

Visuelle Verkehrsüberwachung in intelligenten Transportsystemen ¹

Roman P. Pflugfelder

Abstract

Dieser Bericht fasst den Stand visueller Sensoren zur Verkehrsüberwachung zusammen. Visuelle Sensoren sind moderne Bildverarbeitungssysteme, die Verkehrsinformation aus Videobildern ermitteln können. Diese Information ist die Basis moderner intelligenter Transportsysteme (ITS). Der Bericht gibt eine Einführung in ITS. Dann werden alternative Sensortechnologien diskutiert und ihre Stärken und Schwächen analysiert. Vergleichend dazu werden visuelle Sensoren bezüglich Technologie, Vorteile bzw. Nachteile und mögliche Anwendungsgebiete hin besprochen. Der Bericht schließt mit einer Vorstellung von kommerziellen Produkten ab.

¹Dieser Bericht entstand in Zusammenarbeit mit der Abteilung ITV der ARC Seibersdorf research GmbH., © 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Überblick	6
1.2	Welche Verkehrsdaten sind wichtig?	7
1.3	Anforderungen an einen optimalen Sensor	8
1.4	Welche Sensor-Technologien gibt es?	9
1.4.1	Induktionsschleifen	10
1.4.2	Piezo-Sensoren	12
1.4.3	Pneumatischer Schlauch	13
1.4.4	Magnetometer	13
1.4.5	Ultraschall-Sensoren	14
1.4.6	Akustische Sensoren	15
1.4.7	Mikrowellen Radar	15
1.4.8	Infrarot	16
1.5	Zusammenfassung	16
2	Bildverarbeitende Sensoren	18
2.1	Technologie	19
2.2	Beurteilung von bildverarbeitenden Sensoren	21
2.3	Anwendungsbereiche	23

3	Kommerzielle bildverarbeitende Sensoren	24
3.1	Autoscope Solo	25
3.1.1	Algorithmus	25
3.1.2	Verkehrsinformation	26
3.1.3	Hardware und Software	26
3.1.4	Installation	27
3.1.5	Anschaffungskosten	27
3.1.6	Beurteilung	27
3.2	Traficon VIP/X	28
3.2.1	Algorithmus	28
3.2.2	Verkehrsinformation	28
3.2.3	Hardware und Software	29
3.2.4	Installation	30
3.2.5	Anschaffungskosten	30
3.2.6	Beurteilung	30
3.3	Traffic Monitor	30
3.3.1	Algorithmus	31
3.3.2	Verkehrsinformation	31
3.3.3	Hardware und Software	31
3.3.4	Installation	32
3.3.5	Anschaffungskosten	32
3.3.6	Beurteilung	32
3.4	VideoTrak 910	32
3.4.1	Algorithmus	33
3.4.2	Verkehrsinformation	33
3.4.3	Hardware und Software	33

3.4.4	Installation	34
3.4.5	Anschaffungskosten	34
3.4.6	Beurteilung	34
3.5	Vantage	34
3.6	EVA	35
3.7	IDET	36
3.8	Andere Produkte	36
4	Zusammenfassung	37

Kapitel 1

Einleitung

Der Verkehr bildet die Basis unserer heutigen modernen, globalisierten Gesellschaft. Mit der Forderung nach immer mehr Mobilität und Flexibilität wachsen aber auch die Probleme. Der unbegrenzte Güter- und Personentransport - sei es beruflich oder privat - bringt das heutige Transportwesen an den Rand ihrer Kapazität. Tägliche Verkehrsüberlastungen und Unfälle sind die Folge.

Nach einer Studie von Apogee et. al. [1] bestand das US Transportsystem 1998 aus circa 6 Millionen Kilometer Straßennetz. Es wurden allein in einem Jahr 6,4 Trillionen zurückgelegte Kilometer von allen Verkehrsteilnehmern gezählt. Der Gütertransport lag im selben Zeitraum bei 4,8 Trillionen Kilometer. Eine weitere Studie von Proper et al. [2] zeigt, dass der erwartete Verkehrszuwachs bis zum Jahr 2007 um 30% steigen wird. Um die Verkehrsprobleme auf dem Niveau von 1997 zu halten, müsste die Kapazität des Straßennetzes um 30% wachsen. Das bedeutet also einen Zubau von geschätzten 7.000 Kilometer Straße pro Jahr. Gegenwärtig wächst die Infrastruktur aber nur mit 75% dieser Rate.

Auch in Österreich steigt das Verkehrsaufkommen deutlich an. Tabelle 1.1 zeigt die durchschnittliche Verkehrsentwicklung im letzten Jahrzehnt. An allen Orten hat sich die Zahl der Fahrzeuge zumindest verdoppelt, in Wels (A25) sogar verfünffacht. Laut dem Generalverkehrsplan für Österreich 2002 [3] wurden 1998 circa 45 Milliarden Personen-Kilometer gezählt. Im Jahr 2015 sollen es etwa 75 Milliarden Personen-Kilometer sein. Das entspricht einem Zuwachs von 67%. Unter der Annahme eines linearen Anstiegs ist dieses Ergebnis mit dem der USA zu vergleichen. Es ist anzunehmen, dass auch in Österreich der Ausbau der Infrastruktur mit dieser Entwicklung weder technisch noch ökonomisch Schritthalten kann.

