie

## 4. Messstation

Lichtreklamen, bei der Helligkeitsbestimmung ausgespart werden, wodurch die schwach beleuchteten Bereiche nicht noch dunkler werden.

In der Szene, die in dem verwendeten Bildausschnitt dieser Studie aufgenommen wird, kann das von Vorteil sein; die entsprechende Untersuchung ist in Kapitel 5.1 beschrieben.



Abb.5: Kamera SONY, SSC-DC50 AP, Objektiv optional

Bewertet man die erzeugten Bilder beider Kameras nur durch den direkten, optischen Vergleich, so liefert die zweite Kamera immer etwas hellere Bilder am Tage.

### 4.1.4 Frame-Grabber

Das analog übertragene Videosignal der Kamera muss für die Auswertung durch das ViVA-traffic-Programm in ein digitales Signal gewandelt werden. Wie die Wandlung des Signals auf dem Frame-Grapper funktioniert, kann am besten mit Hilfe des Blockschaltbildes beschrieben werden. Es handelt sich dabei um den Frame-Grabber der Firma Matrix-vision. Luminanz und Chrominanz des S-VHS-Signals werden getrennt und durch zwei einzelne, zeitlich synchronisierte Analog-Digitalwandler digitalisiert. Anschließend werden beide Signale im Farbkonvertierer vereinigt. In diesem Schritt wird das spätere Darstellungsformat erzeugt. Durch eine spezielle Schnittstelle zum rechnerinternen PCI-Bus können durch DMA-Transfer die Bilddaten in einen Speicher (Bilddatenspeicher der Grafikkarte oder Hauptspeicher) überführt werden, ohne dass dabei der Prozessor belastet wird. Vor allem durch diesen Umstand ist die Bildauswertung der Videosequenz in Echtzeit möglich. Videokarten, wie man sie heute für jeden PC bekommen kann, unterscheiden sich von einem Frame-Grabber vor allem dadurch, dass die Bilddaten z.B. in das jpg-Format vor-komprimiert werden.

### 4.1.5 Rechner

Bei dem für dieses Verkehrsdatenerfassungssystem verwendeten Personalcomputer handelt es sich um ein handelsübliches SCSI-Gerät. Die beschreibenden Parameter wurden durch Erfahrungswerte der Programmentwickler der Firma GVA ermittelt: Der Prozessor (Intel Pentium 350MHz) ist auf den

---

<sup>1</sup> Das man bei der Brennweite des Objektivs vom Gesamtsystem her schon weitgehend festgelegt ist wird in Kapitel 3.4.2 belegt.

nötigen Frame-Grabber abgestimmt. Die Grafikkarte muss eine Auflösung von 1024 x 764 Pixeln bei 16 Mio. Farben ermöglichen. Alle anderen Parameter, wie Arbeitsspeicher oder Speichermedium sind frei wählbar. 128 MB Hauptspeicher sind absolut ausreichend. Als Speichermedium wurde eine 9 GB Festplatte im Wechselrahmen eingebaut. Das Speichermedium hat sich bei der vorliegenden Studie bewährt. Bei der Speicherung von digitalen Bilddaten ist eine Speicherkapazität in dieser Größenordnung bei weitem nicht ausreichend.

Bei einer sogenannten planaren Bilddarstellung wird für jedes Spektrum ein eigenes Bild erzeugt, worin jeder Bildpunkt in 16-Bit gespeichert ist. Bei einer Auflösung von 750 x 550 Bildpunkten, was einem PAL-Videobild entspricht und bei 25 Bildern pro Sekunde (übliche Bildwiederholrate) ergibt sich ein Datenstrom von ca. 20 Mbyte pro Sekunde. Aus diesen Gründen wurde bei dieser Studie ein Videorecorder als Bilddatenspeicher eingesetzt.

### 4.1.6 Videorecorder

Um zu einem späteren Zeitpunkt die von ViVA-traffic erzeugten Datensätze nochmals in Beziehung zum tatsächlichen Verkehrsgeschehen setzen zu können, wurde das Videosignal zeitgleich zur automatischen Auswertung auch in einen Videorecorder eingespeist. Da das Bildauswerteprogramm sehr sensibel auf das angebotene Bild reagiert, sollte das Signal, welches vom Bilddatenspeicher in den Rechner eingespeist wird, so gut wie möglich dem Signal des Live-Bildes entsprechen. Vor allem das Bild- und Signalrauschen muss so gering wie möglich gehalten werden.

In verschiedenen Voruntersuchungen wurde ein Videowalkman der Firma SONY eingesetzt. Es handelt sich dabei um einen Videorecorder des sog. Hi-8 Bandformates mit integriertem Farbdisplay. Bänder mit 60, 90 und 120 Minuten Spielzeit werden in diesem Format angeboten. Die Untersuchungen zeigten, dass die 120-Minuten-Bänder für die Aufzeichnung ungeeignet waren, da sich das Band beim spulen dehnte und so die Spielzeit bei jedem Abspielvorgang einige Sekunden länger wurde. Weitere Ergebnisse sind im entsprechenden Kapitel dargestellt.

Deshalb wurde das Verkehrsdatenerfassungssystem mit einem digitalen Videorecorder ausgerüstet. Verwendet wurde der digitale Videorecorder DSR-30P von SONY mit DVCAM-Format. Dieses Format kommt vor allem im Bereich von tragbaren Videokameras professioneller Fernsehteams zum Einsatz. Für dieses Gerät sind Kassetten mit Bandlängen von 124 Minuten und 184 Minuten verfügbar. Damit wurden in der vorliegenden Studie zu verschiedenen Zeiten das Videosignal aufgezeichnet und damit gesichert.

## **4.2 Untersuchungsstandort**

Für den Versuchsaufbau standen vier Standorte zur Verfügung. Aus diesen wurde der Aufstellungsort der Kamera auf dem Dach des Landesamtes für Straßenwesen in der Krailenshaldenstraße, Ecke Heilbronner Straße, Sieglestraße ausgewählt.

## 4. Messstation

1. In der Fahrbahn der Hauptstätter Straße auf der Höhe des Internationalen Bildungszentrums befindet sich eine Induktionsschleife, deren Daten zu Vergleichsmessungen herangezogen werden können. Auch das hohe Verkehrsaufkommen und der überdurchschnittliche Lkw-Anteil in diesem Straßenabschnitt sind Bedingungen, an denen die Güte des neuen Verkehrserfassungssystems gut gemessen werden kann. Die Bebauung des Straßenrandes bietet verschiedene, gute Möglichkeiten, um für die Kamera einen optimalen Blickwinkel zu gewährleisten. Nebenbedingungen, wie Stromanschluß und Unterbringung des Computers können ohne größeren Aufwand erfüllt werden, sofern ein Anlieger den Zugang zum Stromnetz ermöglicht.
2. In Degerloch am Albplatz steht ein turmartiges Gebäude der SSB direkt an der B27, einer Einfallstraße nach Stuttgart, bzw. einem Autobahnzubringer der A8. Auf einem Balkon der oberen Etagen finden sich viele gute Standorte für die Kamera, von denen die B27 aus verschiedenen Blickwinkeln heraus eingesehen werden kann. Im Vergleich mit den anderen drei Standorten ist das der höchste und damit vermeintlich auch der beste (siehe auch die Kapitel zu den Themen „Kamera“ und „Bildausschnitt“). Im Gegensatz zu dem Standort in der Hauptstätter Straße gibt es in diesem Bereich keine Induktionsschleife zur Verkehrsdatenerfassung, es ist somit kein Technikvergleich möglich. Es handelt sich bei diesem Standort auch nicht um einen bedeutenden Brennpunkt im Verkehrsgeschehen des Stadtgebiets. Die Unterbringung des Rechners und die nötige Stromversorgung sind an diesem Standort kein Problem, da sich in der obersten Etage die Technik-Räume der Versorgungseinrichtungen (z.B. der Klimaanlage) befinden.
3. Ein weiterer Kamerastandort liegt an der Autobahn, genauer auf einer die Autobahn überquerenden Brücke. Dieser Punkt ist der problematischste, da weder die Stromversorgung gewährleistet ist, noch der Computer und die Kamera vor Passanten geschützt werden können. Brücken, die in einer für das Verkehrsdatenerfassungssystem optimalen Höhe die Autobahn überqueren, sind sehr selten. In der Regel sind diese Brücken, im Verhältnis zur Fahrbahnbreite, zu niedrig. Die erforderliche Höhe kann man zwar durchaus mit Hilfe eines Mastes erzielen, um dann aber ein ruhiges Bild, auch unter windigen Bedingungen, zu gewährleisten, bedarf es eines erheblich größeren Aufwandes.
4. Der vierte Untersuchungsstandort ist in der Heilbronner Straße im Bereich der Kreuzung Sieglestraße und Krailenshaldenstraße. Das einzige Gebäude, das in diesem Bereich die nötige Höhe für einen guten Kamerastandort hat und dazu noch direkt an der Straße steht, ist das Gebäude des Landesamtes für Straßenwesen. Auf dem Dach des Gebäudes in ca. 28 m Höhe über der Straße befindet sich ein Unterstand mit Stromanschluss, so dass die sichere und wettergeschützte Aufstellung der ergänzenden Geräte, wie Rechner oder DV-Recorder, gewährleistet ist. In diesem Bereich der Heilbronner Straße fährt die Stadtbahn der SSB in

## 4. Messstation

Mittellage, d. h. die beiden Fahrtrichtungen der Heilbronner Straße liegen ca. 8 m auseinander. Das hat sowohl Vor- als auch Nachteile, wie weiter unten noch gezeigt wird. Weitere Vorteile dieses Standortes sind eine Induktionsschleife, welche einen Technikvergleich ermöglicht, und eine Immissionsmessstation, die für weiterführende Untersuchungen ergänzende Daten liefern kann.

Prinzipiell sind alle vier Standorte dazu geeignet, die Untersuchungen dieser Studie an den entsprechenden Orten durchzuführen. Jeder Standort bietet charakteristische Unterschiede, die eigene Untersuchungen rechtfertigen würden. Da diese Studie zeitlich stark eingeschränkt ist, kann nur ein Standort für die Tests des Verkehrsdatenerfassungssystems ausgewählt werden. Die anderen Standorte können in ergänzenden Studien berücksichtigt werden. Es gilt also den besten Standort auszuwählen. Am Standort 3 - der Autobahnbrücke – sind die Stromversorgung und die Sicherung des Systems vor Vandalismus die größten Probleme. Zumindest die Kamera müsste frei zugänglich am Geländer der Brücke oder an einem Mast angebracht sein.

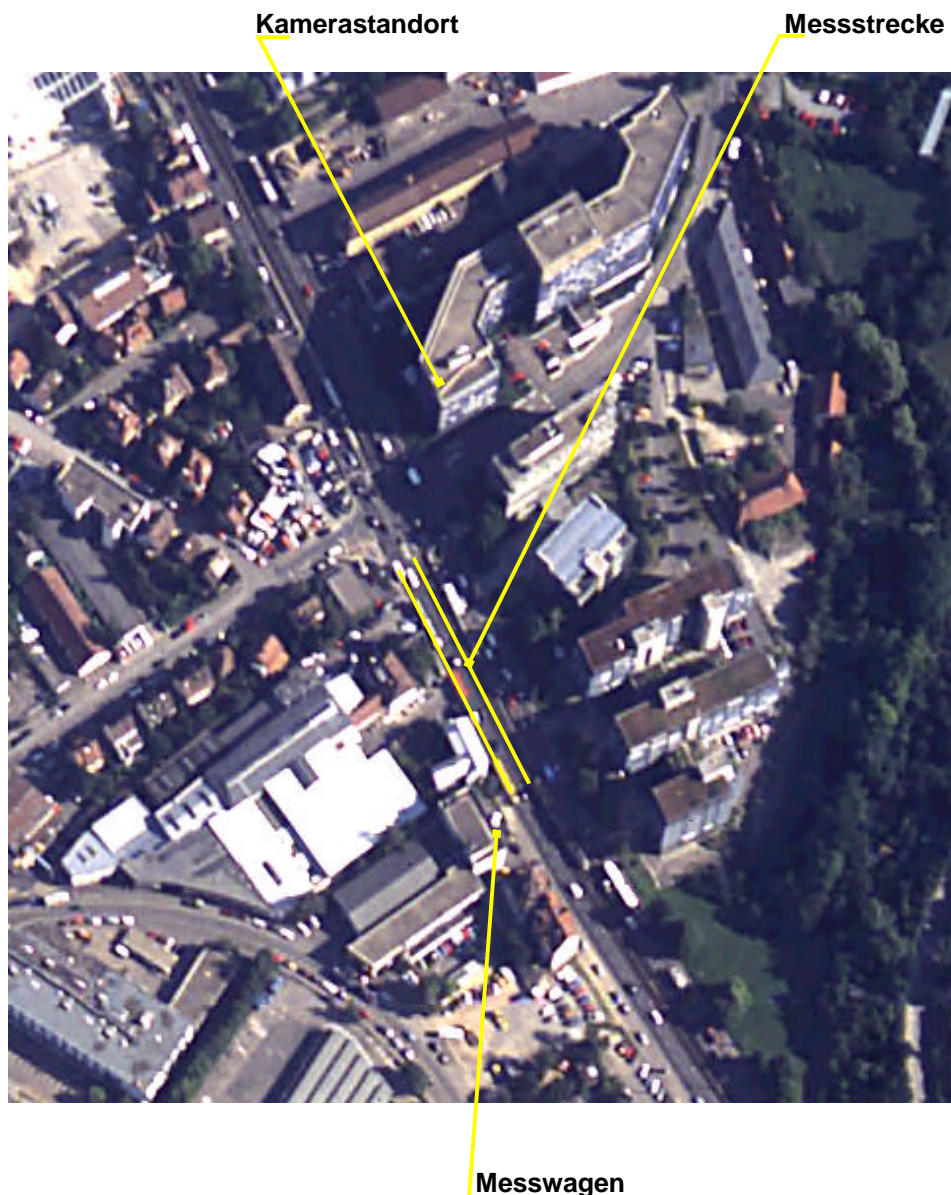


Abb.6: Untersuchungsstandort mit Messstrecke und Messwagen

## 4. Messstation

Ein Messwagen muss zur Unterbringung der Geräte wie Recorder oder Computer bereitgestellt werden. Wenn sich kein Netzanschluss in der nächsten Umgebung befindet, muss die Stromversorgung mit einem Generator realisiert werden. Die Frage, wie das Verkehrsdatenerfassungssystem bei sehr hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten arbeitet, kann auch in einer Sonderuntersuchung beantwortet werden. Deshalb wurde dieser Standort nicht für die Untersuchungen dieser Studie ausgewählt.

Der zweite Standort, auf dem Gebäude der SSB am Albplatz in Degerloch, bietet gute Voraussetzungen für einen geeigneten Bildausschnitt. Das Gebäude ist so hoch und steht dabei so nahe an der B27, dass praktisch keine Verdeckungen durch hohe Fahrzeuge ( Lkw's) auftreten. Es ist damit aber auch ein ausgesprochen seltener Standort, dessen Eigenschaften nur sehr selten anzutreffen sind. Bedeutender Nachteil sind die vielen Fahrspuren: Das Bildauswertungsprogramm ViVA-traffic kann nur vier Fahrstreifen pro Frame-Grabber und Kamera auswerten. Die Aufstellungsmöglichkeiten für die Geräte sind dagegen sehr gut. Die oberste Etage ist nicht für die Allgemeinheit zugänglich, so dass das System vor mutwilliger Beschädigung gut geschützt ist. Es gibt leider keine Induktionsschleife im Bereich, der von der Kamera eingesehen wird, so dass keine Daten zum Vergleich der Systeme herangezogen werden können. Da wenig vergleichbare Standorte vorhanden sind, können die Ergebnisse dieses Standortes nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragen werden. Damit ist auch dieser Standort besser für eine Sonderuntersuchung geeignet.

Bleiben die vergleichbaren Standorte in der Hauptstätter- und in der Heilbronner Straße. Die Randbedingungen sind sehr ähnlich. Die beiden Standorte unterscheiden sich nur geringfügig und sind auch im Verkehrsaufkommen gleichwertig. Bei beiden können Induktionsschleifen zum Vergleich herangezogen werden, beide verfügen über zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung. So muss eine Randbedingung die Entscheidung zwischen diesen beiden Standorten bringen. In der Heilbronner Straße fährt die Stadtbahn in Mittellage wodurch die beiden Fahrtrichtungen weit auseinander liegen. In der Hauptstätter Straße kann die Kamera nur auf einem Balkon installiert werden, man ist also von der Anwesenheit der Bewohner abhängig. Der freie Zugang zur Versuchsanordnung brachte die Entscheidung für den Standort in der Heilbronner Straße und dem auf dem Dach des Landesamtes für Straßenwesen.

Welcher Blickwinkel an diesem Standort gewählt wurde und welche Randbedingungen dabei beachtet werden mussten, wird in einem der folgenden Kapitel dargestellt.

### **4.3 Aufbau und Betreuung der Station**

#### 4.3.1 Aufbau

Der Aufbau der Messstation gliedert sich in drei Bereiche: Die Beschaffung der einzelnen Komponenten, die Montage und Unterbringung der einzelnen Komponenten und das Verbinden der Einzelgeräte zu einem funktionierenden System.

Bei der Auswahl der geeigneten Kameras wurde auf das fundierte Wissen der Firma SONY zurückgegriffen. Die zwei Kameras, SONY SSC – DC50 AP und SONY FCB – IX470P von SONY kostenlos zur Verfügung gestellt und von der Firma Elektro Ziegler mit dem nötigen Zubehör ausgeliefert. Der für die Aufzeichnung der Videosequenzen aus dem Straßenraum verwendete Videorecorder SONY DSR-30P wurde nach den Anforderungen der Untersuchung von SONY ausgewählt und für einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung gestellt. Der Frame-Grabber wurde nach den Anforderungen des Bildauswerteprogramms ViVA-traffic ausgewählt und in einen Personal Computer integriert. Bei der Bestimmung der Leistungsdaten des Computers wurde auf Erfahrungswerte der Programmierer der Firma GVA zurückgegriffen. Im einzelnen können die Daten dem Kapitel 3.1 entnommen werden.

An der Fassade des Gebäudes des Landesamtes für Straßenwesen dürfen keine baulichen Veränderungen vorgenommen werden. Dieser Umstand machte die Entwicklung einer tragfähigen Kamerahalterung nötig, welche in der Lage ist, unabhängig von den Witterungseinflüssen das Gewicht der Geräte sicher aufzunehmen, ohne dabei mit der Fassade verschraubt zu sein. Bild 8 zeigt das angewandte Prinzip.

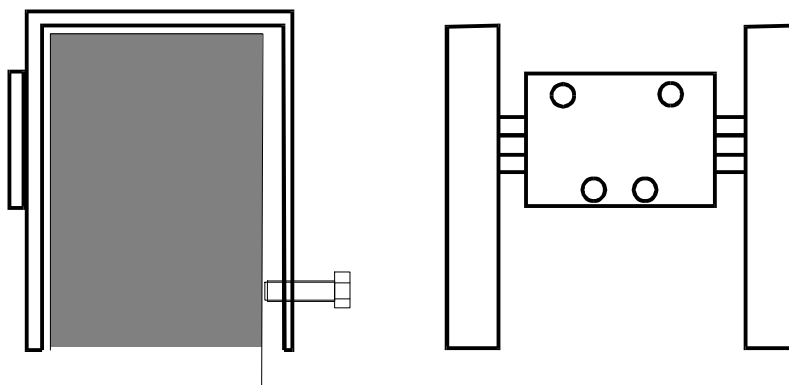


Abb.7: Konstruktionsskizze der Kamerahalterung

Um einen Vergleich der verschiedenen Kameras durchführen zu können, ist es nötig, dass die beiden Kameras zur gleichen Zeit den selben Bildausschnitt erfassen können. Aus diesem Grund wurde der Träger des Kameragehäuses so ergänzt, dass er die Wetterschutzgehäuse beider Kameras aufnehmen konnte (siehe Abbildung 8).

Um die verschiedenen Geräte wie Computer mit Bildschirm und Tastatur, DV-Recorder und Videowalkman sicher und geschützt aufstellen zu können, wurde in einem Versorgungsraum des Gebäudes ein Rack aufgebaut.