Neben dem Ausbau muss nach Ansicht von Experten auch die Effizienz bestehender Trans-

Straße	Ort	1999	1995	1990	1985	1980
A23	Wien-Praterbrücke	134.325	127.228	102.157	72.175	72.522
A23	Wien-Laaerbergunnel		104.514	78.759	60.021	
B227	Wien-Nordbrücke	95.368	86.528	81.336	69.215	53.787
A2	Traiskirchen	84.604	84.724	70.403	47.117	42.200
A22	Wien-Kaisermühlen	80.018	69.317	48.083		
A1	Haid	76.061	63.478	51.738		
A7	Linz	64.754	56.911	46.787	33.315	28.723
A1	Siezenheim	64.566	56.911	42.499	29.394	
B221	Wien-Südtirolerplatz	51.170	50.880	53.941	44.853	43.084
B1	Wien-Hadikgasse	50.999	48.939	47.136	40.728	39.643
A1	St. Pölten	55.355	47.995	38.397		
A12	Kematen	48.486	43.724	36.951	26.341	23.796
A12	Vomp	48.435	43.006	34.769	29.319	26.979
A1	Ybbs		40.747	32.638	20.530	
B8	Wien-Reichsbrücke	48.256	39.987	45.367	35.525	24.064
B67	Graz	39.719	38.856	39.895	37.373	34.523
B226	Wien-Floridsdorferbrücke	34.158	34.411	35.294	32.552	
A10	Ofenauertunnel	32.804	32.292	30.696	23.154	18.468
A14	Dornbirn	36.530	32.166	28.184	18.564	14.157
A25	Wels	38.545	31.057	21.874	9.772	7.013

Tabelle 1.1: Die Entwicklung der durchschnittlichen Verkehrsanzahl aller Fahrzeuge an allen Tagen und beiden Richtungen (Quelle: Wirtschaftskammer Österreich, <http://wko.at/bsv/internet/staerke.htm>).

portsysteme erhöht werden. Die Lösung liegt in intelligenten Transport-systemen (ITS). "Intelligenz" wird durch den Einsatz von Verkehrstelematik erreicht. Bild 1.1 zeigt schematisch die Architektur eines ITS.

Ziel ist ein Maximum an Verkehrsmobilität. Dabei soll es Menschen möglich sein, zu einem beliebigen Zeitpunkt von einem Ort A zu einem Ort B zu kommen, egal ob aus privaten oder wirtschaftlichen Motiven. Zum einen soll also die persönliche Lebensqualität bzw. Freiheit verbessert, zum anderen die wirtschaftliche Produktivität gesichert werden. Ein weiteres Ziel ist die Senkung der Kosten für Infrastrukturbetreiber, Verkehrsteilnehmer und Regierungen. Fahrzeiten sollen bei gleichzeitiger Erhöhung der Verkehrssicherheit minimiert werden. Die Erhaltung der Infrastruktur soll so kostengünstig wie möglich sein und auch die Reduktion von Emissionen ist von Bedeutung. Schlussendlich ist die prompte Verfügbarkeit von Verkehrsinformation Teil eines modernen ITS.

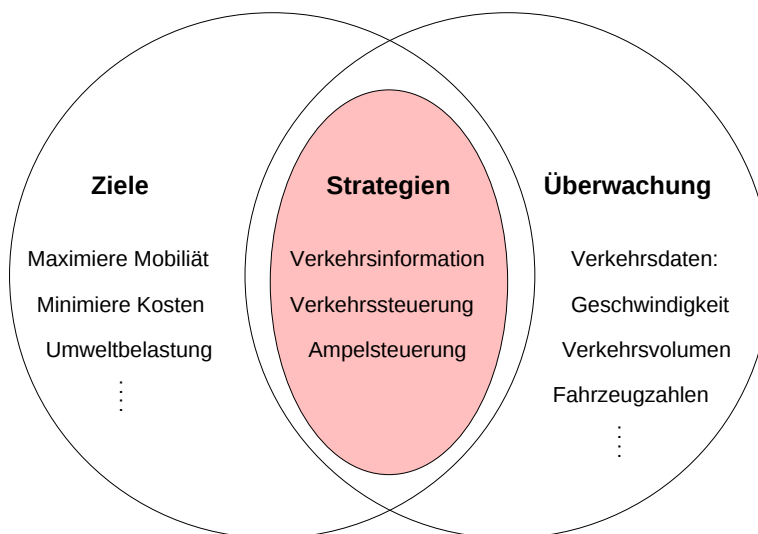


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung einer ITS Architektur. Verkehrsstrategien basieren auf definierten Zielen und zu Verfügung stehenden Verkehrsdaten.

Um diese Ziele zu erreichen, bedienen sich intelligente Transportsysteme verschiedener *Strategien*. Interaktive Verkehrsinformationssysteme und Verkehrsleitsysteme lenken den Verkehr, um eine optimale Auslastung der Infrastrukturkapazitäten zu erreichen. Ampelanlagen werden entsprechend dem Verkehrsaufkommen gesteuert, um die Reisezeit für den Verkehrsteilnehmer so gering wie möglich zu halten.

Die Basis all dieser Strategien bilden Verkehrsdaten, die durch automatische *Überwachung* gesammelt werden. Durchschnittliche Geschwindigkeiten, Fahrzeugzahlen, Verkehrsvolumen, usw., all das sind Echtzeitdaten, die durch Sensoren gemessen und verarbeitet werden. Daher kommt der automatischen Verkehrsüberwachung eine integrale und unverzichtbare Rolle in intelligenten Transportsystemen zu.

1.1 Überblick

Dieser Bericht beantwortet in Abschnitt 1.2 die Frage, welche Verkehrsdaten überhaupt von Interesse sind. Abschnitt 1.3 erläutert die Anforderungen an einen optimalen Sensor, der diese Daten ermitteln soll. Abschnitt 1.4 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand verschiedener Sensor-Technologien. Abschnitt 1.5 fasst schlussendlich die Stärken und Schwächen der Technologien zusammen.

Danach beschäftigt sich Kapitel 2 genauer mit bildverarbeitenden Sensoren. Abschnitt 2.1 stellt bildverarbeitende Methoden zur Ermittlung von Verkehrsdaten vor. Abschnitt 2.2 beur-

teilt bildverarbeitende Sensoren und vergleicht sie mit anderen Technologien. Schlussendlich werden im Abschnitt 2.3 die Anwendungsbereiche von bildverarbeitenden Sensoren skizziert.

Kapitel 3 gibt eine Auflistung kommerzieller bildverarbeitender Sensoren. Dabei werden Hardware und Software, Installation und die Möglichkeiten der Sensoren erläutert. Die am Markt wichtigsten Produkte werden genauer erklärt, alle anderen Sensoren zusammengefasst und auf Quellen im Web verwiesen.

Kapitel 4 fasst den Bericht zusammen.

1.2 Welche Verkehrsdaten sind wichtig?

Das Ergebnis der Verkehrsüberwachung sind Daten über den momentanen Verkehrszustand. Die Auswahl der richtigen Verkehrsinformation ist entscheidend für den Erfolg eines intelligenten Transportsystems. Die heute eingesetzten Applikationen, die die Strategien eines ITS umsetzen, basieren auf folgenden fundamentalen Verkehrsdaten (Verkehrsparameter):

- (1) Geschwindigkeit der Fahrzeuge
- (2) Volumen (Anzahl der Fahrzeuge pro Zeiteinheit)
- (3) Belegung (Dauer der Detektion eines Fahrzeuges durch den Sensor)

Die Auswahl dieser Parameter rührt aus der Geschichte, da Induktionsschleifen die ersten verfügbaren Sensoren waren und diese drei Parameter lieferten (siehe Abschnitt 1.4.1).

Weitere wichtige, quantitative Parameter sind:

- (4) Fahrtrichtung
- (5) Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen
- (6) Gewicht der Fahrzeuge
- (7) Präsenz im Sensorbereich
- (8) Warteschlangenlänge (Anzahl der Fahrzeuge im Sensorbereich)

Letztere Parameter (7) und (8) sind vor allem an Kreuzungen von Interesse. Präsenz bedeutet ob ein Fahrzeug vor der Ampel steht. Die Anzahl der wartenden Fahrzeuge kann als Parameter für die Ampelschaltung herangezogen werden.

Sind dies wirklich alle interessanten Parameter, die aus der Überwachung gewonnen werden können? Viele Menschen interessieren sich auch für Fragestellungen "Wie lange brauche ich von A nach B?" oder "Wo gibt es einen Stau?". Daher sind auch folgende (qualitative) Verkehrsparameter von Interesse:

- (9) Reisezeit
- (10) Start/Ziel-Information
- (11) Verkehrsstörung
- (12) Klassifikation von Fahrzeugen

Die Reisezeit bzw. die Varianz in der Reisezeit von einem Ort A nach B (Zuverlässigkeit des Transportsystems) ist eine wertvolle Information, auf Basis dessen ungewöhnliche Verkehrseignisse oder zukünftige Verkehrsentwicklungen vorhergesagt werden können. In diesem Zusammenhang ist auch eine Aussage über die Anzahl der Fahrzeuge, die von A nach B fahren notwendig (Start/Ziel-Information). Auch die direkte Meldung ungewöhnlicher Ereignisse wie regelwidriges Fahren oder ungewöhnliche Manöver von Autofahrern haben Bedeutung. Die sofortige Verifikation mittels Video ist hier besonders wichtig. Systeme, die hilfeschuchende oder ungewöhnlich auffallende Verkehrsteilnehmer erkennen können, werden immer nützlich sein. Auch die Klassifikation der Fahrzeuge in verschiedene Fahrzeugklassen ist schon rein aus statistischen Gründen von Interesse.

1.3 Anforderungen an einen optimalen Sensor

Ein optimaler Sensor sollte folgende Anforderungen erfüllen:

1. Unabhängigkeit bezüglich des Aufstellungsortes
2. Flexibilität bei der Installation
3. Robust gegenüber unterschiedlichen Wetterbedingungen
4. Robust gegenüber wechselnden Lichtverhältnissen
5. niedrige Gesamtkosten
6. hohe Genauigkeit

7. einfache, bedienfreundliche Benutzerschnittstelle

Sensoren zur Verkehrsüberwachung sollten flexibel verwendbar und einfach zu installieren sein. Eine Installation am Straßenrand ist einer Installation auf einem Überkopfträger zu bevorzugen, da sie kostengünstiger ist und den Verkehr nicht beeinträchtigt. Weiters spielt die Höhe, in der der Sensor montiert wird, eine Rolle. Je höher die Installation, desto teurer die Montage und Wartung. Bei zu niedriger Montage kann sich jedoch wieder Schmutz und Ruß des Verkehrs negativ auf den Sensor auswirken. Sensoren sollten robust gegenüber Regen, Schneefall, Nebel und allen anderen Wetterbedingungen sein. Auch wechselnde Lichtverhältnisse wie Tag/Nacht-Wechsel, Sonnenschein, Scheinwerferlicht, Reflexionen auf Belag und Tunnelwänden, Schatten, usw. sollten dem Sensor nichts anhaben. Bei niedrigen Gesamtkosten (Anschaffung + Wartung + Betrieb) während des gesamten Lebenszykluses sollten alle für die Anwendung notwendigen Verkehrsparameter mit entsprechender Genauigkeit ermittelt werden. Das Setup des Sensors sollte einfach gestaltet und die Bedienung während des Betriebs benutzerfreundlich sein (d.h. keine Notwendigkeit von Spezialisten bei der Installation und während des Betriebs).