## 4. Messstation



Abb.8: Befestigung beider Kameras auf einem Träger

Bevor auf die Verdrahtung des Versuchsaufbaus eingegangen wird, sollen an dieser Stelle einige Sätze zur Videosignalübertragung gesagt werden. Die lichtempfindlichen Chips der CCD Kamera liefern ein digitales Signal. Dieses wird durch einen D/A-Wandler in ein analoges Signal umgewandelt. Das analoge Signal wird als Y/C bzw. als S-VHS Signal übertragen. Beim Y/C Signal wird die Information des Bildes in zwei Teile zerlegt: In den Y-Anteil und den C-Anteil. Der Y-Anteil besteht aus der Helligkeitsinformation des Bildes. Der C-Anteil beinhaltet die Farbinformation des Bildes in den Farben Rot, Blau und Grün. — Im Televisionsbereich werden nur Rot und Blau übertragen, der Wert des Grün wird daraus berechnet. Durch die Datenkomprimierung auf zwei Farben kann bei der Übertragung ein Sender mit geringerer Leistung verwendet werden. — Nach der Übertragung der Daten von der Kamera zum signalverarbeitenden Gerät werden die einzelnen Komponenten des Signals wieder zu einem Bild zusammengesetzt. Der Unterschied des VHS Signal zum Super-VHS Signal besteht in seiner größeren Bandbreite. Damit kann eine bessere Qualität bei der Übertragung gewährleistet werden. Mit einem handelsüblichen S-VHS-Kabel wird das Signal ab einer Entfernung von ca. drei Metern so schwach, dass es zu Bildausfällen kommt. Im Straßenraum besteht aber sehr selten die Möglichkeit, größere Geräte, wie einen Videorecorder, direkt am Aufstellungsort unterzubringen. Auch am Untersuchungsstandort war dies nicht möglich. Zwischen Kamera und Videorecorder bzw. Computer lagen ca. 20m Entfernung. Damit ist die Distanz größer als die Strecke, die mit einem Y/C-Kabel überbrückt werden kann. Im Handel sind aber dafür keine Y/C-Kabel

erhältlich. Um die Videokamera trotzdem an dieser Stelle installieren zu können, wurde ein Übertragungskabel eigens hierfür hergestellt. Mit Hilfe eines Adapters von der Hosiden-Buchse (Y/C- oder S-VHS-Buchse) der Kamera auf zwei BNC-Stecker wurden die beiden Teile des Y/C- Signals getrennt und in zwei Koaxialkabel mit einem Widerstand von 75 Ohm eingespeist. Dadurch konnten beide Teile des Signals ohne weiteres über die Strecke von 25 m bis zum Recorder / Computer stabil aufrecht erhalten und damit ein fehlerloses Bild auf den Computer-Bildschirm dargestellt werden.

Neben diesen Leitungen zur Signalübertragung wurden noch zwei Kabel zur Stromversorgung der Kameras gelegt.

### 4.3.2 Betreuung

Während des Untersuchungszeitraumes dieser Studie wurde das Bildauswertungsprogramm ViVA-traffic verbessert. Es wurde eine automatische Helligkeits- und Kontrastanpassung des auszuwertenden Bildes implementiert. Dadurch konnte der Betreuungsaufwand des Versuchs erheblich eingeschränkt werden.

Wie in Kapitel 2.2.1 schon beschrieben, muss die Verkehrsdatenerhebung für kurze Zeit interaktiv unterbrochen werden, um das von ViVA-traffic auszuwertende Bild in Bezug auf Helligkeit und Kontrast optimieren zu können. Entscheidende Änderungen in der Helligkeitsverteilung treten vor allem während der Zeit der Dämmerung auf. Diesem Umstand wurde bei der Betreuung der Messstation Rechnung getragen. Morgens und abends zur Zeit der Lichtwechsel wurde die Verkehrsdatenerhebung unterbrochen und die Angleichung des Bildes durchgeführt. Zu diesen Zeiten sind außerdem alle Komponenten des Systems auf ihr einwandfreies Funktionieren hin untersucht worden. Die Position der Kameras und der damit erfasste Bildausschnitt darf nicht verändert werden. Eine kleine Winkeländerung an der Kamerahalterung, hat zur Folge, dass der Untersuchungsbereich des Bildes aus dem Bereich der Fahrbahn gedreht ist. Dann kann das System keine Fahrzeuge mehr erfassen und detektieren. Die Übertragung des Signals von der Kamera zum Computer oder Recorder erfolgt mit Hilfe einer Kabelverbindung. Eine Unterbrechung der Leitung an einer der Steckverbindungen hätte ein Bildausfall und damit auch ein Versagen des Erfassungssystems zur Folge.

Ein digitaler Videorecorder wurde eingesetzt, um Stichproben der ausgewerteten Straßenverkehrsszenen aufzeichnen zu können. Dabei wurde der integrierte Timer so eingestellt, dass die Station nur zum Bandwechsel besucht werden musste.

## 4.4 Kameraeinstellung

### 4.4.1 Blickrichtung

Abbildung 13 gibt die Dimensionen des Straßenraumes an der Messstelle wieder. Durch die zweigleisige Straßenbahn, in Mittellage, liegen die Fahrbahnen ca. 8 m auseinander. Die Strecke vom unteren Bildrand bis zu dem oben rechts im Bild zu sehenden Messwagen beträgt ca. 120 m. Davon

## 4. Messstation

werden ca. 80 m von der eigentlichen Messtrecke abgedeckt. Theoretisch könnte eine wesentlich größere Messstrecke im Bild untergebracht werden, da aber im oberen Viertel des Bildausschnittes ein Bildpunkt schon mehrere Quadratmeter darstellt, ist eine gute Messung in diesem Bereich des Bildes nicht zu erreichen. Darüber hinaus werden von dem Bildauswerteprogramm nur die besten Einhundert Messungen tatsächlich als Messwerte in die Rohdaten übernommen. Die „besten“ Messungen werden in den Bildbereichen erzielt, in denen ein Bildpunkt die geringste Fläche abdeckt. In Abbildung 10 z.B. ist das der untere Bildbereich, in dem die Objekte ihre maximale Grösse erreichen.

### 4.4.2 Bildausschnitt

Die Auswahl des Gebietes, in dem die Kamera aufgestellt bzw. das System getestet wird, ist im vorhergehenden Kapitel [2] eingehend beschrieben. In diesem Kapitel geht es um den gewählten Bildausschnitt und um die damit verbundenen Probleme.

Die ideale Kameraposition für das Verkehrsdatenerfassungssystem ist nach [Ebbecke 97] in ausreichender Höhe über der Straßenmitte mit einem Blickwinkel senkrecht zur Fahrbahnebene. In „ausreichender Höhe“ bedeutet, dass der Bildausschnitt so groß sein sollte, dass ein Fahrzeug mindestens drei Sekunden im Bild ist. Erst ab dieser Zeitspanne kann das Erfassungssystem ausreichend Messwerte erheben, um die Geschwindigkeit der Fahrzeuge exakt bestimmen zu können. Der Bildausschnitt wird normalerweise vor allem von der Brennweite der verwendeten Kamera bzw. deren Optik bestimmt. Da aber eine Brennweite, die deutlich kleiner als die Normalbrennweite von acht Millimetern ist, das Bild stark verzerrt und somit Fehlmessungen verursacht, ist man auf einen sehr kleinen Bereich von acht bis zehn Millimetern Brennweite beschränkt.

Der Bildausschnitt muss demnach durch die Höhe der Kameraposition über der Fahrbahn variiert werden. Diese Kameraposition ist so gut wie nie zu realisieren, so dass man gewisse Kompromisse eingehen muss. Die Abstriche, die man meist bei der Kameraposition machen muss, können aber durchaus in anderer Hinsicht Vorteile bieten.

---

<sup>2</sup> Kapitel 3.2 Untersuchungsstandort



Abb.9: Seitliche Verdeckung von einem Pkw durch einen Lkw



Abb.10: Verdeckung der Messlinie durch opake Aufbauten

## 4. Messstation

Abbildung 10 zeigt einen Kamerablickwinkel, welcher der Idealposition am nächsten kommt. Warum dieser Bildausschnitt trotzdem nicht gewählt wurde, wird aus dem Vergleich zu den anderen Bildausschnitten deutlich. Dadurch, dass die Kamera am Rand der Straße angebracht ist und somit schräg auf die Straße gerichtet ist, kommt es zu Verdeckungen. Wie in Abbildung 10 deutlich zu erkennen ist, wird der Pkw der weiter entfernten Spur von dem viel höheren Lkw, der vom Standpunkt aus näheren Spur verdeckt. In dem Abbildung 11 ist das Problem der Verdeckung noch einmal schematisch dargestellt.

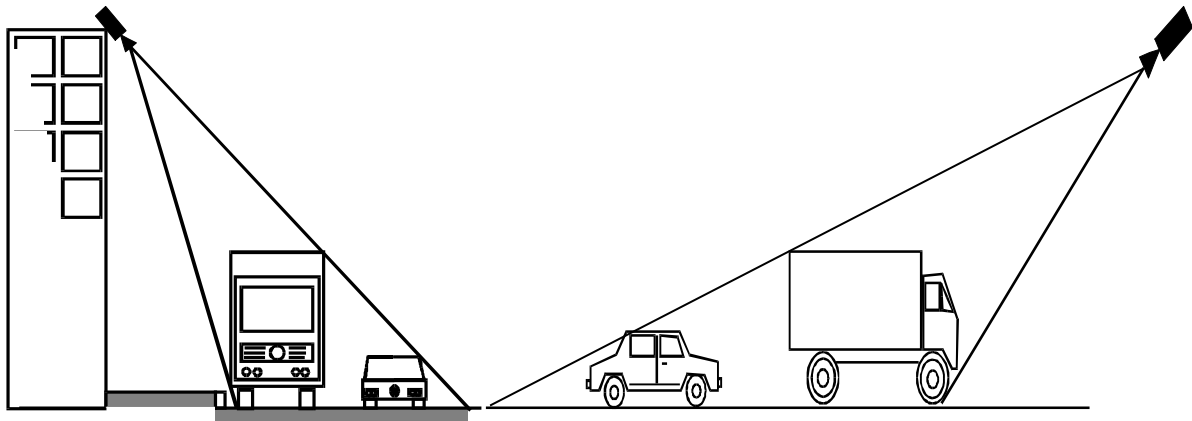


Abb.11: Seitliche und vertikale Verdeckung schematisch dargestellt

Dies führt aus zwei Gründen zu Fehlmessungen: Erstens wird der Pkw von dem Bildauswerteprogramm nicht erkannt, da er sozusagen eine Einheit mit dem Lkw bildet. Zweitens ragt der Lkw so weit in die benachbarte Spur, dass er auch auf dieser Spur als Fahrzeug erkannt wird. In diesem Fall heben sich die zwei Fehler prinzipiell gegenseitig auf, wenn aber zwei oder kein Pkw neben dem Lkw herfahren, werden im einen Fall zuviel und im anderen Fall zuwenig Fahrzeuge gezählt. Wie groß der Fehler im einzelnen ist, kann man dem entsprechenden Kapitel [ 3] entnehmen. Abgesehen von diesem Problem ist der Bildausschnitt etwas zu klein, lange Fahrzeuge wie beispielsweise Lastkraftwagen sind zu kurz im Bild, um eine sichere Geschwindigkeitsbestimmung durchführen zu können.

Wenn man die Kamera um eine zweite Achse aus der Senkrechten dreht, wird, wie in Abbildung 11 zu sehen, der Ausschnitt größer. Damit befinden sich die Fahrzeuge länger im Messbereich des Bildes. Aber in diesem Fall ist ein Fahrzeug nur scheinbar länger im Bild: Die gelb angedeutete Messlinie läuft deutlich über die Bauten und Werbeflächen der Straßenbahnhaltestelle. Für das Bildauswerteprogramm verschwindet ein Fahrzeug immer wieder, wenn es hinter den opaken Bauteilen vorbeifährt und kann damit nicht eindeutig bestimmt werden. Da dies nicht nur in bestimmten Situationen, wie bei der Lkw- Pkw- Verdeckung auftritt, sondern ständig der Fall ist, kommt es zu erheblichen Fehlmessungen.

---

<sup>3</sup> Kapitel 5.2.1 Fehlerbetrachtung

Die Abbildungen 13 und 14 zeigen zwei Bildausschnitte bei einer ähnlichen Blickrichtung stadteinwärts. In beiden Bildausschnitten sind keine Aufbauten, die zu Fehlmessungen führen können. Damit sind sie besser geeignet, als der Ausschnitt von Abbildung zehn. Der grundlegende Unterschied der beiden Bildausschnitte ist die größere Drehung der Kamera aus der Vertikalen bei Abbildung 13, was eine stärkere perspektivische Verzerrung zur Folge hat (siehe auch Abbildung 12).

Da jedes Computerbild aus lauter gleich großen Punkten, sog. Pixeln, aufgebaut ist, deckt ein Pixel im Bereich des Bildhintergrundes eine viel größere Fläche ab, als ein Bildpunkt im Vordergrund der Szene. Dies wird durch die zwei roten Quadrate in Abbildung 15 verdeutlicht [ 4]. Dieser Sachverhalt führt dazu, dass im Bereich des Bildes, der weiter von der Kamera entfernt ist, die Streckenmessungen und damit die Geschwindigkeitsmessungen ungenauer werden. Deshalb ist der Bildausschnitt der Abbildung 14 dem der Abbildung 13 eigentlich vorzuziehen. Da aber die Abbildung 14 einen Kreuzungsbereich zeigt, in dem der Verkehrsfluß natürlich sehr stark gestört ist, wird der Vorteil in diesem speziellen Fall relativiert.



Abb.12: Die Auflösung eines Bildes an verschiedenen Stellen

<sup>4</sup> Zum Vergleich: Beide Punkte bestehen aus 3x3 Pixeln; die Linien der Fahrbahnmarkierung sind immer 1,5 m lang. Es wird also ca. das zwanzigfache von einem Bildpunkt oder Pixel dargestellt.

## 4. Messstation



Abb.13: Straßenraum der Heilbronner Straße im Bereich der Messstrecke

Um die Güte dieses Verkehrsdatenerfassungssystems herausstellen zu können, ist ein Vergleich mit Daten einer Induktionsschleife sinnvoll. So eine Schleife ist nur in der vierten Einstellung mit im Bild, so dass nur hier ein direkter Vergleich zwischen dem neuen System mit Videotechnologie und dem weit verbreiteten System der Induktionsschleife durchgeführt werden kann.

Damit der Zusammenhang zwischen verschiedenen Abgaskomponenten und dem Verkehrsaufkommen untersucht werden kann, sollte der Verkehrsfluss möglichst ungestört sein. In diesem Sinne stellt das hohe Verkehrsaufkommen, das natürlich auch zu Behinderungen im Verkehrsfluss führt, keine Störung dar. Es ist vielmehr die Beeinflussung von Lichtsignalanlagen gemeint. Darüber hinaus ist der einzige Bildausschnitt, bei dem die Messstation mit im Bild erscheint

und damit Verkehrsdatenerhebung und Abgasmessung räumlich zusammenfallen, jener der in Abbildung 13 dargestellt ist.

Ein Problem hängt auch mit der geringeren Kameraneigung des vierten Bildausschnittes zusammen, Abbildung 16 zeigt den Bildausschnitt von Abbildung 13 bei Nacht. Da die Fahrzeuge mehr von vorne zu sehen sind, hat Nachts das Licht der Scheinwerfer eine sehr viel stärkere Blendwirkung, die vor allem bei nasser Fahrbahn zu Fehlmessungen führen kann [5].



Abb.14: Kreuzungsbereich Heilbronner Straße Siegle Straße

---

<sup>5</sup> Siehe auch das Kapitel der Fehlerbetrachtung.

## 4. Messstation

Dass die Fahrzeuge bei diesem vierten Bildausschnitt länger im Bild sind und damit das Fahrverhalten über eine größere Strecke verfolgt werden kann, ist der wichtigste Grund warum dieser Bildausschnitt gewählt wurde. Die Standorte der Messstation und der Induktionsschleife sind weitere Gründe, die für diese Kameraeinstellung mit diesem Bildausschnitt sprechen.

Der in den Abbildungen 13 und 16 dargestellte Bildausschnitt wird aus den oben genannten Gründen für die Untersuchungen dieser Studie aus den verschiedenen möglichen Bildausschnitten ausgewählt und verwendet.



Abb.15: Messstrecke bei Nacht, aufgenommen ohne IR-Modus



## 5 Untersuchung

### 5.1 Bildauswertung

Die Frage, wodurch ein Programm erkennt, dass sich ein Fahrzeug über den Bildschirm bewegt, ist Inhalt dieses Kapitels.

Ein Videobild besteht immer aus einzelnen, gleich großen Punkten, den sogenannten Pixeln. Sobald das Licht durch die Optik der Kamera auf den lichtempfindlichen Chip fällt, wird das Bild in eine endliche Anzahl von Punkten zerlegt. Bei der Kamera, die in dieser Diplomarbeit verwendet wird, sind es 250.000 Punkte. Da das Auge eines normalsichtigen Menschen nur eine begrenzte Auflösung von ca. einer Bogensekunde hat, werden diese einzelnen Punkte bei der Darstellung auf einem Bildschirm wieder als ein zusammenhängendes Bild wahrgenommen. Selbst wenn das Raster dieser gepunkteten Bilder so grob ist, dass der Mensch die einzelnen Punkte erkennen kann, ist er unbewußt immer bestrebt ein zusammenhängendes Bild zu sehen. Man muss sich bewusst darauf konzentrieren, will man die einzelnen Punkte isoliert betrachten. Aus diesem Grund erkennt der Mensch auch verschiedene Gegenstände: heben sich in einem Bereich des Bildes einige Bildpunkte durch ihre Helligkeit oder Färbung von der direkten Umgebung ab, so werden diese Pixel zu einem Objekt zusammengefügt und mit verschiedenen Erfahrungs- und Erwartungswerten verglichen. Die Übereinstimmung mit den Erfahrungswerten ist dann das Erkennen eines Objektes oder eines Schattens. Also auch beim Menschen muß die Information, die der Sensor Auge aufnimmt, im Sehzentrum des Gehirns verarbeitet werden, damit Sehen und Erkennen entstehen kann.

Bei den Bildpunkten muss man zwischen zwei Arten unterscheiden, es gibt ein Pixelraster für Bildpunkte, die sich nur in ihrer Helligkeit unterscheiden. Durch die Vielzahl der verschiedenen Grauwerte dieser Bildpunkte kommt ein Schwarz-Weiß-Bild zustande. Darauf bauen die Farbbilder auf: Immer vier sich berührende Bildpunkte werden mit einem Farbwert belegt. Damit ist das Raster eines Farbbildes um einen Faktor zwei gröber, als das des gleichen Bildes, dargestellt in Grauwerten. Diese Datenreduktion von der Grauwertdarstellung zum Farbbild macht sich auch eine Eigenschaft des menschlichen Sehens zunutze: Ein Mensch nimmt Helligkeitsunterschiede sehr viel stärker und genauer wahr, als Farben.

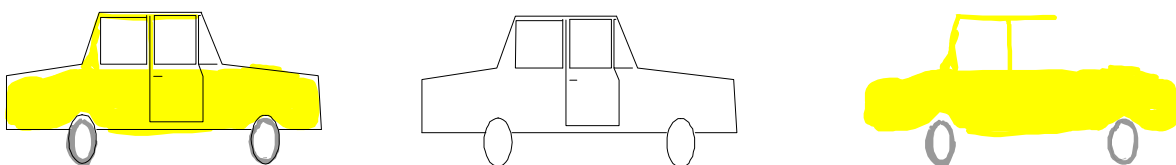


Abb.16: Unterschied der Grauwertübergänge und der Farbübergänge

## 5. Untersuchung

Ein Beispiel soll das verdeutlichen: Auf Abbildung 16 ist schematisch auf verschiedene Arten ein Auto dargestellt. Links wird ein gelbes Auto, mit Farbe und schwarzen Linien als Umriß dargestellt. Es ist sofort eindeutig als Auto identifizierbar, obwohl es nur eine schematische Skizze ist. Das unter 16c dargestellte Auto ist ebenfalls eindeutig als solches zu erkennen, allerdings kommt diese Darstellung ohne Farbe aus. Abbildung 16c zeigt ein Objekt, das nur mit „gutem Willen“ oder „viel Phantasie“ als gelbes Auto zu erkennen ist. Dabei handelt es sich allerdings um genau die gleiche Form, die auch bei Darstellung 16a verwendet wurde. Betrachtet man nun Abbildung 16a noch ein mal genauer, fällt auf, dass die Farbinformation nur sehr ungenau in die Linien des Umrisses der Darstellung passt. Diesen Umstand macht man sich nicht nur bei der Darstellung von Video- bzw. Fernsehbildern zu nutze — Eine grobe Rasterung eines Bildes benötigt bis zu vier mal weniger Daten, die gesendet oder gespeichert werden müssen, was die Systeme erheblich verbilligt. — sondern auch zum Beispiel beim Drucken von Zeitschriften oder Comics.

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, mit denen ein Computerprogramm aus Videobildern Informationen extrahieren kann, um sie in irgendeiner Weise nutzen zu können; hier sollen nur einige exemplarisch vorgestellt werden. Man muss bei der automatisierten Objekterkennung in der Computertechnologie zwischen sich bewegenden und stehenden Objekten unterscheiden. In jedem Fall werden folgende Bedingungen vorausgesetzt: Es handelt sich bei den zu erkennenden Objekten um starre Körper. Im Falle der Erkennung von bewegten Objekten wird von einer ortsfesten Kamera ausgegangen.