1.4 Welche Sensor-Technologien gibt es?

Im Prinzip gibt es zwei Möglichkeiten einen Sensor zu platzieren. Er kann auf bzw. unterhalb der Fahrbahn eingebaut (*invasiv*) oder über bzw. neben der Fahrbahn installiert werden (*nicht invasiv*). Invasive Technologien werden traditionell schon sehr lange zur Verkehrsüberwachung eingesetzt. Daher gibt es sehr ausgereifte Produkte, die bereits über eine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit verfügen. Auch zeigen sich Vorteile bei der Bestimmung bestimmter Fahrzeugeigenschaften, wie zum Beispiel dem Gewicht. Sie besitzen aber eine Reihe von Nachteilen und Beschränkungen im Einsatz:

- Invasive Technologien haben ein inherentes Sicherheitsproblem. Installation und Wartung ist immer mit einer Straßenabspernung verbunden. Das Personal ist dem Verkehr direkt ausgesetzt und somit gefährdet.
- Installation und Wartung bedeutet einen massiven Eingriff in das Verkehrsgeschehen. Auf stark befahrenen Straßen und Kreuzungen kann dies somit leicht zu einem Verkehrschaos führen.
- Das Einbringen der Sensoren unter die Fahrbahn ist sehr kostenintensiv. Daher gibt es ein Limit in der Anzahl aufeinanderfolgender, invasiver Sensoren, über der die Wirt-

schaftlichkeit der Technologie in Frage zu stellen ist. Gerade auf belebten Stadtstraßen und Kreuzungen mit komplexen Verläufen kann dann diese Technologie keine zuverlässigen Verkehrsdaten mehr liefern.

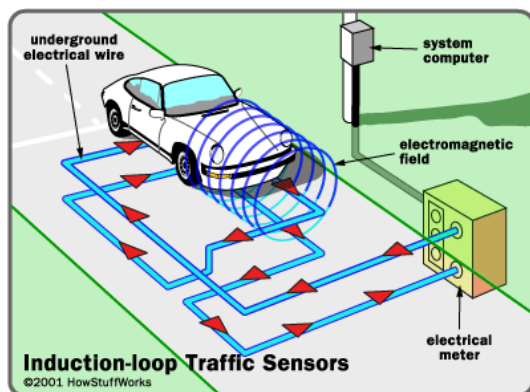
- Da zur Ermittlung von qualitativer Information wie das Verhalten von Fahrzeugen (z.B. falsches Abbiegen, unerlaubtes Spurwechseln, usw.) unwirtschaftlich viele Sensoren zum Einsatz kommen müssten, ist die Verwendung invasiver Sensoren ungeeignet.
- Straßen mit mehreren Spuren, Abzweigungen und Kreuzungen stellen ein Problem für invasive Technologien dar. Fahrzeuge können zum Beispiel zwischen den Sensoren die Spur wechseln, sodass diese nicht mehr erkannt werden.
- Umwelteinflüsse können vielfältige Probleme verursachen. Sensoren, die auf der Fahrbahn angebracht sind, können durch Schneeräumung, Nässe, Kälte, Hitze beeinträchtigt oder zerstört werden.
- Invasive Sensoren haben generell das Problem schlechte bzw. keine Daten bei Stop-and-Go Verkehr bzw. Stau zu liefern.

Aus diesen Gründen werden nicht invasive Sensoren heutzutage vor allem im urbanen Bereich (z.B. auf Straßenkreuzungen) immer wichtiger. Sie können ohne große Behinderung des Verkehrs entweder neben der Fahrbahn (Mast, Haus, usw.) oder über der Fahrbahn (vorhandene Überkopfanzeiger, Lichtmasten, Ampeln, usw.) montiert werden.

Fast alle Sensoren überwachen den Verkehr mittels Detektion elektromagnetischer Energie, die vom Verkehr und der Umgebung entspringt oder *aktiv* ausgestrahlt und reflektiert wird. Aktive Sensoren emittieren also elektromagnetische Wellen, die von Fahrzeugen reflektiert wieder zum Sensor zurückgelangen. Daraus können dann Rückschlüsse auf die Fahrzeuge gezogen werden. Im Gegensatz dazu detektieren *passive* Sensoren nur die elektromagnetische Energie des Umfelds und ihre Veränderung durch den Verkehr. Neben dem Elektromagnetismus wird auch Schall oder Luftdruck als energetische Quelle verwendet. Verschiedene Frequenzen des elektromagnetischen Spektrums werden technisch genutzt. Das reicht vom sichtbaren Licht (10^{15}Hz), über Infrarot (10^{14}Hz - 10^{12}Hz), Mikrowelle (10^{11}Hz - 10^9Hz) bis hin zu magnetischen Detektoren, die verhältnismässig lange Wellenlängen berücksichtigen.

1.4.1 Induktionsschleifen

Induktionsschleifen zählen zu den ausgereiftesten Sensor-Technologien in der Verkehrsüberwachung. Quadratisch ausgelegte Kabel mit ein- oder mehradrigen Spulen werden in die



(a) Prinzip



(b) Oberflächenansicht

Abbildung 1.2: Induktionsschleife: (a) zeigt das Prinzip einer Induktionsschleife. Angelegter, konstanter Wechselstrom (roten Pfeile) erzeugt ein elektromagnetisches Feld (blaue Kreise), das durch das Fahrzeug gestört wird. Ein Strommessgerät (electric meter) kann diese Veränderungen im Strom messen. (b) zeigt die Oberflächenansicht einer fertig installierten Schleife.

Fahrbahn eingebaut (invasiver Sensor). Dabei wird heute nur mehr eine Rille gefräst, die Platz für das Kabel bietet. Bild 1.2(a) zeigt den Aufbau einer Induktionsschleife schematisch. Ein angelegter konstanter Wechselstrom erzeugt ein elektromagnetisches Feld, das durch vorbeifahrende Fahrzeuge gestört wird. Daher zählen Induktionsschleifen zu den aktiven Sensoren. Die zeitlich begrenzte Stromänderung lässt Rückschlüsse auf das Fahrzeug zu. Dabei zeigt die Veränderung (Signatur) für ähnliche Fahrzeuge ähnliches Aussehen bzw. erzeugt ein und das selbe Fahrzeug in verschiedenen Induktionsschleifen ähnliche Veränderungen ¹. Bild 1.2(b) zeigt eine Induktionsschleife.

Im Prinzip zählt eine Induktionsschleife jedes Fahrzeug. Damit kann das Volumen leicht abgeleitet werden. Die Belegung ist einfach die durchschnittliche Verweildauer eines jeden Fahrzeuges oberhalb des Sensors. Zur Berechnung der Geschwindigkeit werden meist zwei in einem fixen Abstand gelegte Schleifen verwendet. Auch Algorithmen zur Abschätzung der Geschwindigkeit mit nur einer Schleife sind bekannt. Fahrtrichtung, Präsenz, Abstand und Klassifikation können ebenfalls ermittelt werden. Die Genauigkeit der Ermittlung der Parameter liegt im Betrieb bei circa $\pm 5\%$. Bis auf Gewicht und Warteschlangenlänge können auch alle anderen Parameter aus mehr als zwei hintereinanderfolgenden Induktionsschleifen abgeleitet werden.

Ihr Einsatz ist stark von der Geschwindigkeit der zu überwachenden Fahrzeuge abhängig.

¹Voraussetzung: nahezu konstante Geschwindigkeit



Abbildung 1.3: Piezo-Sensor: Ein koaxiales Kabel ist in eine Aluminium-Umhüllung gekleidet. Der ganze Sensor wird dann in die Fahrbahn eingebaut.

Während Fahrzeuggeschwindigkeiten von 64km/h eine Veränderung des Stroms von 3% verursachen, wirken sich 128km/h nur mehr mit 1% aus.

1.4.2 Piezo-Sensoren

Piezoelektrische Materialien wandeln kinetische Energie in elektrische um. Durch den Druck eines Fahrzeuges wird im Material eine Spannung erzeugt, die direkt proportional zur wirkenden Kraft ist. Daher sind diese Sensoren passiv. Die Fertigung erfolgt zumeist als koaxiales Kabel, bei dem zwischen Metallkern und Metallmantel ein piezoelektrisches Polymer liegt. Prinzipiell werden Piezo-Sensoren in die Fahrbahn eingebaut oder in gefräzte Rillen eingelegt (invasiv). Bild 1.3 zeigt ein piezoelektrisches Kabel in einer Aluminium-Umhüllung.

Aufgrund der Technologie eignen sich Piezo-Sensoren zur Ermittlung des Gewichts bzw. des Achsgewichts von Fahrzeugen. Unter der Verwendung mehrerer hintereinanderfolgender Sensoren lässt sich auch die Geschwindigkeit und Fahrtrichtung bestimmen. Da der Sensor auf jeden einzelnen Reifen genau reagiert, kann auch eine Klassifikation von Fahrzeugen aufgrund des Axabstandes vorgenommen werden. Damit können auch Fahrzeuge gezählt, ihr Abstand gemessen und das Volumen bestimmt werden. Da der Sensor nur auf Verformung durch plötzlichen Druck reagiert, ist er für die Bestimmung der Belegung ungeeignet. Die Genauigkeit der Gewichtsbestimmung liegt bei etwa $\pm 15\%$.

Der piezoelektrische Effekt ist sehr sensitiv bezüglich der Dauer der Kraftwirkung. Daher wird das Messergebnis bei sehr niedrigen bzw. hohen Geschwindigkeiten ungenau (Einsatzbereich vergleichbar mit Induktionsschleifen). Auch extreme Temperaturen der Fahrbahn wirken sich auf den piezoelektrischen Effekt des Sensors aus.



Abbildung 1.4: Pneumatischer Schlauch (Sensorkit) der Firma Peek

1.4.3 Pneumatischer Schlauch

Luftgefüllte Gummischläuche werden quer über die Fahrbahn gelegt. Ein Fahrzeug erzeugt durch Druck des Reifens auf den Schlauch einen kurz andauernden Luftdruck im Inneren des Schlauches. Dieser schließt einen elektrischen Schaltkreis. Das so erzeugte Signal kann analysiert werden. Diese Sensoren sind passiv und invasiv. Bild 1.4 zeigt einen Sensorkit der Firma Peek.

Das Prinzip ist dem Piezo-Sensor gleich. Daher können die gleichen Parameter bestimmt werden.

Temperatur der Fahrbahn und Volumen der Fahrzeuge schränken den Betrieb ein.