In einem Algorithmus von Koller wird in den Bildern nach Bereichen mit Maxima der Grauwertübergänge gesucht, um so verschiedene Objekte voneinander zu unterscheiden. Um dabei feinere Übergänge berücksichtigen (siehe oben) zu können, beziehungsweise damit schärfere Kanten entstehen, wird in diesem Algorithmus die Farbe der zu erfassenden Objekte nicht berücksichtigt. Das Auftreten eines Grauwertüberganges ist damit der einzige Hinweis auf den Beginn oder das Ende eines Objekts. Erst in einem zweiten Schritt wird die Farbinformation zur Hilfe genommen: Kommen verschiedene Fahrzeuge nacheinander ins Bild, werden die einzelnen Grauwertübergänge mit Hilfe der Farbe einander zugeordnet, d.h. zwischen den ersten zwei Kanten kommt ein farbiges Auto zwischen der zweiten und dritten Kante muss dann das Grau der Straße auftreten, usw.

Wenn man Bewegungen in einer Bildfolge automatisch erfassen möchte, reicht es natürlich nicht aus, dass man bestimmte Objekte, z.B. Fahrzeuge, in einem Einzelbild detektieren kann. In dem folgenden Bild der Filmsequenz muss das Fahrzeug zwar auch erst als solches erkannt werden, aber darüber hinaus muss der Bezug zum vorhergehenden Bild hergestellt werden. Das bedeutet, dass das Programm die Fahrzeuge aus dem ersten und aus dem darauffolgenden Bild als ein und das selbe Fahrzeug erkennen muss. Die Wiedererkennung erreicht man z.B. dadurch, dass sich die Abbildungen des Fahrzeugs aus dem ersten und zweiten Bild überlappen. Dabei muss man folgendes berücksichtigen: Ein Fahrzeug, das mit einer Geschwindigkeit von 100 Kilometern pro Stunde fährt, legt ca. 28 Meter in der Sekunde zurück. Wenn sich also die Abbildungen des Fahrzeuges (es hat eine

## 5. Untersuchung

angenommene Länge von vier Metern) aus zwei aufeinanderfolgenden Bildern überlappen sollen, müssen mindestens sieben Bilder in der Sekunde von dem sich bewegenden Objekt gemacht werden.

$$100\text{km} / h \hat{=} 28\text{m} / \text{s} \quad 1.1$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{4\text{m}}{28\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{1}{7}\text{s} \quad 1.2$$

In der Videotechnologie werden 25 Bilder pro Sekunde erzeugt und auf dem Bildschirm dargestellt, dies wäre also absolut ausreichend. Aus einem anderen Grund gibt man sich mit dieser Bildfrequenz nicht zufrieden: Jedes der 25 Bildern wird aus zwei zeitversetzten sogenannten Halbbildern zusammengesetzt. Dabei bedeutet Halbbild, dass jede zweite Bildzeile ein Bild darstellt und die dazwischen liegenden Zeilen schon das nächste Bild erzeugen. Ein sich bewegendes Objekt hat in den beiden Halbbildern eines Bildes eine geringfügig unterschiedliche Position, dies würde zu unscharfen Objektkanten führen, würde man komplette Bilder auf Objekte hin untersuchen. Aus diesem Grund können sogar 50 Bilder in der Sekunde ausgewertet werden, womit eine Überlappung zumindest in den physikalischen Grenzen der Kfz-Bewegungen gewährleistet ist. Wurde ein Fahrzeug in zwei aufeinanderfolgenden Bildern erkannt, kann noch eine Zusatzinformation gewonnen werden. Das Verfahren wird als optischer Fluss bezeichnet: Die verschiedenen Elemente (Grauwertübergänge siehe oben), aus denen ein Objekt zusammengesetzt ist, bilden den Ausgangs- und den Zielpunkt vieler Vektoren. In dem Bildbereich, in dem sich z.B. ein Fahrzeug bewegt, kommt es zu einer Häufung dieser Vektoren. Mit physikalischen Gesetzen können aus diesen Vektorhäufungen Erwartungswerte abgeleitet werden, die das Wiederfinden eines Objektes wesentlich erleichtern. Siehe auch [Koller 93, Gil 96].

Ein weiteres Verfahren, um ein detektiertes Objekt in seiner Bewegung zu verfolgen, ist das Differenzbild-Verfahren. Dabei werden die Farb- und Helligkeitswerte zwei aufeinander folgender Bilder abgezogen, wodurch nur die Bildbereiche mit einer Farb- und Helligkeitsänderung übrig bleiben. Farb- und Helligkeitsänderungen treten natürlich nur in den Bildbereichen auf, in denen sich Objekte bewegen.

Ein leicht verändertes Verfahren bildet die Differenz zu einem festdefinierten Hintergrundbild, damit können auch vorübergehend stehende Objekte, z.B. an einer Lichtsignalanlage wartende Fahrzeuge, erfasst werden. Diese beiden Verfahren zur Objektverfolgung (Tracking) werden sowohl in Programmen eingesetzt, die das ganze Bild bei der Bildauswertung berücksichtigen, als auch bei Systemen, welche sich bei der Fahrzeugdetektion auf begrenzte Bereiche eines Bildes beschränken.

Dagegen setzt das sogenannte Tripwire-Verfahren die Beschränkung auf einzelne Bildbereiche voraus. Es funktioniert meist einer Induktionsschleife ähnlich: Einzelne Linien werden senkrecht zur Fahrtrichtung, also quer über das Bild der Straße gezogen. Ändern sich die Farb- und Helligkeitswerte auf dieser Linie, geht das Programm davon aus, dass ein Fahrzeug diesen Querschnitt passiert hat. Für Geschwindigkeitsmessungen müssen zwei Messzonen hintereinander angeordnet werden. Eine

## 5. Untersuchung

Klassifikation der Fahrzeuge und damit Aussagen über die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte sind nicht möglich.

### 5.2 Programm

Bei dem Bildauswerteprogramm ViVA-traffic der Firma GVA wurden die Verfahren „optischer Fluss“ und „Differenzbild-Verfahren“ kombiniert. Außerdem ist die Auswertung des Bildes auf einen kleinen Teil beschränkt. Für jede Fahrspur wird eine Linie längs der Straße in der Spurmitte über das Bild gezogen. Diese Messlinien sind die einzigen Bereiche, in denen das Bild auf zu erfassende und zu verfolgende Fahrzeuge hin untersucht wird. Dabei sind signifikante Helligkeits- und Farbveränderungen der betrachteten Pixel die Grundlage der Kfz-Detektion. Die Verfolgung der Fahrzeuge auf der Messlinie funktioniert nach den beiden oben beschriebenen Tracking-Verfahren, wobei der Anwender die Möglichkeit hat, interaktiv die Gewichtung zwischen den beiden Verfahren zu ändern. Wenn viele Fahrzeuge in kurzen Zeit-, bzw. Raumabständen hintereinander herfahren, ist das Problem gegeben, dass bei einer schnellen Abfolge von Helligkeitsänderungen eine Zuordnung der Signale zu den einzelnen Fahrzeugen sicher und zuverlässig erfolgen muss. Hier wurden zwei Erwartungswerte berücksichtigt: Zum einen wird die projizierte Länge der Fahrzeuge ermittelt und mit erwarteten Werten verglichen, zum anderen kann man interaktiv eingeben, mit welchem Abstand die Fahrzeuge hintereinander herfahren.

Vor allem die zweite Abfrage ist sehr wichtig, da im Bereich der Front- und Heckscheibe ähnliche Farb- und Helligkeitswerte erreicht werden, wie im Bereich der Straße ohne Fahrzeuge. Neben diesen Hauptdetektionsverfahren gibt es noch zahlreiche Abfragen und Algorithmen, die nötig sind, um eine sichere Detektion und Verfolgung der Objekte zu gewährleisten. Diese sind in [Koller 93, Gil 96, Ebbecke 97] ausführlich erklärt und sollen hier nicht näher betrachtet werden.

### 5.3 Datensätze

Ausgehend von der automatischen Bildauswertung, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurde, soll nun betrachtet werden, was für Daten das Verkehrsdatenerhebungsprogramm als Ergebnis liefert.

Der ausgewertete Bildausschnitt ist, wie schon beschrieben, fest eingestellt und in seinen Dimensionen und seiner Auflösung vorgegeben. Daher ist es kein Problem über diese Darstellung ein Koordinatensystem zu legen, so dass jeder Bildpunkt eindeutig einem Wertepaar (X-Y-Werte) zugeordnet werden kann. Wird nun ein Objekt erfasst und über eine gewisse Zeit verfolgt, das heißt in einer Anzahl von Bildern wiederentdeckt, so kann jeder Erfassungsort mit einer Zeitmarke und einem Wertepaar belegt werden. Es ist auch prinzipiell die Nummer des Bildes als Kennung denkbar.

Über den Zusammenhang der 50 Halbbilder pro Sekunde kann daraus auch der zeitliche Verlauf bestimmt werden. Diese Datenform wird bei ViVA-traffic Rohdaten genannt. Es gehören immer drei Zeilen zusammen und bilden die Information der Bewegung eines Fahrzeuges über den Bildausschnitt.

Im Anhang ist ein Auszug solch eines Datensatzes dargestellt, wie er für jede Messlinie und damit für jede Fahrspur getrennt in einer Datei abgelegt wird. In der ersten Zeile stehen alle X-Werte eines detektierten Objekts, in der zweiten Zeile alle dazugehörigen Y-Werte. In der dritten Zeile stehen schließlich die Erfassungszeitpunkte, sie sind dem entsprechenden X-Y-Wertepaar fest zugeordnet.

**9,11 ; 7,09 ; 15:30:35 ; 35,00 ; 1**

Abb.17: Ergebniszeile der AVE-Dateien, a) V [m/s], b) l [m], c) t [hh:mm:ss], d) t [sek], e) Qualität

Die vierte Zeile, welche immer aus fünf Werten besteht, ist das eigentliche Ergebnis, das ViVA-traffic liefert. In den Normalen Grundeinstellungen des Programms werden nur diese Zeilen in einer Datei ausgegeben. Sie werden im weiteren Verlauf des Textes als Ergebniszeile bezeichnet.

Die Ergebniszeile im einzelnen: Der erste Eintrag stellt die ermittelte Fahrzeuggeschwindigkeit dar. Er hat die Einheit Meter pro Sekunde, wie sie ViVA-traffic ermittelt. Nach dem Semikolon als Trennzeichen folgt die Länge des Fahrzeugs in Metern. Es handelt sich dabei nicht um die tatsächliche Länge des Objekts. Aus Abbildung 19 wird deutlich, dass es sich höchstens um die sichtbare Länge des Objekts handeln kann, die nur annähernd mit der tatsächlichen Länge des Fahrzeuges übereinstimmt. Der Wert, der als zweiter Eintrag in der Zeile angegeben wird, ist die projizierte Länge, die unter Umständen bedeutend länger, als die wahre Länge des detektierten Objektes ist. Da das Verhältnis der Längen von den einzelnen Objekten gleich bleibt, ist prinzipiell eine Aussage über die unterschiedlichen Fahrzeuglängen möglich (siehe dazu auch Kapitel 5.2).

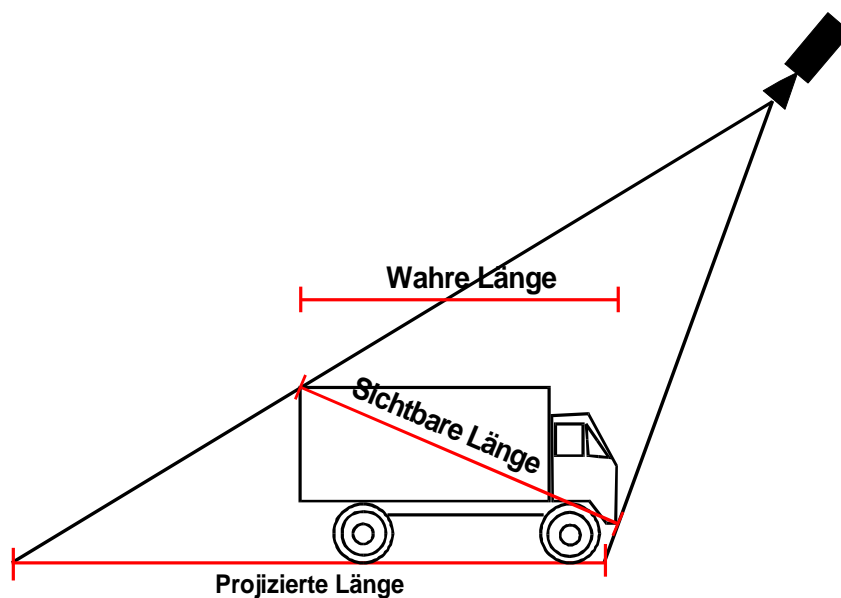


Abb.18: Schematische Darstellung der projizierten Fahrzeuglänge

## 5. Untersuchung

Nach einem weiteren Trennzeichen wird in der Datenzeile eine Uhrzeit aufgeführt. Es ist der Erfassungszeitpunkt, dargestellt in Stunden, Minuten und Sekunden. Darauf folgt die selbe Zeit, diesmal in Sekunden abgebildet. Dieser Wert entspricht immer dem letzten Eintrag der Zeitzeile der Rohdaten.

Tab.1: Bezeichnung der verschiedenen Fahrspuren

<b>Bezeichnung</b>	<b>Fahrspur</b>
Spur 1	stadtauswärts rechts
Spur 2	stadtauswärts links
Spur 3	stadteinwärts rechts
Spur 4	stadteinwärts links

Abschließend ist in der Ergebniszeile eine Aussage über die Erfassungsqualität abgelegt. Es können die Werte eins, zwei und drei vergeben werden, wobei eins die beste Qualität darstellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass man als Anwender von ViVA-traffic zwischen zwei Formaten der Ergebnisdatei wählen kann. Bei den sogenannten Rohdaten sind die Ergebnisse der Erfassung und die Ausgangsdaten zusammen für jedes Fahrzeug abgelegt. Verwendet wurde dabei das ASCII-Zeichenformat, dadurch kann man diese Datei ohne weiteres z.B. in das Microsoft Excel-Programm einlesen. Für die folgenden Kapitel werden an dieser Stelle eindeutige Bezeichnungen für die einzelnen Fahrspuren der Messstrecke dieser Diplomarbeit festgelegt: Die Fahrspur stadtauswärts Rechts, vom Pragsattel in Richtung Siegle Straße, wird als eins oder erste Fahrspur bezeichnet. Von dieser Spur ausgehend werden die danebenliegenden mit zwei, drei und vier durchnummeriert. Die Tabelle beinhaltet alle Spurbezeichnungen dieser Nomenklatur noch einmal im Einzelnen.



## 6 Plausibilitätsprüfung

### 6.1 Voruntersuchung

Die Durchführung der verschiedenen Versuche dieser Diplomarbeit haben gezeigt, dass eine umfangreiche Prüfung auf Plausibilität der Daten nötig ist. Die Versuche sollen an dieser Stelle aufgeführt werden, um die Vorgehensweise bei der Datenprüfung verständlich zu machen. Dabei stellt die Reihenfolge der Versuche keine Wertung ihrer Wichtigkeit dar.

Um die Funktionsweise von ViVA-traffic besser verstehen zu können, wurden zu Beginn der Diplomarbeit verschiedenen Vorversuche gemacht. Im ersten Versuch wurde bei besten Wetter- und Beleuchtungsbedingungen, das heißt Sonnenschein ohne Bewölkung, bei einem Sonnenstand, der nur sehr geringen Schattenwurf verursacht, eine Stunde mit einem Videocamcorder im Super-VHS-Format der fließende Verkehr gefilmt. Anschließend wurde der Verkehr dieser Stunde auf den zwei extremen Spuren eines und vier mit ViVA-traffic erhoben. Diese Erhebung wurde zehn mal in Folge , mit exakt den selben Einstellungen wiederholt.

Tab.2: Ergebnis der Voruntersuchung unter besten Bedingungen

Messung	Fahrspur								
	1			4			1+4		
	Software	Manuell	Fehler [%]	Software	Manuell	Fehler [%]	Software	Manuell	Fehler [%]
1	755	781	-3,44	1208	1239	-2,57	1963	2020	-2,90
2	766	781	-1,96	1196	1239	-3,60	1962	2020	-2,96
3	770	781	-1,43	1209	1239	-2,48	1979	2020	-2,07
4	763	781	-2,36	1224	1239	-1,23	1987	2020	-1,66
5	776	781	-0,64	1217	1239	-1,81	1993	2020	-1,35
6	761	781	-2,63	1207	1239	-2,65	1968	2020	-2,64
7	755	781	-3,44	1210	1239	-2,40	1965	2020	-2,80
8	747	781	-4,55	1205	1239	-2,82	1952	2020	-3,48
9	760	781	-2,76	1204	1239	-2,91	1964	2020	-2,85
10	772	781	-1,17	1207	1239	-2,65	1979	2020	-2,07
<b>Mittel:</b>	763	781	-2,43	1209	1239	-2,51	1971	2020	-2,48
<b>Standartab.:</b>	8,83		1,19	7,51		0,64	12,77		0,66

Die Werte dieser Verkehrsdatenerhebung sind in Tabelle 2 dargestellt. Es fällt auf, dass jede Erhebung ein anderes Ergebnis liefert. Die einzelnen Ergebnisse weichen, abhängig von der betrachteten Fahrspur um bis zu 3,7 % bzw. 2,29 % ab. Von dem Absolutwert der manuellen Zählung weichen die Ergebnisse im Mittel um 2,43 % und 2,51 % ab, je nachdem, welche Fahrspur betrachtet wird. Es ist also zum einen festzuhalten, dass unter besten Bedingungen hinsichtlich der Beleuchtung eine Abweichung der erhobenen Ergebnisse von ca. 2,5 % zu erwarten ist. Zum anderen zeigt dieser

## 6. Plausibilitätsprüfung

Versuch, dass die ermittelten Ergebnisse nur in gewissen Grenzen reproduzierbar sind. Im Vergleich zu der zweiten Voruntersuchung zeigte dieser Versuch darüber hinaus, dass das Bandformat S-VHS des Camcorders für den Einsatz bei dieser Diplomarbeit geeignet ist. Nur die verfügbaren Bandlängen bilden einen entscheidenden Nachteil, da mit einer Bandlänge von 120 min eine lückenlose Aufzeichnung längerer Zeiträume sehr aufwendig wird.

Bei der zweiten Voruntersuchung wurde eine Stunde lang mit der Kamera 1 (siehe Kapitel Komponenten) der Verkehr auf ein 120-Minuten-Band des Hi-8-Formates aufgezeichnet. Anschließend wurden auch aus dieser Videosequenz die Verkehrsdaten mit ViVA-traffic mehrere Male erhoben. Dieser zweite Test fand bei bedecktem Himmel und leichtem einsetzendem Regen statt. Wie sich diese Ergebnisse von denen des ersten Versuches unterscheiden zeigt Tabelle 3.

Tab.3: Ergebnis der Voruntersuchung unter schlechten Bedingungen

Messung	Fahrspur								
	1			4			1+4		
	Software	Manuell	Fehler [%]	Software	Manuell	Fehler [%]	Software	Manuell	Fehler [%]
1	1095	1072	2,10	847	675	20,31	1942	1747	10,04
2	1040	1072	-3,08	778	675	13,24	1818	1747	3,91
3	1046	1072	-2,49	810	675	16,67	1856	1747	5,87
4	1053	1072	-1,80	770	675	12,34	1823	1747	4,17
5	1046	1072	-2,49	774	675	12,79	1820	1747	4,01
6	1058	1072	-1,32	955	675	29,32	2013	1747	13,21
7	1056	1072	-1,52	937	675	27,96	1993	1747	12,34
<b>Mittel:</b>	1056	1072	-1,49	839	675	19,52	1895	2020	-6,60
<b>Standartab.:</b>	18,21		1,71	78,18		7,19	85,63		4,11

Dabei darf allerdings ein Umstand nicht unerwähnt bleiben: Bei jedem Spulvorgang zwischen den Auswertungen wurde das Band um ein bis zwei Sekunden länger. Ob nun die rapide schlechter werdende Fehlerrate von der Banddehnung herrührt, kann nur vermutet werden. Zumindest war dieser Versuch ein Kriterium, auf das sich die Auswahl des DV-Recorders stützte. Was dieser Versuch auf jeden Fall zeigt, ist die von der ersten Auswertung an, im Vergleich zu der Aufnahme unter besten Beleuchtungsbedingungen, schlechtere Fehlerrate. Es ist anzunehmen, dass hier ein Zusammenhang besteht. Weiter unten beschriebene Tests machen deutlich, wie stark die Güte des Bildauswertungsprogramms von der Beleuchtung abhängt. Aus diesem Umstand wurde auch die erste Programmänderung in Zusammenarbeit mit der Entwicklungsfirma des Auswerteprogramms ViVA-traffic umgesetzt. Die globalen Helligkeitsänderungen, Morgen- und Abenddämmerung, machen eine Angleichung des auszuwertenden Bildes in Bezug auf Helligkeit und Kontrast nötig. Ursprünglich musste diese Helligkeitsangleichung interaktiv durchgeführt werden. Dazu war es nötig, die Verkehrsdatenerhebung zu unterbrechen. Diese Unterbrechungen könnten auch der Grund für

## 6. Plausibilitätsprüfung

auf tretende Unregelmäßigkeiten in den Datensätzen sein, wie sie weiter unten beschrieben werden. Das Programm wurde so verändert, dass die Angleichung der Kontrast- und Helligkeitswerte während der Auswertung der Bilder möglich wurde. Nun kann zu einer Initialisierungsdatei ein Zeitintervall angegeben werden, in dem die Bildoptimierung automatisch durchgeführt wird. Durch diese Programmänderung reduzierte sich der Betreuungsaufwand für den Versuchsaufbau erheblich. Es mussten nicht mehr bei jedem Lichtwechsel interaktiv die Einstellungen des Programms geändert werden. Neben der Helligkeit hat der Blickwinkel der Kamera wohl den größten Einfluss auf die Güte der Bildauswertung und damit auf die Verkehrsdatenerhebung. Da die beiden Kameras nicht in der Mitte über den Fahrbahnen angebracht sind, sondern seitlich davon, wird der Blickwinkel von Fahrspur zu Fahrspur anders. Die Fahrspur 1 verläuft fast senkrecht unter der Kamera, die Fahrspur 4 hingegen ist immerhin ca. 15 Meter seitlich versetzt. Welche Auswirkung diese Versetzung auf die Verkehrsdatenerfassung hat, zeigen die nächsten Diagramme.

Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die Bilder der Kamera mit der Bezeichnung SSC-DC50AP für die Auswertung der Fahrspuren mit größerem seitlichen Versatz besser geeignet sind. Schon in Fahrspur 3 zeichnet sich ab, was in Fahrspur 4 deutlich hervortritt: Es werden tendenziell mehr Fahrzeuge detektiert. Dies kann von einer stärkeren Verzerrung durch die Optik der Kamera FCB-IX470P herrühren. Betrachtet man die Abhängigkeit der Ergebnisse von den Tageszeiten, so zeigt sich deutlich, dass beide Systeme zu einer Mehrererfassung in den Nachtstunden neigen. Der deutliche Unterschied zwischen den Fahrtrichtungen rührt aller Wahrscheinlichkeit daher, dass die Fahrzeuge einmal von vorne und einmal von hinten zu sehen sind. Hier muss wieder der Blooming-Effekt angeführt werden. Das Scheinwerferlicht überblendet das vorausfahrende Fahrzeug, so dass es nicht als Objekt erkannt werden kann.

## 6. Plausibilitätsprüfung

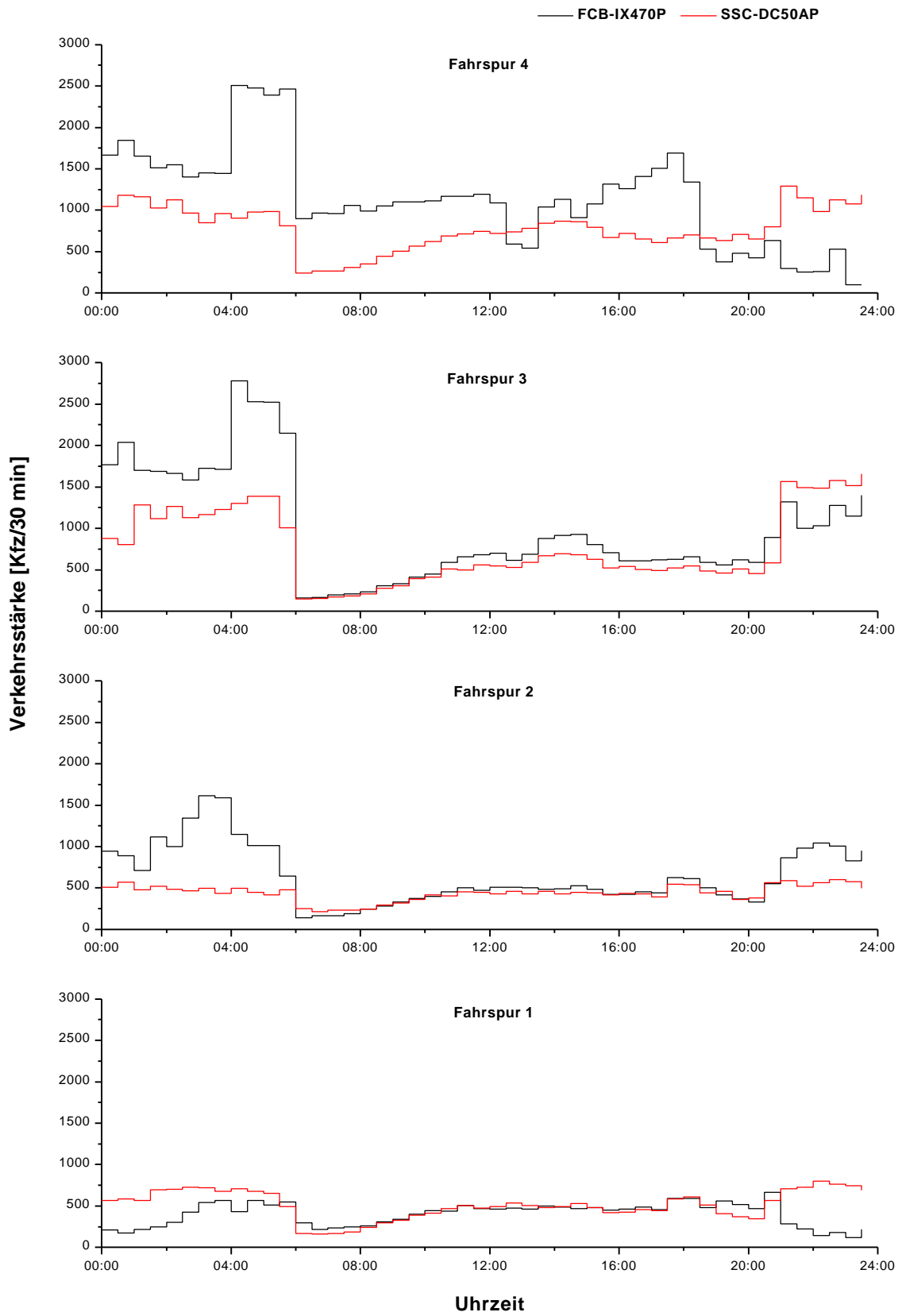


Abb. 19: Vergleich der Kameras, Anzahl Kfz nach Fahrspuren

## 6.2 Software

### 6.2.1 Voraussetzungen

Um die Daten auf ihre Plausibilität hin überprüfen zu können, musste zumindest auf die in den Dateien auftretenden Unregelmäßigkeiten eingegangen werden. Ausgehend von den Datensätzen mit ihren Fehlern wurde untersucht, ob es eine Möglichkeit der Reparatur geben könnte. Da die Erfassungszeit im Prinzip dreimal – die Zeiten  $t$ ,  $\text{sek}$  und  $h$ ; siehe Kapitel 4.3 – in unterschiedlichen Darstellungen in den Dateien abgelegt ist und immer nur eine beziehungsweise zwei davon Rücksprünge aufweisen, wurde bald eine theoretische Möglichkeit gefunden.

Wenn die Zeit  $t$  zurück auf einen kleineren Wert oder auf Null springt, bleiben die Zeiten Sekunden und Stunden stehen, sie markieren somit den Beginn der fehlerhaften Erfassung. Das Ende der Fehlerfassung ist entweder das Ende der Erfassung selbst, da die Erhebung für die Datensicherung angehalten wurde, oder der Zeitpunkt an dem die Zeit  $t$  den Wert der Zeiten in Sekunden und Stunden wieder erreicht hat, und alle drei Zeiten synchron und stetig weiter laufen.

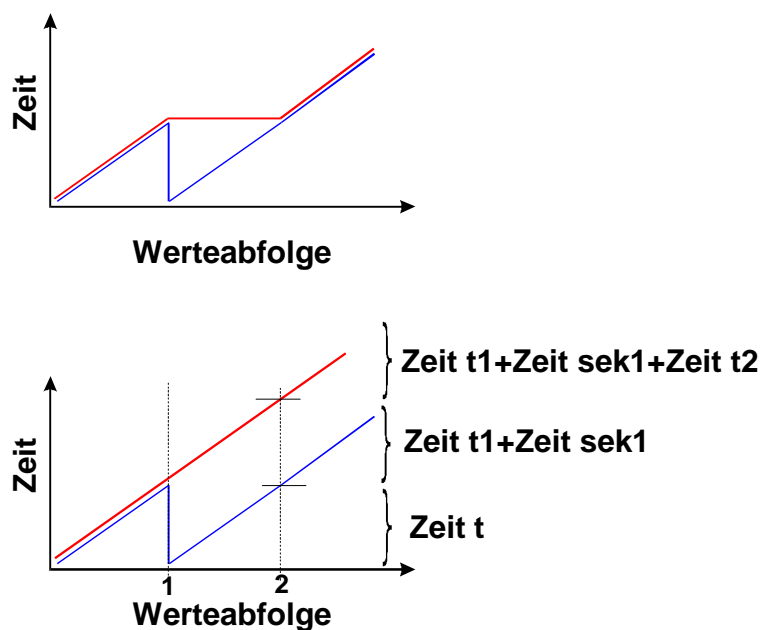


Abb.20: Grafische Darstellung der verschiedenen Zeitachsen vor und nach der Korrektur

Die Erfassungszeit Sekunden müsste also dadurch reproduzierbar sein, dass man auf jeden konstanten Wert die entsprechenden Werte der Zeit  $t$  aufaddiert. Ist der letzte konstante Sekunden-Wert erreicht, werden auf alle nachfolgenden Werte ein konstanter Wert aufaddiert. Dieser Wert entspricht dem Betrag nach dem letzten  $t$ -Wert vor dem Wiederanlaufen der Sekunden- und Stunden-Zeiten. Zwei graphische Darstellungen sollen diese Korrekturstrategie verdeutlichen.

Die Zeit  $h$ , welche ja nur eine andere Darstellung des Zeitbetrags  $\text{sek}$  ist, muss dann aus dieser neu gebildet werden. Mit diesem Vorgehen sollte die tatsächliche Zeitachse relativ exakt reproduzierbar sein. Eine Unsicherheit in der Größenordnung weniger Sekunden entsteht dadurch, dass die Zeit  $t$  nur

## 6. Plausibilitätsprüfung

erzeugt wird, wenn ein Fahrzeug detektiert wird. Wie viel Zeit also tatsächlich von Zeitpunkt des Rücksprungs bis zur ersten Fahrzeugdetektion und damit zum ersten t-Zeitwert verstrichen ist. Die Zeiträume zwischen den Einzelfahrzeugen vor und nach dem Zeitsprung lassen darauf schließen, dass es sich höchstens um eine Lücke von ca. 5 Sekunden handeln kann.

Diese Strategie der Zeitkorrektur in den betrachteten Dateien wurde in einem bzw. zwei Programmen umgesetzt. Nur eine automatische Dateiverarbeitung kann für diese Korrektur in Frage kommen, da es sich bei den zu ändernden Stellen um Einträge in über 15000 Zeilen pro Datei, bei einer Datei pro Fahrspur handelt. Die Quellcodes dieser Korrekturprogramme sind dem Anhang beigelegt.

Damit konnten die weiteren Schritte der Plausibilitätsprüfung der erhobenen Verkehrsdaten durchgeführt werden. Zwei Fragestellungen waren dabei von Bedeutung: Zum einen die nach der Zuverlässigkeit der Fahrzeugerkennung und zum anderen, die zur Güte, mit der das Fahrzeugverhalten erfasst wird.

Als Referenz zur Fahrzeugerkennung durch das Bildauswerte- und Verkehrsdatenerfassungsprogramm wurde folgende Stichprobe erhoben: Es wurden 24 verschiedene Videosequenzen von 30 Minuten Länge manuell ausgewertet und die Anzahl aller Fahrzeuge je Fahrspur ermittelt. Ausserdem wurde der Anteil der Lkw an der Gesamtsumme je Fahrspur bestimmt. Dabei wurde darauf geachtet, dass aus jeder Stunde eines Tages eine Sequenz ausgewählt wurde. Aus Zeitgründen konnten nicht alle 89 aufgenommenen Videosequenzen manuell ausgewertet werden, da dies die Zeit von mehreren Wochen in Anspruch genommen hätte.

Erhoben wurden die Kfz-Anzahl jeder einzelnen Fahrspur und die Anzahl der Lkw, ebenfalls aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Fahrspuren. In Abhängigkeit der einzelnen Fahrspuren und damit des sich verändernden Blickwinkels und in Abhängigkeit von der Tageszeit, was einen Rückschluss auf den Einfluss der Beleuchtung zulässt, sind die Summen mit ihren prozentualen Abweichungen vom Sollwert (dem Ergebnis der manuellen Zählungen) in den verschiedenen Diagrammen dargestellt.

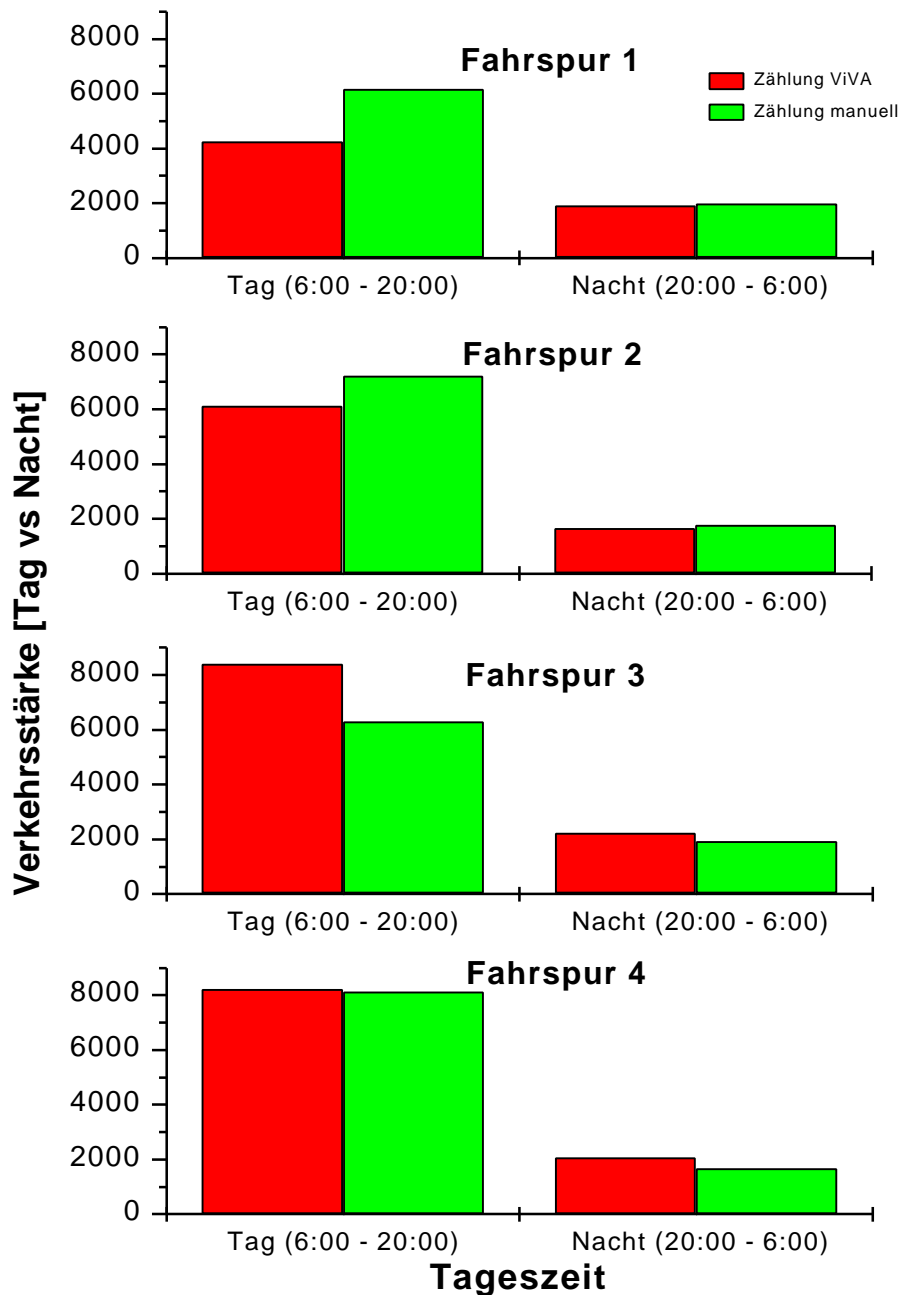


Abb.21: Kfz-Anzahl nach Fahrspuren und Tageszeit

Betrachtet man die Kfz-Anzahlen in Abhängigkeit von der Tageszeit, so liefert das System in dieser Beziehung in den Nachtstunden durchaus vertretbare Ergebnisse. Allerdings kann dies für die Geschwindigkeitsermittlung nicht gelten, wie weiter unten noch dargelegt wird.

### 6.2.2 Fahrzeugverhalten

Der Kernpunkt bei der Plausibilitätsprüfung, in Bezug auf das Fahrzeugverhalten, ist die Prüfung der von ViVA-traffic ermittelten Geschwindigkeitswerten. Die manuelle Ermittlung der Kfz-Geschwindigkeiten aus den Videosequenzen heraus, ist äußerst schwierig, und liefert kein genaues

## 6. Plausibilitätsprüfung

Ergebnis. Besser geeignet wäre die Stichprobenartige Geschwindigkeitsermittlung mit Hilfe von Verfolgungsfahrten im Bereich der Messstrecke. Es war im Rahmen dieser Diplomarbeit leider nicht möglich die Geschwindigkeitsreferenzen auf diese Art zu ermitteln. Es wurde versucht die Daten einer, in diesem Straßenquerschnitt befindlichen Induktionsschleife zu bekommen. Damit hätte man zumindest einen Vergleichswert, bzw. einen Orientierungswert für die Fahrzeuggeschwindigkeiten erhalten. Die Daten der in Frage kommenden Schleife wurden allerdings im betreffenden Zeitraum fehlerhaft gesichert, wodurch diese Möglichkeit ebenfalls unbrauchbar wurde.

Darum wurde auf die Rohdaten, aus denen ViVA-traffic die Geschwindigkeitswerte ermittelt, zurückgegriffen. Durch dieses Verfahren ist natürlich nur noch ein relativer Vergleich möglich, da verschiedene Verarbeitungsstufen bei beiden Verfahren zur Geschwindigkeitsermittlung gleich sind. Jeder Schritt von der Bilderzeugung bis zur Generierung der Rohdaten kann prinzipiell eine Fehlerquelle beinhalten, welche sich dann auch auf die Vergleichsdaten auswirken kann. In enger Zusammenarbeit mit Herrn cand.-Ing. Alexander Berreth wurde für diese Problematik ein Programm entwickelt, dessen Grundgedanke noch aus Zeiten vor dieser Diplomarbeit stammt. Nach einer Konvertierung der von ViVA-traffic erzeugten Rohdaten-Dateien in Binärdateien konnte jede Fahrkurve, die in den Dateien abgelegt war, auf dem Bildschirm dargestellt werden. Zusätzlich werden folgende Daten mit in den Diagrammen dargestellt: Die Erfassungszeit, die Anzahl der Messpunkte, die drei Parameter der Regressionsfunktion, das Bestimmtheitsmaß der Regression und zwei Geschwindigkeitswerte. Bei den Geschwindigkeitswerten handelt es sich zum einen um die Geschwindigkeit, wie sie ViVA-traffic ermittelt und zum anderen um einen Wert, der aus der ersten Ableitung der Regressionsfunktion gewonnen wird. Mit diesem Programm wurden die Fahrkurven aller Kraftfahrzeuge eines Tages dargestellt. Die visuelle Auswertung dieser Fahrkurven ergab, dass vor allem in den Nachtstunden nur sehr schlechte Weg-Zeit-Diagramme erzeugt wurden. Es lässt sich oft kein eindeutiges Fahrverhalten aus diesen Diagrammen ableiten. Damit ist aber auch der von ViVA-traffic ermittelte Geschwindigkeitswert nicht unbedingt nachzuvollziehen. Dieser Umstand machte eine aufwendige statistische Datenüberprüfung notwendig, wie sie exemplarisch für Fahrspur 1 im nächsten Kapitel beschrieben ist.

### **6.3 Hardware**

Neben der Überprüfung der Daten, wie sie das Verkehrsdatenerhebungsprogramm als Ergebnis liefert, wurde auch untersucht, welchen Einfluss die verschiedenen Kameratypen auf die Güte der Verkehrsdatenerfassung haben. Dabei muss eine Unterscheidung berücksichtigt werden: Dieser Vergleich betrifft die beiden Kameras nur, solange sie das Spektrum des sichtbaren Lichts zur Bilderzeugung nutzen. Im Gegensatz dazu steht ein Test, der die Infrarotfähigkeit der Kamera FCB-IX470P zum Thema hat.