1.4.4 Magnetometer

Magnetometer sind passiv, invasive Sensoren, die magnetische Veränderungen des Erdmagnetfeldes durch vorbeifahrende Fahrzeuge messen. Es gibt zwei Typen: induktive und dual-axis Magnetometer. Ersteres, das klassische Magnetometer, misst den Strom, der durch die magnetische Flussänderung induziert wird. Stehende Fahrzeuge können somit nicht erkannt werden. Dual-axis Magnetometer messen die Veränderungen des Erdmagnetfeldes in horizontaler als auch vertikaler Richtung. Damit können auch stillstehende Fahrzeuge erkannt werden. Bild 1.5 zeigt ein dual-axis Magnetometer. Dieses wird unter die Fahrbahn eingebracht.

Dual-axis Magnetometer ermitteln die selben Parameter wie die Induktionsschleife. Induktive Magnetometer sind gehandikapt und können nicht Belegung und Präsenz messen.

Magnetometer können Fahrzeuge nur in kleinen Bereichen erkennen.



Abbildung 1.5: Dual-axis Magnetometer (schwarzes Gerät) und Installationskit



Abbildung 1.6: Doppler-Ultraschall Sensor der Firma Sutron

1.4.5 Ultraschall-Sensoren

Ultraschallwellen (20Khz - 50Khz) werden von Ultraschall-Sensoren aktiv erzeugt und in die Umgebung emittiert. Im Prinzip werden zwei Typen von Sensoren unterschieden. Sogenannte Pulsed Ultraschall-Sensoren, die ihre Daten aufgrund der zeitlichen Differenz zwischen der Laufzeit des Sensors zum Fahrzeug und der Laufzeit des Sensors zur Fahrbahn berechnen und Sensoren basierend auf dem Dopplerprinzip. Da das Dopplerprinzip eine Frequenzänderung der Schallwelle durch fahrende Fahrzeuge bewirkt, können stationäre Fahrzeuge nicht erkannt werden. Beide Sensortypen können oberhalb oder neben der Fahrbahn montiert werden. Daher sind sie nicht invasive Sensoren. Bild 1.6 zeigt einen Doppler-Ultraschallsensor der Firma Sutron.

Pulsed-Sensoren können alle wichtigen Parameter (wie Induktionsschleife) bestimmen. Doppler-Sensoren können nicht Präsenz und Belegung ermitteln. Unter optimalen Bedingungen kann eine durchschnittliche Genauigkeit von $\pm 2\%$ erreicht werden.

Ultraschall-Sensoren sind auf Temperaturschwankungen empfindlich. Auch starker Wind beeinträchtigt die Genauigkeit der Sensoren.

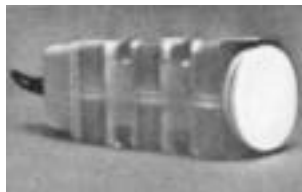


Abbildung 1.7: Doppler Radar-Sensor

1.4.6 Akustische Sensoren

Im Gegensatz zu Ultraschall-Sensoren sind akustische Sensoren passive Geräte, die die hörbaren Geräusche der Fahrzeuge messen. Fährt ein Fahrzeug an einem Sensor vorbei, so steigt der Geräuschpegel. Nach dem Vorbeifahren fällt er wieder auf den Pegel des Hintergrundgeräusch-Niveaus.

Alle Parameter bis auf Gewicht, Warteschlangenlänge und Klassifikation können mit zwei Sensoren bestimmt werden.

Aufgrund der begrenzten Schallausbreitung müssen diese Sensoren sehr Nahe zur Fahrbahn angebracht werden. Auch kalte Temperaturen limitieren den Einsatz wie auch Stop-and-Go Verkehr.

1.4.7 Mikrowellen Radar

Statt Ultraschall wird beim Radar (**R**adio **D**etection and **R**anging) Mikrowelle aktiv erzeugt und emittiert. Die Geräte können Überkopf oder seitlich montiert werden. Vorbeifahrende Fahrzeuge reflektieren die Mikrowellen, die von einer Antenne im Sensor wieder aufgefangen werden. Zwei Typen von Sensoren existieren: Doppler und Frequenz-modulierte (FM) Radarsysteme. Ersterer, emittiert Mikrowellen konstanter Frequenz. Aufgrund der Frequenzänderung durch sich bewegende Fahrzeuge kann die Präsenz und Geschwindigkeit eines Fahrzeuges direkt abgeleitet werden. Letzterer Sensortyp sendet ein Signal mit sich ständig ändernder Frequenz. Damit können auch stehende Fahrzeuge erkannt werden. Bild 1.7 zeigt einen Doppler Radar-Sensor unbekannten Herstellers.

Alle Parameter bis auf Gewicht und Warteschlangenlänge können bestimmt werden.

Die Bandbreite und die Mikrowellen Charakteristika sind sehr von der Anwendung abhängig. Kranig [8] zeigte, dass Radar zur Bestimmung des Volumens an Kreuzungen ungenau ist.



(a) passiv

(b) aktiv

Abbildung 1.8: Infrarot-Sensoren

1.4.8 Infrarot

Elektromagnetische Energie im Infrarotbereich wird von passiven Sensoren aus der Umgebung detektiert. Unter der Voraussetzung, dass Fahrzeuge wesentlich mehr Wärme abgeben als die Umgebung, können diese erkannt werden. Leider trifft diese Annahme nicht immer zu. Große Verkehrsbereiche können überwacht werden. Aktive Lasersensoren hingegen emittieren Infrarotlicht und detektieren die reflektierte Strahlung. Daraus kann die Laufzeit und alle wichtigen Parameter gewonnen werden. Bild 1.8(a) zeigt einen passiven, Bild 1.8(b) einen aktiven Infrarot-Sensor.