## 6. Plausibilitätsprüfung

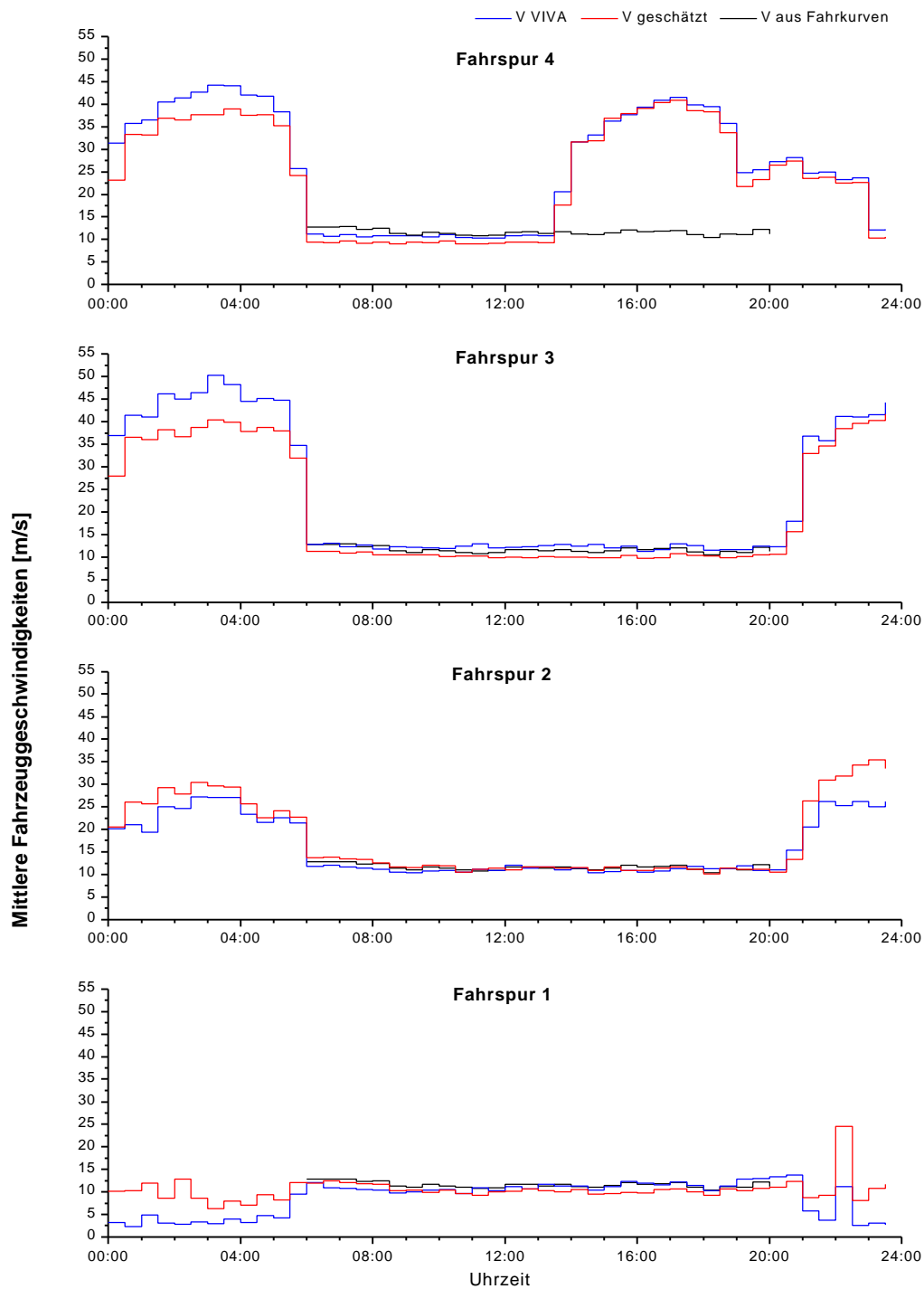


Abb.22: Mittlere Geschwindigkeiten nach Fahrspuren, Kamera FCB-IX470P

Vergleicht man die verschiedenen Diagramme in Abbildung 22 mit den Diagrammen aus Abbildung 23, so zeigt sich zum einen, dass die Geschwindigkeiten, die aus den jeweiligen Videosequenzen gewonnen wurden sehr gut übereinstimmen. Selbst die Charakteristik des Tagesverlaufes ist in beiden Abbildungen wiederzufinden. Nur bei der vierten Fahrspur gibt es eine deutliche Abweichung in den

## 6. Plausibilitätsprüfung

Daten, die aus den Bildern der Kamera FCB-IX470P gewonnen wurden. Dies kann auf die starke, seitliche Versetzung dieser vierten Fahrspur zurückgeführt werden.

In den acht Diagrammen dieser Abbildungen sind auch die mit dem statistischen Schätzverfahren ermittelten Halbstundenmittel der gefahrenen Geschwindigkeiten eingetragen (siehe dazu Kapitel 5.4.1).

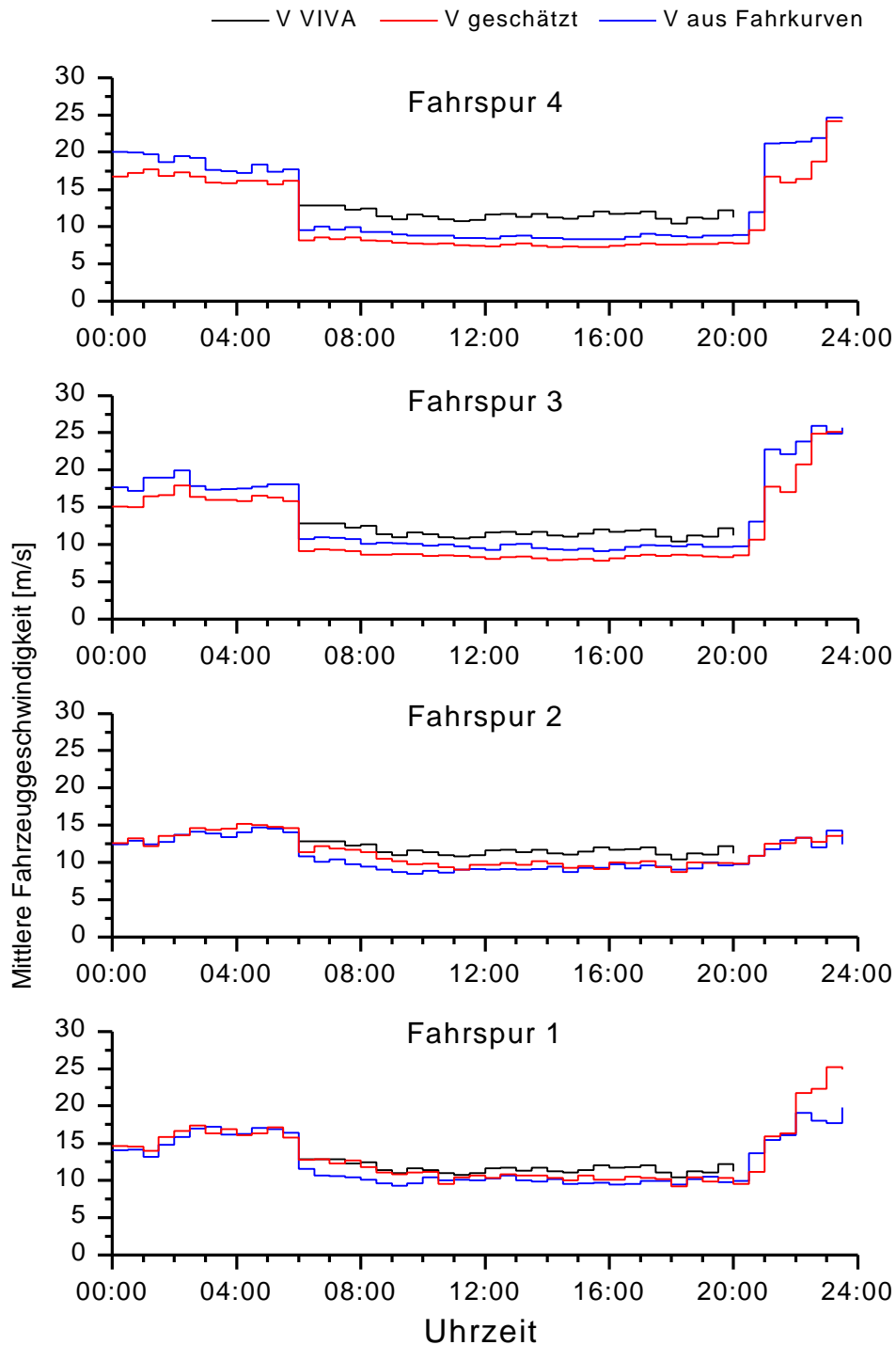


Abb.23: Mittlere Geschwindigkeit nach Fahrspuren, Kamera SSC-DC50AP

## 6. Plausibilitätsprüfung

Die besondere Optik der Kamera FCB-IX470P ließ vermuten, dass durch eine spezielle Ausleuchtung des Straßenraumes mit Infrarotlicht, die Erfassung der Objekte wesentlich verbessert werden kann. Es bestand die Hoffnung, dass vor allem das Blooming (siehe Abbildung 16), hervorgerufen durch die Scheinwerfer der Fahrzeuge, reduziert werden kann. Mit Hilfe eines speziellen Filters wurde das sichtbare Licht herausgefiltert, so dass die Leuchtwirkung des Scheinwerfers nicht in der allgemeinen vorherrschenden Helligkeitsverteilung untergehen konnte. Die Abbildung 24 zeigt deutlich, welcher großer Infrarotanteil im Licht der Kfz-Scheinwerfer enthalten ist. Der IR-Scheinwerfer dagegen zeigt keinen deutlichen Einfluss.

Als Ergebnis kann man zusammenfassen, dass eine optimale Abstimmung der beteiligten Komponenten Kamerasensor, IR-Filter, IR-Scheinwerfer und Kfz-Scheinwerfer gefunden werden muss. Vorher kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Kamera FCB-IX470P entscheidende Vorteile bei den Nachtaufnahmen gegenüber dem anderen Modell hat.



Abb.24: Messstrecke bei Nacht, aufgenommen mit IR-Modus und 720 nm - Filter

## 6. Plausibilitätsprüfung

### 6.4 Auswertung

#### 6.4.1 Einleitung

Die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung in Bezug auf das Fahrzeugverhalten haben gezeigt, dass es nicht ohne weiteres möglich ist, die Güte der Geschwindigkeitswerte zu überprüfen. Aus diesem Grund wurden die Daten einer komplexen statistischen Auswertung unterzogen.

Streng genommen ist die statistische Untersuchung, wie sie in diesem Abschnitt beschrieben wird, natürlich ein Teil der Plausibilitätsprüfung. Da aber dieses Verfahren nur angewandt wurde, weil direkt aus den Daten – in Bezug auf die Geschwindigkeitswerte – kein Ergebnis erzielt werden konnte, soll eine gewisse Trennung eingeführt werden. Darüber hinaus steht am Ende dieses Verfahrens schon ein Ergebnis, das z.B. die Frage beantworten kann, wie schnell in diesem Straßenabschnitt gefahren wird.

Die Idee des Verfahrens ist folgende: Da einige der von ViVA-traffic erzeugten Fahrkurven keine Rückschlüsse auf das Verhalten der Fahrzeuge zulassen, ist ein aus allen Fahrkurven ermittelter mittlerer Geschwindigkeitswert nicht unbedingt glaubwürdig. Wenn man nun aus allen Fahrkurven eines Halbstundenintervalls eine Stichprobe in dem Sinne zieht, dass man nur plausible Fahrkurven berücksichtigt, so kann man unter bestimmten Voraussetzungen für dieses Halbstundenintervall eine mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit mit dem dazugehörigen Vertrauensbereich errechnen. Können die weiter unten beschriebenen Randbedingungen erfüllt werden, lässt sich auf diese Weise, trotz einiger Fehlmessungen, ein Ergebnis bestimmen. Vorher muss geklärt werden, ob die Voraussetzung für die eigentliche Untersuchung gegeben ist. Für die hier angestrebte Schätzung der Mittelwerte und der Standardabweichungen müssen die Werte der gezogenen Stichprobe normalverteilt sein. Als letzter Schritt werden dann die Mittelwerte mit ihren Vertrauensbereichen geschätzt.

Exemplarisch wurden alle 19180 Fahrkurven der Fahrspur 1 eines Tages visuell ausgewertet. Die Parameter Anzahl der Messpunkte, Bestimmtheitsmaß, keine Ausreißer, Lückenlosigkeit und physikalische Korrektheit waren Entscheidungskriterien, nach denen eine Stichprobe aus den vorliegenden Fahrkurven gezogen wurde. Die Anzahl der Messpunkte war dabei das Kriterium mit dem geringsten Einfluss, da Fahrzeuge mit hoher Geschwindigkeit weniger als 100 Messpunkte haben können. Sie passieren die Messstrecke in einer geringeren Zeit, so dass nicht mehr Messungen möglich sind.

Jede dieser so ausgewählten Fahrkurven wurde anhand ihrer Erfassungszeit einer halbstündigen Zeitsequenz zugeordnet. So wurden 4029 Fahrkurven ausgewählt, die sich auf 30 Klassen verteilen. Die 18 unbesetzten Klassen deckten erwartungsgemäß den Zeitbereich der Nachtstunden von 20:00 Uhr bis 6:00 Uhr ab. Bei den ausgewählten Fahrkurven wurde mit Hilfe eines Residuentests überprüft, ob die Regression mit einer polinomischen Funktion zweiten Grades gerechtfertigt ist. Wenn sich die Punktwolke einigermaßen Gleichmässig oberhalb und unterhalb der Ordinate verteilt, ohne dabei eine schiefe oder gebogene Form gebildet wird, ist eine polynomische Funktion zweiten Grades zur Darstellung der Punktwolke des Weg-Zeit-Diagrammes geeignet (siehe dazu auch [Hartung 89]). Die

## 6. Plausibilitätsprüfung

Diagramme in Abbildung 25 zeigen, dass eine quadratische Gleichung den Messpunkteverlauf in diesem Fall sehr gut abbildet (Die dazugehörigen Histogramme sind dem Anhang beigelegt).

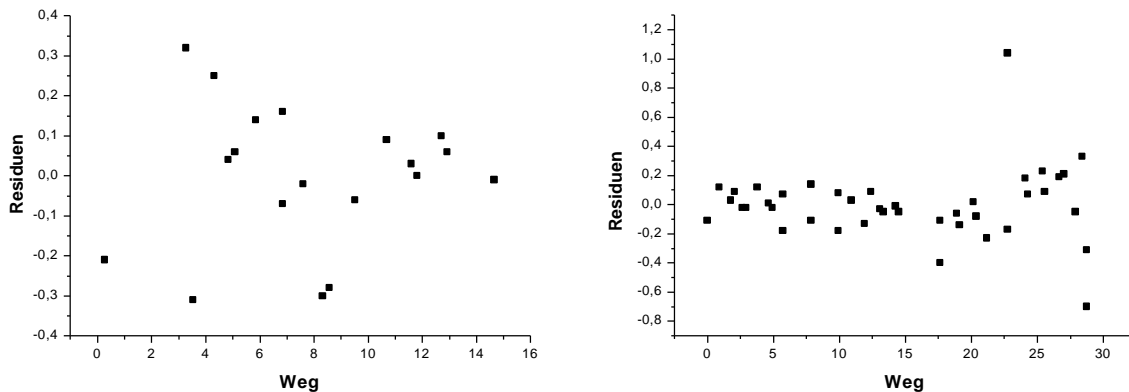


Abb.25: Grafische Darstellung der Varianzen der Fehlerterme

Bei der zweiten statistischen Voruntersuchung wurde geprüft, ob die Geschwindigkeitswerte, welche aus den ausgewählten Fahrkurven, innerhalb der Halbstundenklassen normalverteilt sind. Die Normalverteilung ist Voraussetzung dafür, dass man, mit den Mittelwerten und den Standardabweichungen der Stichproben (innerhalb der Klassen) auf die Mittelwerte und die Standardabweichungen aller Fahrzeuge dieser 30 Minuten-Sequenzen, schließen kann. Zur Prüfung der Normalverteilung wurden vier verschiedene Tests durchgeführt. Für den ersten Eindruck wurde die Häufigkeitsverteilung der ermittelten Geschwindigkeitswerte der einzelnen Halbstundenintervalle im einem Histogramm dargestellt. Häufig bedarf es, wie auch in diesem Fall, einer sehr großen Erfahrung, um aus einem Histogramm abzuleiten, ob die Werte hinreichend normalverteilt sind. Sind die Flanken zu steil, so dass sich ein Häufungspunkt ergibt, oder ist die Verteilung schief? Fragen wie diese können bei einigen Histogrammen nicht eindeutig beantwortet werden. Mit dem p-p-Test wurde ein zweiter graphischer Test durchgeführt. In den P-P-Diagrammen des Anhangs stellt die Diagonale, die ideal normalverteilten Messwerte dar. Die roten Punkte markieren die Verteilung der vorliegenden Messwerte, sie sind also angenähert, aber nicht ideal normalverteilt. Die, den P-P-Diagrammen zugeordneten Diagramme, stellen noch einmal, ähnlich einem Residuentest, die Abstände der Werte von der Ideallinie dar. Damit gibt dieser Test zwar einen besseren Eindruck der Situation wieder, aber eine Ja/Nein-Entscheidung im Sinne : „Die Werte sind normalverteilt“ oder „Sie sind nicht normalverteilt“, gibt dieser Test auch nur erfahrenen Anwendern. Ein sehr einfaches Verfahren, welches eine Ja/Nein-Entscheidung über die Normalverteilung gibt, ist der David-Pearson-Test. Dieser Test geht von der Annahme aus, dass eine Stichprobe normalverteilt ist, wenn der sogenannte David-Quotient zwischen bestimmten, tabellierten [Sachs 93] kritischen Grenzen liegt. Der David-Quotient berechnet sich aus:

## 6. Plausibilitätsprüfung

$$\frac{\text{Spannweite}}{\text{Standardabweichung}} = \frac{R}{S} \quad 2.1$$

Die kritischen Grenzen hängen vom Umfang der Stichprobe ab, und sind z.B. in [Sachs 84] tabelliert. Da dieser Test eigentlich nur eine Aussage darüber macht, ob die Spannweite der Stichprobe der Spannweite einer Normalverteilung entspricht, wurde der Test zwar auf die vorliegenden Daten angewandt, er sollte aber nicht die ausschließliche Entscheidungsgrundlage darstellen. Zwei Tests können eine eindeutiger Aussage darüber treffen, ob eine Stichprobe normalverteilt ist, oder nicht. Der Kolmogoroff-Smirnov-Test und der  $\chi^2$ -Test. Beide geben als Ergebnis einen Wert an, der mit einem tabellierten kritischen Wert verglichen werden muss. Dabei kann die Irrtumswahrscheinlichkeit selbst bestimmt werden. In [25] werden die Tests im einzelnen beschrieben, dort ist auch erläutert, dass der  $\chi^2$ -Test vor allem bei großen Stichprobenumfängen signifikant ist. Der Kolmogoroff-Smirnov-Test liefert hingegen bei kleinen Stichprobenanzahlen eine eindeutige Antwort [Hartung 89]. Die Grenze liegt dabei bei ca.  $n=40$  Messwerten pro Stichprobe. Aus diesem Grund wurde der  $\chi^2$ -Test auf die Stichprobe angewandt, die Anzahl lag in der Regel bei ca. 110 Messwerten pro Stichprobe. Der  $\chi^2$ -Test ist z.B. in [25 und 26] eingehend beschrieben. Im Anhang ist eine Berechnung exemplarisch dargestellt, die Ergebnisse sind in einer Tabelle aufgeführt. Danach kann bei allen untersuchten Stichproben die Hypothese, dass sie normalverteilt sind, nicht verworfen werden. Dieses Ergebnis schafft die Möglichkeit, dass aus der Stichprobe der Mittelwert und die Standardabweichung der Geschwindigkeitswerte geschätzt werden kann. Die Schätzung der beiden statistischen Parameter erfolgt nach einem Verfahren, wie es in [26] beschrieben ist. Danach muss erst einen Schätzwert für  $\bar{x}$  und  $s$  bestimmt werden, mit denen dann ein Konfidenzintervall für  $\mu$  und  $\sigma$  bestimmt wird. Im Anhang ist beispielhaft eine Bestimmung der Konfidenzintervalle für Mittelwert und Standardabweichung eingefügt.

Entsprechend des Verfahrens zur Ermittlung der Geschwindigkeitswerte wurde versucht auch für die Beschleunigungswerte einen Mittelwert zu berechnen. Die zweite Ableitung des Weg-Zeit-Diagramms liefert direkt einen mittleren Beschleunigungswert je Fahrzeug. Leider waren diese Werte innerhalb der Halbstundenintervalle nicht normalverteilt, so dass das Verfahren hier nicht anwendbar ist. Darüber hinaus ist die Aussagekraft eines über einen Zeitraum von einer halben Stunde gemittelten Beschleunigungswertes zweifelhaft. Vor allem, da der betrachtete Streckenabschnitt auch von Lichtsignalanlagen beeinflusst ist.

Die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte kann nur anhand eines Längenwertes ermittelt werden. Der in der Ergebniszeile an zweiter Stelle stehende Eintrag stellt die sichtbare, in die Fahrbahn projizierte Länge des detektierten Objektes dar. Das Histogramm des Anhangs stellt die bei 500 zufällig ausgewählten Objekten aufgetretenen Längen dar. Im Zeitraum der Diplomarbeit konnte kein schlüssiges Verfahren gefunden werden, nach dem die Stelle definiert werden kann, an der eindeutig der Bereich der Pkw von dem Bereich der Lkw getrennt werden könnte. Trennt man beispielsweise

nach dem eindeutigen Häufungspunkt, erhält man ein Lkw-Pkw-Verhältnis von 1 zu 1,77. Manuell wurde ein Verhältnis von 1 zu 16,7 ermittelt.

### 6.4.2 Korrelation Verkehrsdaten - Immissionsdaten

Als Beispiel dafür, was man mit den so ermittelten Verkehrsdaten untersuchen kann, sollen hier die Verkehrsdaten bestimmten Immissionsdaten gegenübergestellt werden. Die Immissionsdaten wurden direkt im Straßenraum der Heilbronner Straße erhoben. Die Diagramme zeigen den Tagesverlauf der Kfz-Anzahl in gemittelten Halbstundenwerten, sowie die gefahrenen Geschwindigkeiten. Dem gegenüber sind die Halbstundenmittel der NO<sub>x</sub>-Immissionen dargestellt. Zu bestimmten Zeitabschnitten kann man einen Zusammenhang zwischen Fahrzeuganzahl und Immissionskonzentration nicht leugnen. Eine Gegenüberstellung von CO-Immissionsdaten und Verkehrsdaten ist leider nicht möglich, da im entsprechenden Zeitraum der Verkehrsdatenerhebung das CO-Messgerät ausgefallen war.

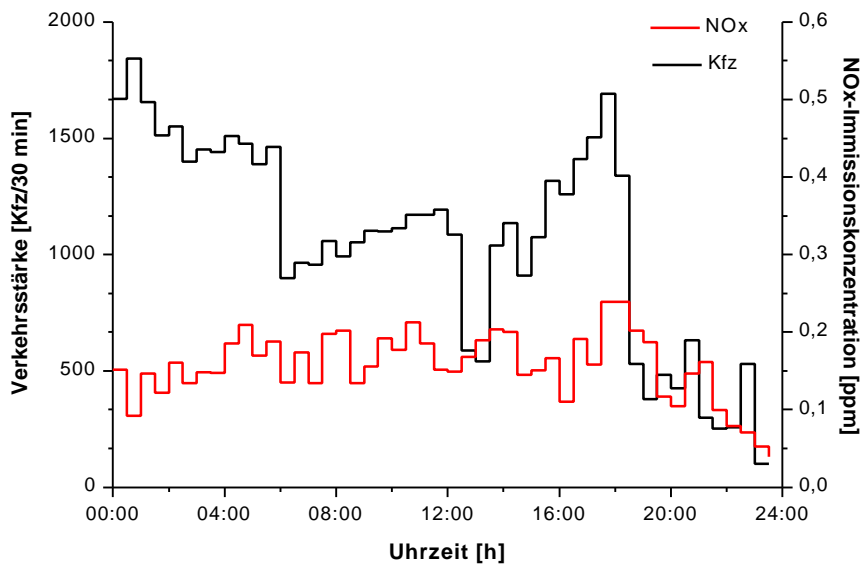


Abb.26: Grafische Darstellung von NO<sub>x</sub>-Immissionskonzentrationen und Verkehrsstärke

## 6. Plausibilitätsprüfung

### 7 Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich damit das Bildauswerteprogramm zur Verkehrsdatenerhebung ViVA-traffic in ein funktionierendes System zur Verkehrsdatenerfassung einzubetten. Es wurden sowohl Hardwarekomponenten, wie Kamera und Bilddatenspeicher als auch das Programm selbst getestet. Dabei wurde sehr deutlich, wie stark sich die äußeren Einflüsse und Randbedingungen auf das Ergebnis der Erhebung auswirken. Darüber hinaus wurden noch einzelne Schwachstellen des Programms aufgedeckt, die nur zum Teil in Zusammenarbeit mit dem Hersteller des Programms behoben werden konnten.

Zu den Ergebnissen im einzelnen kann nur etwas gesagt werden, wenn man die Umstände, unter denen sie entstanden sind, berücksichtigt. Die Datensätze, die die Grundlage für die verschiedenen Ergebnisse bilden, mussten alle mit Hilfe verschiedener Programme korrigiert werden. Erst dann konnten aus ihnen die verschiedenen Verkehrsdaten extrahiert werden.

Die Güte, bzw. Exaktheit dieser Verkehrsdaten hängt vor allem von der Ausleuchtung der Messstrecke ab. Dies zeigen vor allem die aus den Rohdaten gebildeten Fahrkurven. Nur bei ausreichender Helligkeit, so wie sie tagsüber herrscht, können aus den einzelnen Messwerten der Rohdaten schlüssige Weg-Zeit-Diagramme erstellt werden. Diese Tatsache deckt sich auch mit den Aussagen einiger Entwickler des Programms ViVA-traffic, die bestätigen, dass das Programm nicht für den Nachteinsatz entwickelt worden sei. Ein anderes Bild bietet sich, wenn man nur die Anzahl der Fahrzeuge betrachtet, und das Fahrzeugverhalten unberücksichtigt lässt. In diesem Fall ist der prozentuale Fehler nachts nur geringfügig größer als tagsüber.

Eine Klassifizierung der Fahrzeuge ist mit dem Verkehrsdatenerfassungsprogramm so gut wie nicht möglich. Einzige Grundlage hierfür ist eine Längeninformation. Es handelt sich dabei um die, in die Fahrbahnoberfläche projizierte, sichtbare Länge des Objektes. Das Auswertemakro, welches im Lieferumfang des Programms ViVA-traffic enthalten ist, teilt die Fahrzeuge anhand dieser Längeninformation in Lkw und Pkw ein. Akzeptiert man den Längenvorschlag des Programms, der den Grenzwert zwischen Lkw und Pkw darstellt, ist der Lkw-Anteil immer bei Null Prozent. In diesem Zusammenhang scheinen Programme überlegen, die größere Bereiche des Bildes auswerten und dadurch möglicherweise noch die Form des Objektes als Entscheidungskriterium bei der Klassifizierung zur Verfügung haben.

Zu den Hardwarekomponenten: Hier standen vor allem die Kameras und der Bilddatenspeicher im Mittelpunkt des Interesses. Zum Bilddatenspeicher muss gesagt werden, dass das Problem der digitalen Bildspeicherung noch nicht gelöst ist. Möchte man von bestimmten Situationen eine Bildaufzeichnung als „Beweisstück“, ist die günstigste Lösung wohl ein S-VHS-Recorder. Möchte man allerdings zu einem späteren Zeitpunkt eine Sequenz vom Band zur Auswertung in den Rechner einspielen, kommt nur ein digitales Bildformat in Frage. Festplatten sind als Massenspeicher noch ungeeignet, da eine Datenflut von 20 MBit/sek (siehe auch Kapitel 4.1) jede heute verfügbare

## 7. Diskussion und Ausblick

Plattenkapazität sprengt. Es bleibt also bis auf weiteres nur ein DV-Recorder, wie er in dieser Diplomarbeit auch eingesetzt wurde.

Bei den Kameras zeichnete sich ein ausgewogenes Bild ab. Beide lieferten bei Tageslicht ein ausgewogenes Bild über den gesamten Zeitraum dieser Diplomarbeit. Nachts hatten beide Kameras Probleme mit dem Blooming-Effekt, dem Überstahlen der hellen Bildbereiche. Es gab keine Ausfälle zu verzeichnen. Da beide in einem Wetterschutzgehäuse untergebracht werden mussten, ergab sich auch kein Nachteil aus der hüllenlosen Bauweise der FCB – IX470P. Dieses Modell funktionierte auch jenseits der vom Hersteller angegebenen Betriebsparameter einwandfrei. Unter Umständen ergibt sich noch für die Kamera FCB – IX470P ein Vorteil, durch die Fähigkeit ihres Sensors infrarotes Licht in Bildpunkte umzusetzen. In diesem Bereich spielen so viele Parameter eine Rolle, dass eingehende Laboruntersuchungen nötig sind, um die Abstimmung zwischen dem Sensitivitätsspektrum des CCD-Chips der Kamera, dem vorherrschenden Licht in der Szene – in der Situation der Heilbronner Straße hängt die Beleuchtung vor allem von den Kfz-Scheinwerfern ab – und dem Lichtspektrum der IR-Scheinwerfer, die zur Ausleuchtung der Straße eingesetzt werden, ermitteln zu können. Dabei ist zu klären, ob man sich dadurch nicht zu stark von den Gegebenheiten eines Standortes abhängig macht. Berücksichtigt man die Entwicklung in der Computertechnologie, könnte ein spezieller Algorithmus, der z.B. durch die Signale eines Lichtstärkemessgerätes aktiviert wird, die bessere Lösung der Probleme des Systems in den Nachtstunden sein.

Anschließend ist zu sagen, dass einige Entwicklungsarbeit in dieses System investiert werden muss, da der Aufwand, der zur Auswertung der Daten aufgewendet werden muss, den Einsatz einer neuen Technologie bei der Verkehrsdatenerhebung nicht rechtfertigt.

## 7. Diskussion und Ausblick

## Literaturverzeichnis

- [**Bark 90**] Andreas Bark: Untersuchung von aufgeklebten Induktionsschleifen. Straßenverkehrstechnik 1990.
- [**Bergmann 93**] Heinz Bergmann: Lexikon der Videotechnik. vde-verlag mbH 1993.
- [**Böker 84**] Richard Böker: Physikalische und informationstheoretische Untersuchung von Induktionsschleifen zur Wiedererkennung von Fahrzeugen. Dissertation 1984.
- [**Böselt 92**] Martin Böselt: Statistik. Oldenbourg Verlag 1992.
- [**Böselt 94**] Martin Böselt: Statistik-Übungsbuch. Oldenbourg Verlag 1994.
- [**Cottrell 94**] B. H. Cottrell: Evaluation of a video image detection system. Virginia 1994.
- [**Ebbecke 97**] Markus Ebbecke: Automatische Echtzeitdetektion von Verkehrsteilnehmern in Videosequenzen. Kaiserslautern 1997.
- [**Ebbecke 97**] Markus Ebbecke Christoph Hupfer Volker Rudolph: Das VideoVerkehrsanalyse-System ViVA-traffic Handbuch. Kaiserslautern 1997.
- [**Eggimann 96**] Simon Eggimann Jürg Tschirren: Benchmarking Bildverarbeitungssysteme für den Straßenverkehr. Bureau des autoroutes Fribourg 1996.
- [**Epson 94**] Epson: Farbe in Theorie und Praxis. Düsseldorf 1994.
- [**Gil 96**] Sylvia Gil Ruggero Milanese Thierry Pun: Combining Multiple Motion Estimates for Vehicle Tracking. Springer Verlag 1996.
- [**Hartung 92**] Joachim Hartung Bärbel Elpelt: Multivariate Statistik. Oldenbourg Verlag 1992.
- [**Hartung 89**] Joachim Hartung Bärbel Elpelt Karl-Heinz Klösener: Statistik. Oldenbourg Verlag 1989.
- [**Heck 98**] Ulrich Heck Udo Nehren Lothar Neumann Bernd Schaaf Jörg Schönharting Donald Windhorst: Video-Technik im Straßenwesen. Bundesanstalt für Straßenwesen 1998.
- [**Hupfer 97**] Christoph Hupfer: Computergestützte Videobildverarbeitung zur Verkehrssicherheitsarbeit – am Beispiel von Fußgängerquerungen an städtischen Hauptverkehrsstraßen. Dissertation 1997.
- [**Klein 97**] Lawrence A. Klein: Vehicle Detector Technologies for Traffic Management Applications Part 1. USA 1997.
- [**Klein 97**] Lawrence A. Klein: Vehicle Detector Technologies for Traffic Management Applications Part 2. USA 1997.
- [**Koller 93**] Dieter Koller: Detektion, Verfolgung und Klassifikation bewegter Objekte in monokularen Bildfolgen am Beispiel von Straßenverkehrsszenen. Dissertation zur künstlichen Intelligenz 1993.
- [**Lapierre 72**] Lapierre: Merkblatt Detektoren für den Straßenverkehr. Bonn 1972.
- [**Markovic 96**] Aleksander M. Markovic Claus-Hinrichs Lühns Manfred Michel Jadranka Kapkovic: Geschwindigkeitsmessungen im Straßenverkehr. Expertverlag 1996.

## Literaturverzeichnis

**[Sachs 93]** Lothar Sachs: Statistische Methoden. Springer Verlag 1993.

**[Sachs 84]** Lothar Sachs: Angewandte Statistik. Springer Verlag 1984.

**[Schweig 94]** Karl-Heinz Schweig Thilo Horstmann: DiVA – Digitale Verkehrs-Analyse. Straßenverkehrstechnik 1994.

**[Topp 96]** Hartmut H. Topp (Hrsg.): Verkehrssicherheitsarbeit mit Videobildverarbeitung. Verkehrswesen Universität Kaiserslautern 1996.

**[Topp 91]** Hartmut H. Topp (Hrsg.): Verkehr aktuell: CATS Computer-Aided Traffic Systems. Verkehrswesen Universität Kaiserslautern 1991.

**[Topp 98]** Hartmut H. Topp (Hrsg.): ViVAtraffic VideoVerkehrsanalyse in der Praxis. Verkehrswesen Universität Kaiserslautern 1998.

**[Inst. Straßen und Verkehrswesen 94]** Wacker: Verkehrsleittechnik. Skript 1994.



# Anhang

## Glossar

**Adapter:**

Anpasselement oder Anpassteil, um Geräte oder Geräteteile mit unterschiedlichen Anschlussparametern oder Anschluß- Gestaltungen miteinander verbinden zu können.

**Array:**

Anordnung von gleichartigen Elementen einer elektronischen Schaltung, eines Logikaufbaus, von Speicherbausteinen, Sensoren oder anderer Komponenten in einer mehr oder weniger regelmässigen Matrix.

**Auflösung:**

Eigenschaft, Bildeinzelheiten unterschiedlicher Leuchtdichte oder Farbe voneinander getrennt wahrnehmen bzw. aufzeichnen oder wiedergeben zu können. Das menschliche Auge kann zwei helle Punkte auf dunklem Hintergrund nur dann unterscheiden, wenn der Abstand zwischen diesen Punkten eine Bogenminute nicht unterschreitet. Dabei können Leuchtdichedifferenzen wesentlich besser unterschieden werden als Farbunterschiede. Dieser Umstand wird bei der Darstellung von farbigen Fernsehbildern dahingehend ausgenutzt, daß die Farbpixel immer vier Leuchtdichte-Pixel überdecken. Dadurch kann die zu übertragende Datenmenge erheblich reduziert werden.

**Autofocus:**

Automatische Scharfeinstellung des Objektivs auf das Aufnahmeobjekt in der Videokamera. Man unterscheidet zwischen aktiven und passiven Autofocus. Beim aktiven Autofocus werden infrarot Strahlen von der Kamera ausgestrahlt. Aus den reflektierten Strahlen wird der Objektstandort berechnet. Der passive Autofocus berechnet aus dem reflektierten Umgebungslicht die Entfernung des Objekts.

**Bildpunkt:**

Der Bildpunkt wird auch Pixel genannt. Bei der Bilddarstellung das kleinste Element des Gesamtbildes. Ein PAL-Videobild besteht bei einer Auflösung von 750 X 550 Pixel aus 412500 Bildpunkten.

**Bildsignal:**

Elektrisches Signal, daß alle Informationen für die Darstellung eines Video- oder Fernsehbildes enthält. Das sind bei dem sog. BAS-Signal die Information über den Bildinhalt (B), das Austast-Signal (A) und den Synchronisation-Signalen. Das FBAS-Signal enthält zusätzlich noch die Farbinformation des Bildes.

**Bildwinkel:**

Der Bildwinkel ist ein Maß für die Größe des erfaßten Bildausschnittes bzw. der abgebildeten Szene. Der Bildwinkel ergibt sich aus der Diagonale des Bildes und der Brennweite des Objektivs. Normalobjektive haben einen Bildwinkel von 45°.

**Blooming:**

Helle Stellen eines Bildes überstrahlen benachbarte Teile der Szene und werden größer dargestellt, als die im Verhältnis tatsächlich sind. Sie enthalten dabei keine Details des Bildes

## Anhang

mehr. Es handelt sich dabei um eine Nebenerscheinung der optisch-elektrischen Bildwandlung in der Videokamera.

### **BNC:**

Koaxiale Steckverbindung für Bild- und Tonsignale. Entspricht dem Prinzip der Cinch-Stecker. Der eigentliche Leiter wird durch einen Metallmantel vor Stöhereinflüssen abgeschirmt, der gleichzeitig als Masse dient.

### **CCD-Bildsensor:**

Charge Coupled Device Bildsensor. Es handelt sich um einen Festkörper-Bildwandler, aufgebaut durch einige Speicherelemente sog. MOS-Kondensatoren. Proportional zur auftretenden Lichtstärke werden Ladungsträger erzeugt, die durch ein Auslese-CCD zwischengespeichert und ausgelesen werden.

### **CD-ROM:**

Compact Disk Read Only Memory. Optischer Festwertspeicher, auf dem verschiedene Informationen in digitaler Form gespeichert werden können. Übliche Speicherkapazität sind 620 MB.

### **Differenzbildverfahren:**

Verfahren zur Bewegungsdetektion aus Videosequenzen. Von dem aktuellen Bild wird das Hintergrundbild abgezogen. Überall dort wo die Differenz nicht gleich Null ist befindet sich ein zu erfassendes Objekt. Siehe auch optischer Fluß.

### **DPI:**

Dots per Inch. Maß für die Auflösung auf der Basis des englischen Längensmaßes.

### **Hosiden-Buchse:**

Auch Y/C-, S-VHS- oder S-Buchse genannt. Mit diesem Stecker und der dazu gehörigen Leitung können Farb- und Leuchtdichtesignal getrennt übertragen werden. Der Stecker ist dabei wesentlich einfacher aufgebaut, als eine Scart-Steckverbindung.

### **Laptop:**

Tragbarer PC, bei dem Rechner, Tastatur und Bildschirm eine Einheit bilden.

### **Leuchtdichtesignal:**

Auch Luminanzsignal genannt. Es handelt sich um den Y-Anteil (die Helligkeit) eines elektrischen Bildsignals und kann aus den Farbwertsignalen R, G, und B berechnet werden.  $Y=0,30*R+0,59*G+0,11*B$ .

### **Optischer Fluß:**

Zwei aufeinander folgende Bilder werden verglichen. Objektpunkte, die im ersten Bild bestimmt wurden müssen im zweiten Bild wieder gefunden werden. Mit diesen Punkten kann je ein Vektor gebildet werden. Die Summe dieser Vektoren wird optischer Fluß genannt.

### **Pixel:**

Siehe Bildpunkt.

### **S-VHS:**

Weiterentwicklung des Videosystems VHS. Es zeichnet sich durch eine höhere Auflösung und geringerem Rauschen aus.

**VHS:**

Video Home System. Das Videorecorder-system zeichnet Bild- und Tonsignale im Schrägspurverfahren auf Videobänder auf. Es ist ein sehr weit verbreitetes Videosystem.

**Y/C-Buchse:**

Siehe Hosiden-Buchse.

**Zoom-Funktion:**

Ein Zoom-Objektiv, auch Vario-Objektiv genannt, ermöglicht eine kontinuierliche Veränderung der Brennweite. Dabei soll der Brennweitenbereich möglichst groß sein (1:3 bis 1:10) ohne optische Verzerrungen aufzuweisen. Sowohl die Abbildungsebene als auch der durchgelassene Lichtstrom sollen konstant sein. Elektronisch kann eine Zoom-Funktion durch einen digitalen Einzelspeicher realisiert werden, d.h. ein Halbbild wird aus dem Speicher eingelesen und dann werden bestimmte Bildpunkte mehrfach ausgewertet. Diese werden auf dem Bildschirm wiedergegeben. Dieses mehrfache Auslesen einzelner Bildpunkte bewirkt den Vergrößerungseffekt.