Bis auf das Gewicht können alle wichtigen Parameter gewonnen werden. Die Warteschlangenlänge kann zum Beispiel durch die Anordnung mehrerer Detektionsfenster mit passiven Infrarot-Sensoren bestimmt werden.

Leider ist die Zuverlässigkeit durch die Wetterbedingungen beschränkt. Wie bei allen anderen aktiven Sensoren ist der Überwachungsbereich limitiert.

1.5 Zusammenfassung

Gibt es einen Sensor der alle Verkehrsparameter mit geforderter Genauigkeit bei allen Bedingungen liefern kann? Diese Frage kann mit Nein beantwortet werden, da jeder Sensor Vor- und Nachteile besitzt. Es gibt keinen besten Sensor [5]. Tabelle 1.2 fasst die Stärken und Schwächen der Technologien zusammen.

Alle Sensoren, die in irgendeiner Form Punktmessungen durchführen, werden nie eine direkte Aussage über beispielsweise die Warteschlangenlänge oder ein ungewöhnlich fahrendes Fahrzeug liefern. Nur indirekte Aussagen durch Veränderungen in den fundamentalen Pa-

Technologie	Stärken	Schwächen
Induktions-schleifen	• Installation ist einfach • Präsenz Genauigkeit liegt bei 95 - 98% • Genauigkeit wird von Wetterbedingungen nicht beeinflusst • Bewährte Technologie • Wird von vielen Systemen unterstützt • Preise sind schon sehr günstig	• Installation und Wartung behindert den Verkehr • Fahrbahn muß aufgefräst werden • Lebensdauer der Fahrbahn wird verkürzt • Hohe Fehlerraten erhöhen Gesamtkosten • Geschwindigkeitsmessgenauigkeit variiert, nicht alle Fahrzeuge werden erkannt
Piezo-Sensoren	• Kann Gewicht ermitteln • Genauigkeit in der Klassifikation • Geschwindigkeitsmessgenauigkeit hoch	• Installation, Wartung und Reparatur wie bei Induktionsschleifen problematisch
Pneumatischer Schlauch	• Einfach zu installieren • Niedrig in den Anschaffungskosten • Temporär sehr leicht einsetzbar	• Wetteranfällig (Frost, Hitze) • Beschädigungsgefahr durch Räumdienst
Magnetometer		• Installation zeitaufwendig und teuer • Nicht alle Fahrzeuge werden detektiert • Schmale Detektionszonen
Ultraschall-Sensoren	• Detektion über mehrere Spuren möglich	• Einflüsse von Temperatur und Wind groß
Akustische Sensoren	• Gesamtkosten gering • Bis zu 5 Spuren überwachbar • Robust gegenüber Nebel, Schneefall	• Temperaturanfällig • Empfindlich in der Distanz zu den Fahrzeugen • Anfällig gegenüber Regen
Radar	• Geringe Wetteranfälligkeit • flexible Installation (auch seitlich) • Robust, geringe Wartung nötig • Flexible Wahl der Detektionszonen • Deckt bis zu 8 Fahrspuren ab	• Reflexionsprobleme • Überkopfinstallation decken nur eine Spur ab • Verdeckungen
Infrarot	• Einfache Installation • Selbstkalibrierend • Mehrere Fahrspuren überwachbar	• Sensibel auf Wetterbedingungen • Hohe Anschaffungskosten

Tabelle 1.2: Stärken und Schwächen der Sensor-Technologien.

rametern ist möglich. Die Reisezeit bzw. Start/Ziel Information kann sowieso nur durch eine Verknüpfung mehrerer Sensoren ermittelt werden. Die größt mögliche Flexibilität bieten wide-area Sensoren, wie Video, Radar oder Infrarot. Vor allem Video-Sensoren bieten prinzipiell alle Möglichkeiten der Parameterbestimmung. Daher wird auf diese Technologie im nächsten Kapitel genauer eingegangen werden. Zusammengefasst kann aber jetzt schon gesagt werden, das in bestimmten Anwendungen nur ein Zusammenspiel von verschiedenen Technologien, die ihre Schwächen gegenseitig kompensieren, eine robuste und verlässliche Verkehrsdatenerfassung möglich ist.

Für weiterführende, genauere Informationen betreffend Sensor-Technologien bzw. deren Einsatz sei auf den VDC (Vehicle Detector Clearinghouse) Bericht [4], NIT (Non intrusive Technologies) Volume 1 Bericht [5], FDT (Florida Department of Transportation) Bericht [6] und PRIME Annex 2 Bericht [7] verwiesen.

Kapitel 2

Bildverarbeitende Sensoren

Die Entwicklung bildverarbeitender Sensoren (im Engl. Video Image Processing, kurz VIP) für die Verkehrsüberwachung reicht zwei bis drei Jahrzehnte zurück. Heute gibt es eine Reihe von wissenschaftlichen Prototypen bzw. kommerziellen Produkten. Letztere werden in Kapitel 3 ausführlicher behandelt. Die Sensoren bestehen im allgemeinen aus drei Komponenten:

1. statische Kamera
2. Rechereinheit und Software
3. Kommunikations-Schnittstelle zu anderen Systemen

Video-Sensoren bestehen aus Kamera und Rechenereinheit, die Fahrzeuge und ihre Umgebung aufnehmen und die Bilder mittels Bildverarbeitung analysieren. Die extrahierte Verkehrsinformation wird über eine Kommunikations-Schnittstelle an andere Systeme weitergeleitet.