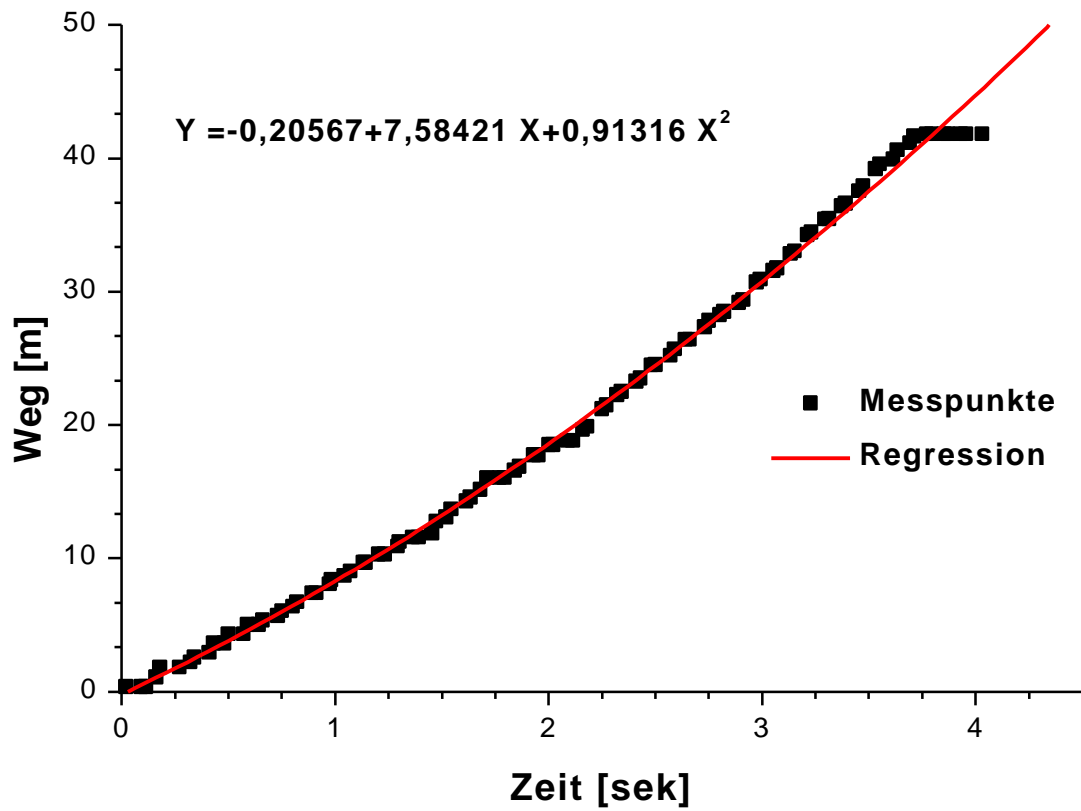


Abb.1: Stellt exemplarisch eine „gute“ Fahrkurve dar.

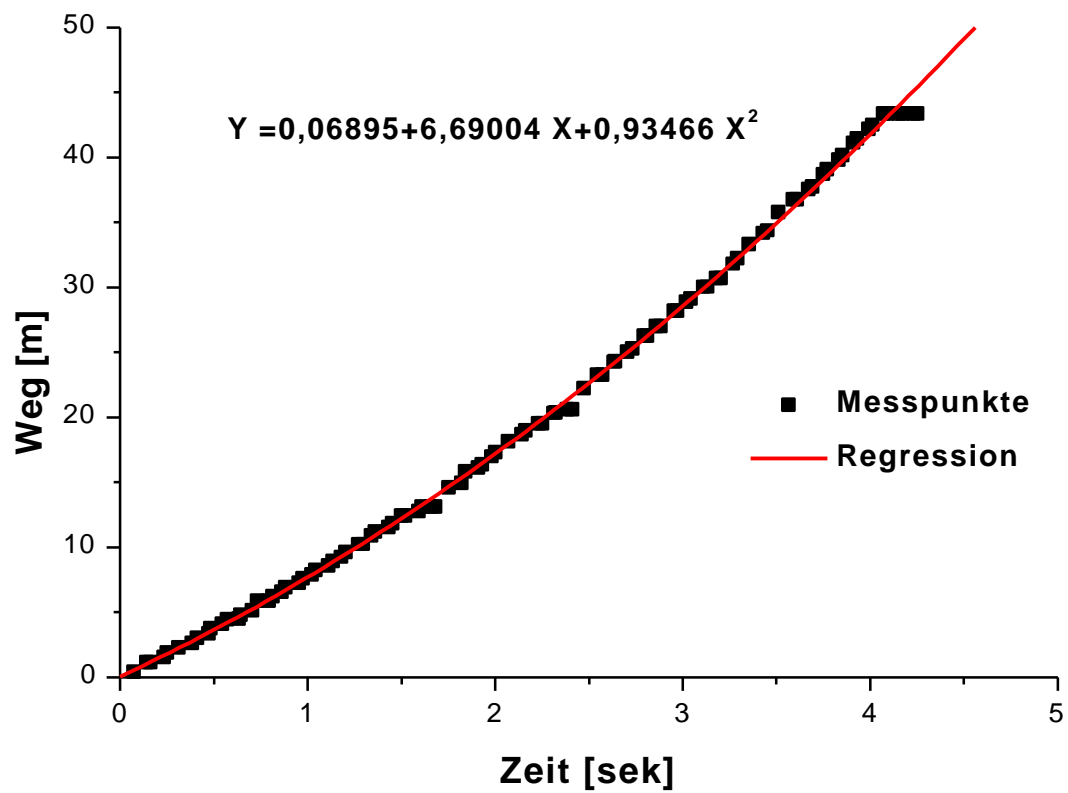


Abb.2: Stellt exemplarisch eine „gute“ Fahrkurve dar.

# Anhang

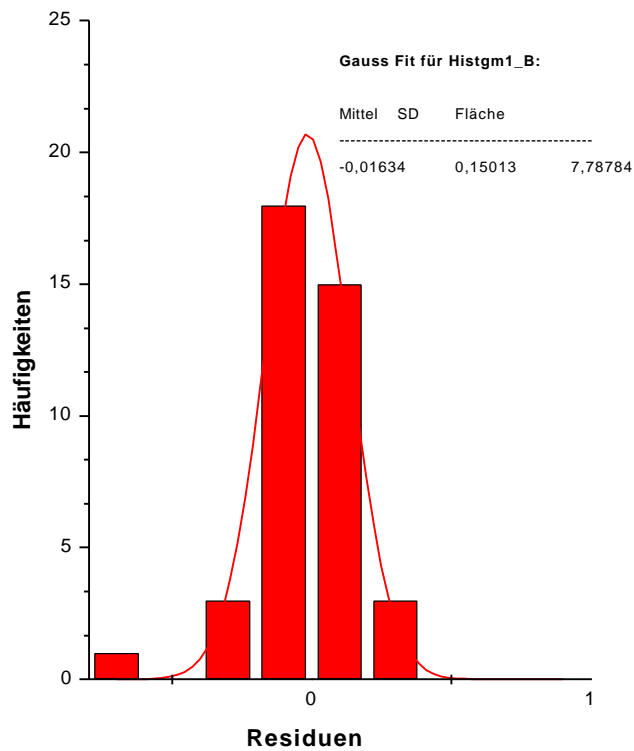


Abb.3: Stellt ein Histogramm dar. Für den Test, ob eine quadratische Regression geeignet ist.

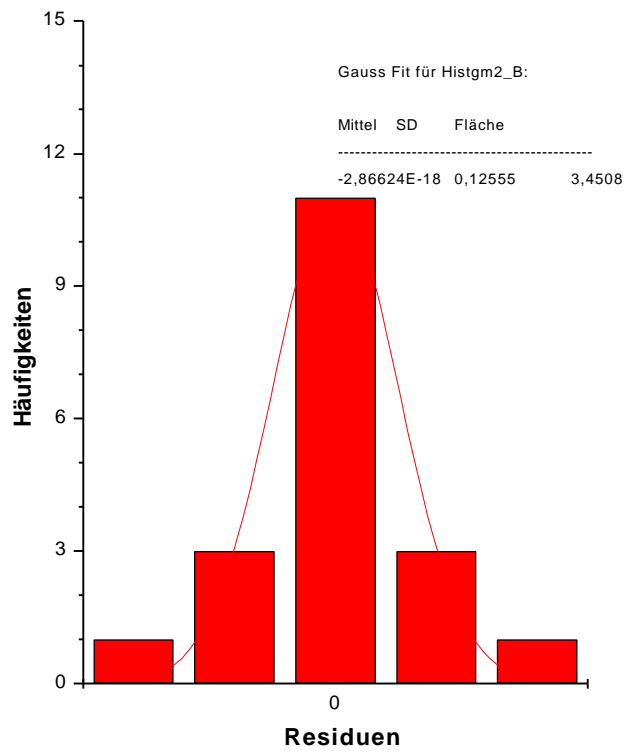


Abb.4: Stellt ein Histogramm dar. Für den Test, ob eine quadratische Regression geeignet ist.

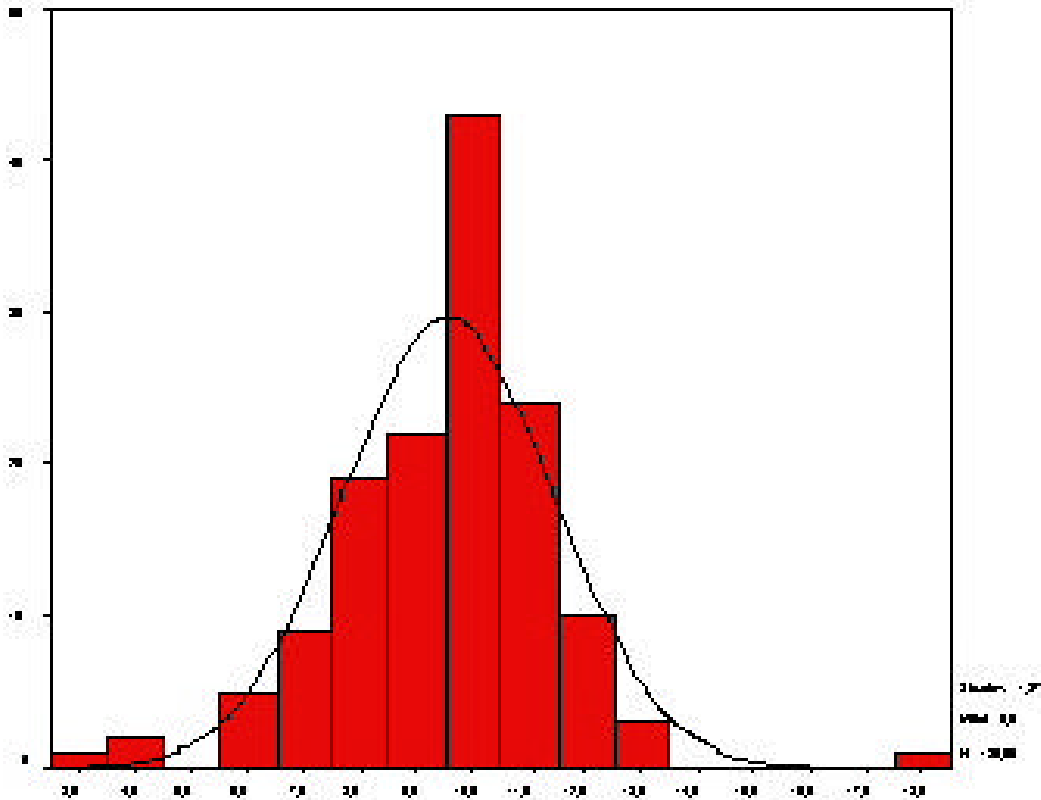


Abb.4: Stellt ein Histogramm dar. Für den Test, ob die Geschwindigkeitswerte eines Halbstundenintervalls normalverteilt sind.

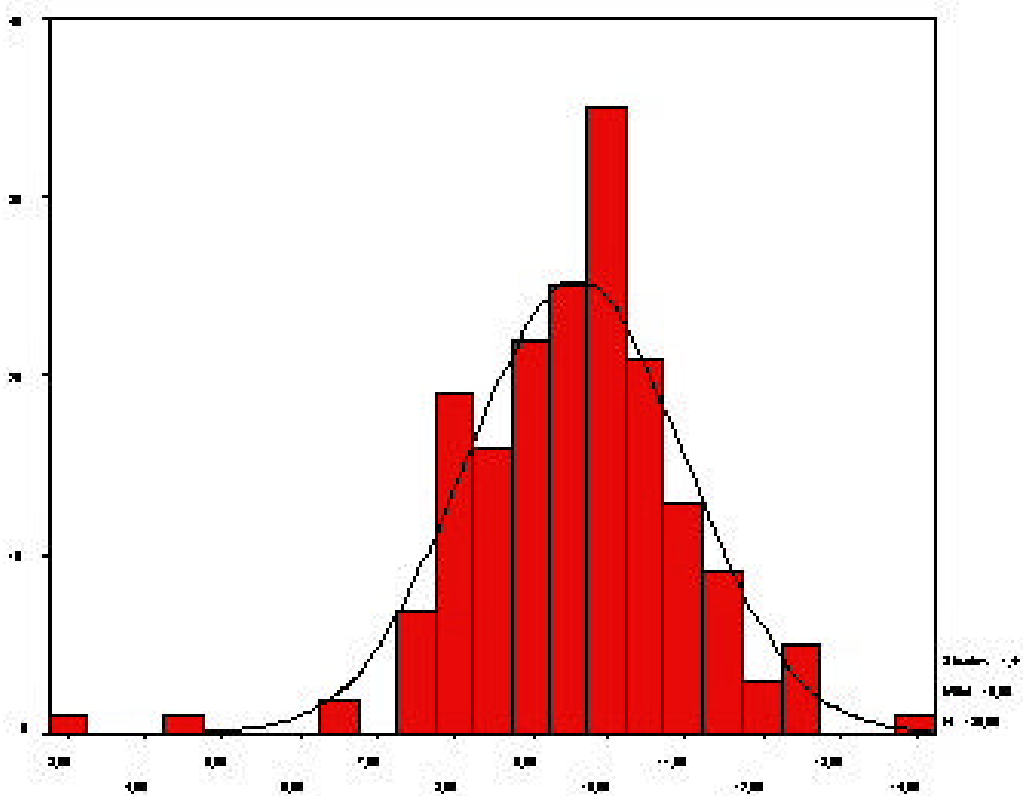
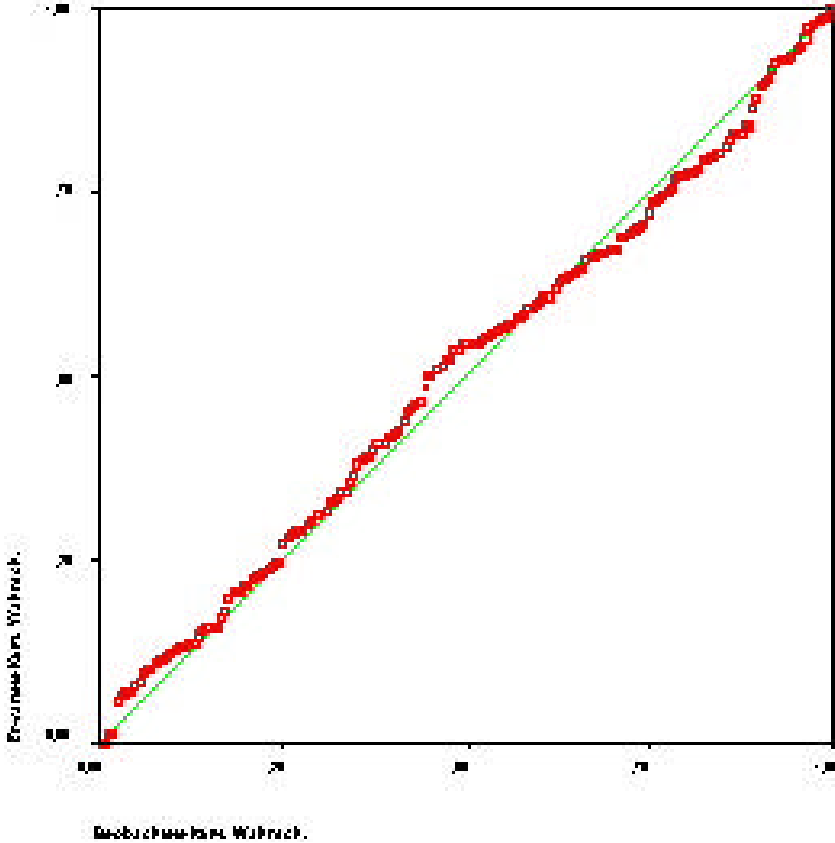
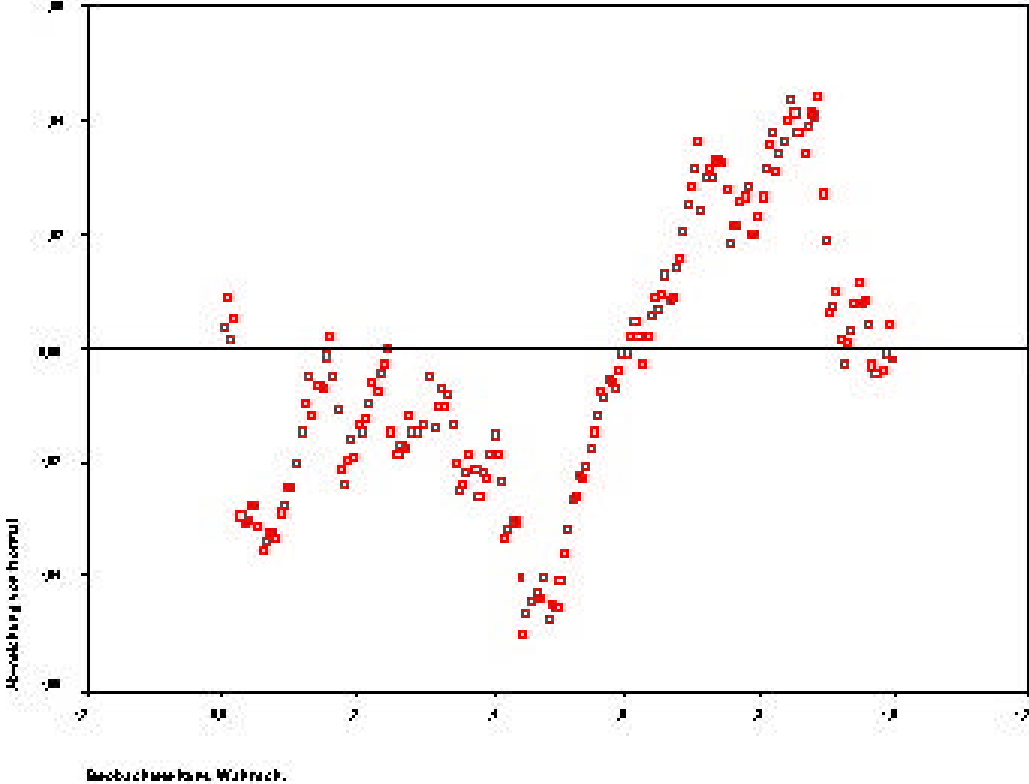


Abb.4: Stellt ein Histogramm dar. Für den Test, ob die Geschwindigkeitswerte eines Halbstundenintervalls normalverteilt sind.

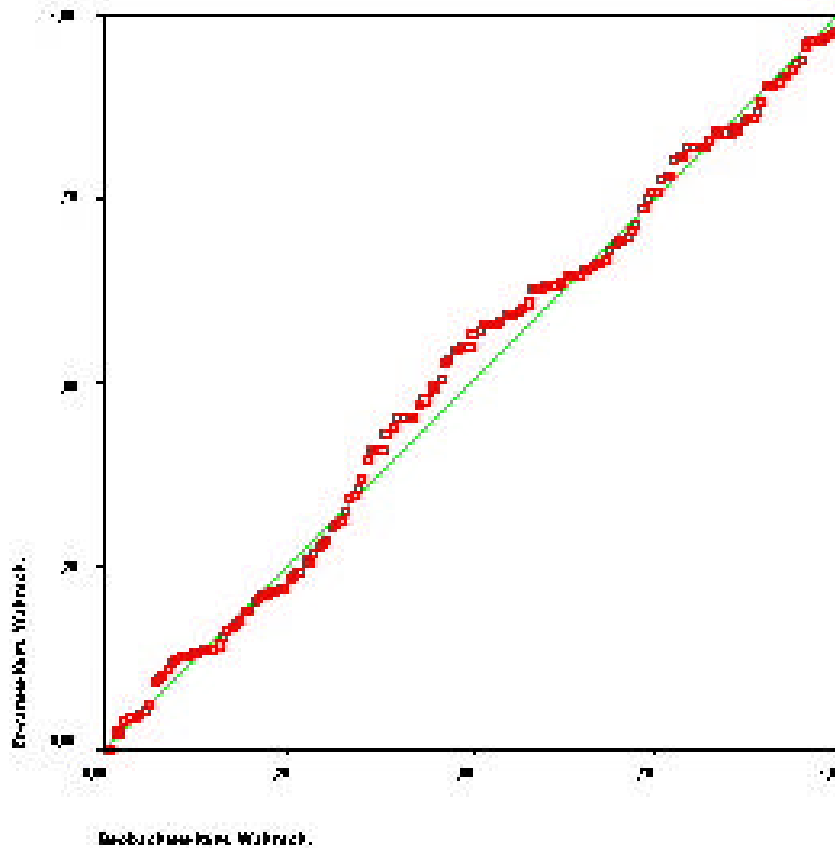
P-P-Diagramm von Normal von VM



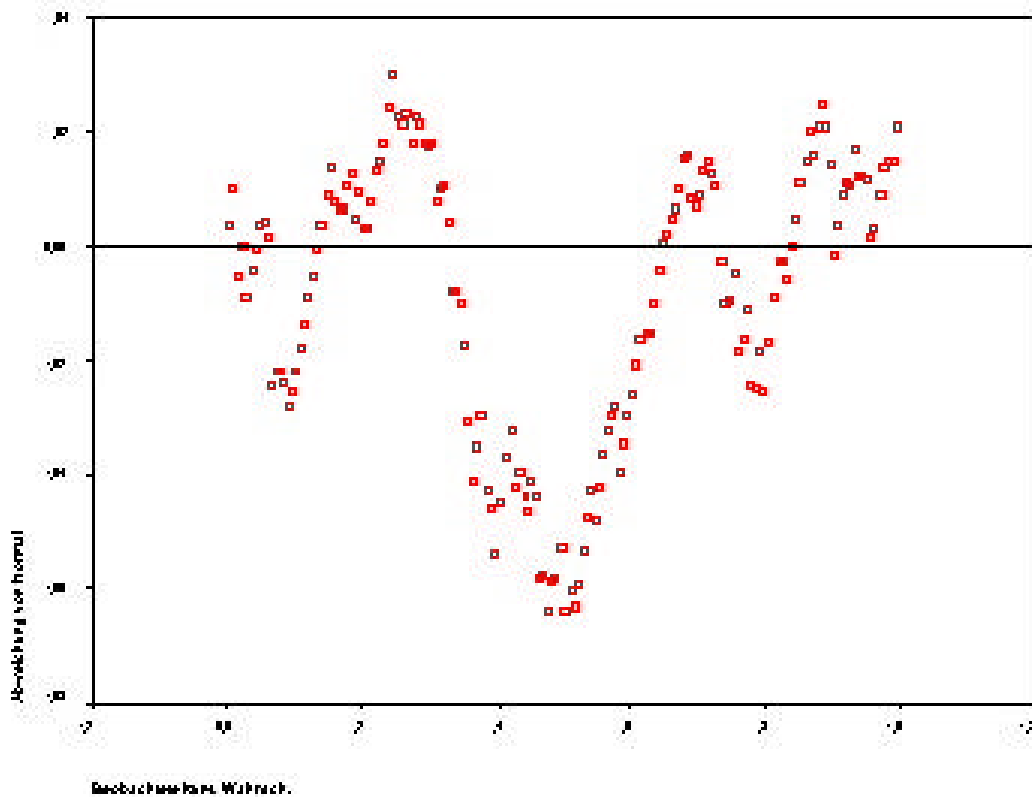
Trendbereinigtes P-P-Diagramm von Normal von VM



P-P-Diagramm von Normal von VM



Trendbereinigtes P-P-Diagramm von Normal von VM



## Anhang

<b>Übersicht über die Bildaufzeichnung</b>				
<b>Band Nr.</b>	<b>Zeit</b>	<b>Datum</b>	<b>Bandart</b>	<b>Bandlänge</b>
1	00:00 - 00:30	11. Aug	DVCAM	184 min
	01:00 - 01:30			
	03:00 - 03:30			
	04:00 - 04:30			
2	08:00 - 08:30	11. Aug	DVCAM	124 min
	10:00 - 10:30			
	12:00 - 12:30			
	14:00 - 14:30			
3	23:00 - 23:30	11.08 - 12.08	DVCAM	184 min
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
	03:00 - 03:30			
	04:00 - 04:30			
4	09:00 - 09:30	12. Aug	DVCAM	124 min
	11:00 - 11:30			
	13:00 - 13:30			
	15:00 - 15:30			
5	22:00 - 22:30	12.8 - 13.8	DVCAM	184 min
	23:00 - 23:30			
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
	03:00 - 03:30			
6	09:00 - 09:30	13. Aug	DVCAM	124 min
	11:00 - 11:30			
	13:00 - 13:30			
	15:00 - 15:30			
7	21:00 - 21:30	13.8 - 14.8	DVCAM	184 min
	22:00 - 22:30			
	23:00 - 23:30			
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
8	11:00 - 11:30	14. Aug	DVCAM	124 min
	13:00 - 13:30			
	15:00 - 15:30			
	17:00 - 17:30			
9	23:00 - 23:30	14.8 - 15.8	DVCAM	184 min
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
	03:00 - 03:30			
	04:00 - 04:30			
10	11:00 - 13:00	15. Aug	Hi 8	120 min

11	23:00 - 23:30	15.8 - 16.8	DVCAM	184 min
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
	03:00 - 03:30			
	04:00 - 04:30			
12	09:00 - 09:30	16. Aug	DVCAM	184 min
	10:00 - 10:30			
	11:00 - 11:30			
	12:00 - 12:30			
	13:00 - 13:30			
	14:00 - 14:30			
13	22:00 - 22:30	16.8 - 17.8	DVCAM	184 min
	23:00 - 23:30			
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
	03:00 - 03:30			
14	21:15 - 21:45	20.8 - 21.8	DVCAM	184 min
	00:00 - 00:30			
	03:00 - 03:30			
	06:00 - 06:30			
	08:00 - 08:30			
	11:00 - 11:30			
15	11:30 - 12:00	23. Aug	DVCAM	184 min
	15:00 - 15:30			
	17:00 - 17:30			
	19:00 - 19:30			
	20:00 - 20:30			
	11:10 - 11:45	24.8.		
16	21:00 - 21:30	23. 8 - 24. 8	DVCAM	184 min
	22:00 - 22:30			
	23:00 - 23:30			
	00:00 - 00:30			
	01:00 - 01:30			
	02:00 - 02:30			
17		29.7 - 30.7	DVCAM	184 min
18		4.11 - 5.11	DVCAM	184 min
D1	23:55 - 3:00	25. Aug	DVCAM	184 min
D2	3:00 - 6:09	26. Aug	DVCAM	184 min
D3	6:09 - 9:15	26. Aug	DVCAM	184 min
D4	9:15 - 12:20	26. Aug	DVCAM	184 min
D5	12:20 - 15:25	26. Aug	DVCAM	184 min
D6	15:25 - 18:30	26. Aug	DVCAM	184 min
D7	18:30 - 21:30	26. Aug	DVCAM	184 min
D8	21:30 - 00:05	26. Aug	DVCAM	184 min

## Anhang

Zeit	n	x	s	t	k	$\mu_u$	$\mu_o$	$X^2_u$	$X^2_o$	$L_1$	$L_2$	$\mu_M$
06:00	48,00	12,82	2,33	2,01	0,68	12,14	13,50	67,80	30,00	3,76	8,51	12,82
06:30	163,00	12,81	2,44	1,98	0,38	12,43	13,19	219,71	129,62	4,39	7,44	12,81
07:00	186,00	12,84	2,16	1,98	0,32	12,52	13,16	225,59	153,45	3,83	5,62	12,84
07:30	177,00	12,28	1,86	1,98	0,28	12,00	12,56	215,64	142,16	2,82	4,28	12,28
08:00	138,00	12,48	2,03	1,98	0,34	12,14	12,82	172,38	107,42	3,28	5,26	12,48
08:30	135,00	11,38	2,49	1,98	0,43	10,96	11,81	169,01	10,48	4,92	79,28	11,38
09:00	157,00	11,00	2,18	1,98	0,34	10,66	11,34	193,54	124,26	3,83	5,97	11,00
09:30	125,00	11,64	2,12	1,98	0,38	11,26	12,02	157,81	95,97	3,53	5,81	11,64
10:00	180,00	11,36	1,85	1,97	0,27	11,09	11,63	218,96	144,84	2,80	4,23	11,36
10:30	160,00	10,99	2,21	1,98	0,35	10,65	11,34	196,85	126,94	3,94	6,12	10,99
11:00	121,00	10,77	2,11	1,98	0,38	10,39	11,15	152,21	91,57	3,51	5,83	10,77
11:30	140,00	10,95	2,33	1,98	0,39	10,56	11,34	174,61	109,19	4,32	6,91	10,95
12:00	144,00	11,62	1,98	1,98	0,33	11,29	11,95	179,09	112,71	3,13	4,97	11,62
12:30	169,00	11,70	1,83	1,97	0,28	11,42	11,98	206,80	134,99	2,72	4,17	11,70
13:00	94,00	11,34	2,27	1,99	0,47	10,88	11,81	122,70	69,10	3,91	6,94	11,34
13:30	130,00	11,71	1,91	1,98	0,33	11,38	12,04	163,41	100,38	2,88	4,69	11,71
14:00	135,00	11,21	2,13	1,98	0,36	10,85	11,57	169,01	104,79	3,60	5,80	11,21
14:30	156,00	11,03	2,42	1,98	0,38	10,65	11,41	192,43	123,36	4,72	7,36	11,03
15:00	140,00	11,42	2,51	1,98	0,42	11,00	11,84	174,61	109,19	5,02	8,02	11,42
15:30	134,00	12,05	2,70	1,98	0,46	11,59	12,51	167,89	103,12	5,78	9,40	12,05
16:00	165,00	11,67	2,34	1,97	0,36	11,31	12,03	202,38	131,42	4,44	6,83	11,67
16:30	163,00	11,82	2,39	1,97	0,37	11,45	12,19	200,17	129,63	4,62	7,14	11,82
17:00	169,00	12,02	2,40	1,97	0,36	11,66	12,38	206,80	134,99	4,68	7,17	12,02
17:30	245,00	11,08	1,75	1,97	0,22	10,86	11,30	162,73	241,06	4,59	3,10	11,08
18:00	178,00	10,42	1,84	1,97	0,27	10,15	10,69	216,75	143,05	2,76	4,19	10,42
18:30	151,00	11,22	1,87	1,98	0,30	10,92	11,52	186,91	118,79	2,81	4,42	11,22
19:00	32,00	11,03	2,00	2,04	0,72	10,31	11,75	49,50	18,30	2,51	6,78	11,03
19:30	62,00	12,18	2,51	2,00	0,64	11,54	12,82	85,70	42,10	4,48	9,13	12,18
20:00	26,00	11,22	2,88	2,06	1,16	10,06	12,38	41,90	13,80	4,95	15,03	11,22

n=Anzahl der Werte  
 x=Mittelwert geschätzt nach Likelihood  
 s=Standartabweichung geschätzt nach Likelihood  
 t=Wert der t-Verteilung für n-1 und alpha=0,05  
 k=Wert des Konfidenzintervall  
 $\mu_u$ =untere Grenze des Konfidenzbandes von  $\mu$   
 $\mu_o$ =obere Grenze des Konfidenzbandes von  $\mu$   
 $X^2_o$ =Wert der X2-Verteilung für alpha =0,025  
 $X^2_u$ =Wert der X2-Verteilung für alpha =0,0975  
 $L_1$ =untere Grenze des Konfidenzbandes von Sigma  
 $L_2$ =obere Grenze des Konfidenzbandes von Sigma

Tabelle der Werte für die Schätzung von Mittelwert und Standartabweichung der Halbstundenintervalle.

$$k = t_{n-1; \alpha/2} * (s/(n))^{0,5}$$

$$L_1 = (n-1)/X^2_{n-1; \alpha/2}$$

$$L_2 = (n-1)/X^2_{n-1; 1- \alpha/2}$$

Berechnung nach [Böselt 92]

Quellcode des Konvertierungsprogrammes zur Korrektur der AVE-Dateien.

VERSION 5.00

Object = "{6B7E6392-850A-101B-AFC0-4210102A8DA7}#1.2#0"; "COMCTL32.OCX"

Begin VB.Form Minikonvert

Caption = "Minikonvert"

ClientHeight = 2385

ClientLeft = 60

ClientTop = 345

ClientWidth = 4065

LinkTopic = "Form1"

ScaleHeight = 2385

ScaleWidth = 4065

StartPosition = 3 'Windows Default

Begin ComctlLib.StatusBar Status

Align = 2 'Align Bottom

Height = 495

Left = 0

TabIndex = 5

Top = 1890

Width = 4065

\_ExtentX = 7170

\_ExtentY = 873

Style = 1

SimpleText = "Bereit"

\_Version = 327682

BeginProperty Panels {0713E89E-850A-101B-AFC0-4210102A8DA7}

NumPanels = 1

BeginProperty Panel1 {0713E89F-850A-101B-AFC0-4210102A8DA7}

Key = ""

Object.Tag = ""

EndProperty

EndProperty

End

Begin VB.CommandButton Command1

Caption = "Konvertierung starten"

Height = 495

## Anhang

Left = 600  
TabIndex = 4  
Top = 1200  
Width = 2655

End

Begin VB.TextBox Zielfdatei

Height = 285  
Left = 1080  
TabIndex = 3  
Text = "c:\statistik\ziel.ave"  
Top = 600  
Width = 2655

End

Begin VB.TextBox Quelldatei

Height = 285  
Left = 1080  
TabIndex = 1  
Text = "c:\statistik\quelle.ave"  
Top = 240  
Width = 2655

End

Begin VB.Label Label2

Caption = "Zielfdatei"  
Height = 255  
Left = 120  
TabIndex = 2  
Top = 600  
Width = 855

End

Begin VB.Label Label1

Caption = "Quelldatei"  
Height = 255  
Left = 120  
TabIndex = 0  
Top = 240  
Width = 855

End

```
End
Attribute VB_Name = "Minikonvert"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Private Sub Command1_Click()

'Hier folgt die Bearbeitung der Files
Dim Zeile_Lesen As String
Dim Zeile_Schreiben As String
Dim Zeile_Laenge As Integer
Dim String_Puffer As String
Dim Puffer_Links As String
Dim Puffer_Rechts As String
Dim Uhr As String

Dim Dummy As String
Dim a, b, e, stunde, minute, sekunde As Integer
Dim c, d As Double
Dim Zaehler As Double
Dim Anzahl As Double
Dim x(150) As Single
Dim y(150) As Single
Dim t(150) As Single
Dim Letzte_Zeile '1: Zeile begann mit $
                '2: Zeile begann mit t
                '3: Zeile begann mit x
                '4: Zeile begann mit y

Dim t_referenz As Double
Dim t_offset As Double
Dim t_letztes As Double
t_offset = 0
t_referenz = 0
t_letztes = 0
Anzahl = 0
Status.SimpleText = "Ermittle Anzahl der Zeilen"
```

## Anhang

```
Open Quelldatei For Input As #1
Do While Not EOF(1)
Line Input #1, Dummy
Anzahl = Anzahl + 1
Loop
Close #1
```

'Dieser Text zeigt nur an, dass etwas passiert

```
Open Quelldatei For Input As #1
Open Zieldatei For Output As #2
Zaehler = 0
Letzte_Zeile = 0

Do While Not EOF(1)
Zaehler = Zaehler + 1
Status.SimpleText = "Bearbeite Zeile" + Str(Zaehler) + " von" + Str(Anzahl)
Line Input #1, Zeile_Lesen
Zeile_Schreiben = ""
If Left(Zeile_Lesen, 1) = "$" Then GoTo Typ1_Bearbeiten
If Left(Zeile_Lesen, 1) = "t" Then GoTo Typ2_Bearbeiten
If Left(Zeile_Lesen, 1) = "x" Then GoTo Typ3_Bearbeiten
If Left(Zeile_Lesen, 1) = "y" Then GoTo Typ4_Bearbeiten
If Letzte_Zeile = 4 Then GoTo Typ5_Bearbeiten
GoTo SATZ_ENDE
```

'Hier werden Zeilen mit \$-Zeichen bearbeitet

```
Typ1_Bearbeiten:
Zeile_Schreiben = Zeile_Lesen
Letzte_Zeile = 1
GoTo Datensatz_Schreiben
'-----
```

'Hier werden Zeilen mit t-Zeilen bearbeitet

```
Typ2_Bearbeiten:
Letzte_Zeile = 2
a = 0
b = 0
```

```

String_Puffer = ""
Zeile_Laenge = Len(Zeile_Lesen)
Zeile_Lesen = Right(Zeile_Lesen, (Len(Zeile_Lesen) - 3))
Zeile_Laenge = Zeile_Laenge - 3
For a = 1 To Zeile_Laenge
If Mid(Zeile_Lesen, a, 1) = ";" Then GoTo Typ2_Zahl_Erzeugen
GoTo Typ2_Puffer_Erzeugen
Typ2_Zahl_Erzeugen:
t(b) = Val(String_Puffer)
b = b + 1
String_Puffer = ""
GoTo Typ2_Nächste_Zahl

Typ2_Puffer_Erzeugen:
If (Mid(Zeile_Lesen, a, 1)) = "," Then String_Puffer = String_Puffer + "."

If (Mid(Zeile_Lesen, a, 1)) <> "," Then String_Puffer = String_Puffer + Mid(Zeile_Lesen, a, 1)

GoTo Typ2_Nächste_Zahl

Typ2_Nächste_Zahl:
Next a

'Letzte Zahl erzeugen

t(b) = Val(String_Puffer)
String_Puffer = ""

' Hier kann konvertiert werden
If (t(b) + 20) + t_offset < t_referenz Then t_offset = t_letztes '5s Toleranz
For a = 0 To b
t(a) = t(a) + t_offset
Next a
t_referenz = t(b)
t_letztes = t(b)

```

## Anhang

'Hier wird Rückspeicherung vorbereitet

```
String_Puffer = "t"
```

```
For a = 0 To b
```

```
String_Puffer = String_Puffer + " ;"
```

```
String_Puffer = String_Puffer + Str(t(a))
```

```
Next a
```

'Hier werden Punkte durch Kommas ersetzt

```
Zeile_Schreiben = ""
```

```
For a = 1 To Len(String_Puffer)
```

```
If (Mid(String_Puffer, a, 1)) = "." Then Zeile_Schreiben = Zeile_Schreiben + ","
```

```
If (Mid(String_Puffer, a, 1)) <> "." Then Zeile_Schreiben = Zeile_Schreiben + (Mid(String_Puffer, a, 1))
```

```
Next a
```

```
GoTo Datensatz_Schreiben
```

```
'-----
```

'Hier werden Zeilen mit x(t) bearbeitet

```
Typ3_Bearbeiten:
```

```
Letzte_Zeile = 3
```

```
Zeile_Schreiben = Zeile_Lesen
```

```
GoTo Datensatz_Schreiben
```

```
'-----
```

'Hier werden Zeilen mit y(t) bearbeitet

```
Typ4_Bearbeiten:
```

```
Letzte_Zeile = 4
```

```
Zeile_Schreiben = Zeile_Lesen
```

```
GoTo Datensatz_Schreiben
```

```
'-----
```

```
Typ5_Bearbeiten:
```

```
Letzte_Zeile = 5
```

```
a = 0
```

```
e = 0
```

```
String_Puffer = ""
```

```
Puffer_Links = ""
```

```
Puffer_Rechts = ""
```

```
Zeile_Laenge = Len(Zeile_Lesen)
```

```
Uhr = ""
```

```

For a = 1 To Zeile_Laenge
If Mid(Zeile_Lesen, a, 1) = ";" Then GoTo String_Erzeugen
String_Puffer = String_Puffer + Mid(Zeile_Lesen, a, 1)
GoTo Weiterlesen

```

String\_Erzeugen:

```
e = e + 1
```

```

If e > 2 Then GoTo String_Erzeugen_Rechts
Puffer_Links = Puffer_Links + String_Puffer + ";"
String_Puffer = ""
GoTo Weiterlesen

```

String\_Erzeugen\_Rechts:

```
String_Puffer = ""
```

Weiterlesen:

```
Next a
```

```
Puffer_Rechts = Str(t(b)) + ";" + String_Puffer
```

```
For a = 1 To Len(Puffer_Rechts)
```

```
If (Mid(Puffer_Rechts, a, 1)) = "." Then Zeile_Schreiben = Zeile_Schreiben + ","
```

```
If (Mid(Puffer_Rechts, a, 1)) <> "." Then Zeile_Schreiben = Zeile_Schreiben + (Mid(Puffer_Rechts, a, 1))
```

```
Next a
```

```
If (t(b) > 86400) Then t(b) = t(b) - 86400
```

```
t_referenz = t(b)
```

```
t_letztes = t(b)
```

```
stunde = Int(t(b) / 3600)
```

```
minute = Int((t(b) - (3600 * stunde)) / 60)
```

```
If minute = 60 Then minute = 0
```

```
sekunde = Int(t(b) - (stunde * 3600 + minute * 60))
```

```
If sekunde = 60 Then sekunde = 0
```

## Anhang

```
If stunde < 10 Then Uhr = Uhr + " 0" + CStr(stunde) + ":"
```

```
If stunde > 9 Then Uhr = Uhr + " " + CStr(stunde) + ":"
```

```
If minute < 10 Then Uhr = Uhr + "0" + CStr(minute) + ":"
```

```
If minute > 9 Then Uhr = Uhr + CStr(minute) + ":"
```

```
If sekunde < 10 Then Uhr = Uhr + "0" + CStr(sekunde) + " "
```

```
If sekunde > 9 Then Uhr = Uhr + CStr(sekunde) + " "
```

```
Zeile_Schreiben = Puffer_Links + Uhr + ";" + Zeile_Schreiben
```

```
Datensatz_Schreiben:
```

```
    Print #2, Zeile_Schreiben
```

```
SATZ_ENDE:
```

```
    Loop
```

```
Close #2
```

```
Close #1
```

```
Status.SimpleText = Str(Zaehler) + " Zeilen erfolgreich bearbeitet."
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
End Sub
```