Die Kamera hat einen entscheidenden Einfluß auf die Qualität des Ergebnisses. Heutzutage werden fast ausschließlich CCD-Kameras verwendet. Es gab auch eine breite Diskussion darüber, ob schon vorhandene CTTV-Kameras verwendbar sind. Leider ist die Bildqualität bei vielen dieser Kameras unzureichend und die Möglichkeit der Zoomens und Bewegens der Kamera birgt zusätzliche Fehlerquellen für die Bildverarbeitungs-Software. Nach heutigem Stand der Technik wird daher von der Verwendung von CTTV-Kameras abgeraten. Der Fortschritt und die Preisentwicklung in derameratechnik wird die Akzeptanz von VIP-Sensoren mitbeeinflussen. Beispielsweise bietet die CMOS Technik Sensibilitätsbereiche bis zu 120dB um einen vernünftigen Preis.

Die meisten kommerziellen Systeme laufen auf speziell entwickelter Hardware. Verbreitet sind DSP-Prozessoren, die eine Echtzeit-Bildverarbeitung zulassen. Manche Hersteller verwenden auch PCs als Computersystem, um die Hardwarekosten so gering wie möglich zu halten. Viele Systeme sind erweiterbar, d.h. um noch mehr Kameras zu bedienen muß einfach die Hardwareleistung durch eine weitere Prozessorkarte bzw. PC erhöht werden.

Die Schnittstelle des VIP-Sensors wird oft geringe Bedeutung geschenkt. Sie ist aber eine sehr wichtige Komponente des Sensors. Sie sollte kompatibel zu bestehenden EDV-Systemen und bedienerfreundlich sein. Heutige Entwicklungen gehen immer mehr in Richtung drahtlose Schnittstelle, da die Kabelkosten für die Vernetzung von Sensoren im Vergleich zu den Sensoren selbst ungleich höher sind. Entsprechende Bandbreiten sind notwendig, damit eine bequeme Fernwartung möglich ist.

In den letzten Jahren ist auch der Ruf nach Standards lauter geworden. Der Vorteil eines Standards liegt klar auf der Hand. Austauschbarkeit wäre möglich und die Zuverlässigkeit würde verbessert werden. Zwei unterschiedliche Ansätze werden diskutiert:

”Black Box” Standard: Kamera, Rechneinheit und Schnittstelle bilden ein Gerät, das standardisiert ist.

Geräte Standard: Die einzelnen Komponenten bilden jeweils für sich einen Standard.

Ersterer Standard würde den Hersteller zwingen ein Komplettsystem zu entwickeln. Der Vorteil läge beim Kunden, da dieser den Sensor als Ganzes mit seinen Möglichkeiten sehen und vergleichen kann. Im Gegensatz dazu würde der Geräte Standard die Austauschbarkeit unterstützen und somit vielen Herstellern die Möglichkeit geben Produkte zu entwickeln.

2.1 Technologie

VIP-Sensoren ermitteln Verkehrsinformation in zwei Schritten. Zuerst müssen die Fahrzeuge in jedem Bild der Videosequenz erkannt werden. Dies passiert mithilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen. Wichtig ist, dass diese Verfahren Fahrzeuge von Störungen wie Schatten oder Reflexionen unterscheiden können. In einem zweiten Schritt werden dann die Verkehrsparameter aufgrund der Detektion ermittelt.

Kommerzielle Systeme verfolgen zwei unterschiedliche Wege zur Detektion von Fahrzeugen:

Tripwire Systeme: Der Benutzer definiert ein oder mehrere Detektionsfenster im Bild. In diesen Bereichen werden dann mithilfe von statistischen Methoden die Intensitäts-

Technologie	Stärken	Schwächen
Tripwire	• Einfaches Setup • Geringer Rechenaufwand	• Empfindlich gegenüber Spiegelungen, Reflexionen und Schatten • Nacht: Scheinwerferlicht, Assoziation • Detektionsfenster Positionierung und Größe
Tracking	• Genauere Geschwindigkeitsmessung • Nacht: Scheinwerferlicht, Assoziation • Robust gegenüber Störungen	• Kompliziertes Setup • Empfindlich gegenüber Vibration • Hohe Rechenleistungen erforderlich

Tabelle 2.1: Stärken und Schwächen von Tripwire bzw. Trackingsystemen.

werte der einzelnen Pixel bzw. das Auftreten von Kanten untersucht. Aufgrund von Hintergrund-Modellen kann eine Abweichung durch das im Vordergrund befindliche Fahrzeug festgestellt werden. Im Prinzip emuliert diese Technik die Induktionsschleife. Daher können alle Verkehrsparameter, die durch die Induktionsschleife ermittelbar sind, auch von Tripwire Systemen berechnet werden. Durch die Wahl der Anzahl und Position der Detektionsfenster sind Tripwire Systeme aber wesentlich flexibler.

Tracking Systeme: Das System erkennt Fahrzeuge in bestimmten Bereichen oder im ganzen Bild. Einschränkungen sind nur durch die vorhandene Rechenleistung gegeben. Normalerweise passiert das über Hintergrund-Subtraktions Methoden. Pixel, die ihre Intensität von einem Bild zum nächsten signifikant ändern werden zu Vordergrund. Unter der Annahme, dass sich nur Fahrzeuge im Bild bewegen können, stellen dann alle Vordergrund-Pixel Fahrzeuge dar. Diese zusammenhängenden Regionen (Blobs) stellen dann ein Merkmal dar, die das Fahrzeug im Bild beschreiben. Manche Systeme verwenden auch Kanten am Fahrzeug als spezifische Merkmale. Diese Merkmale werden durch Filter-Algorithmen wie dem Kalman-Filter im nächsten Bild gesucht. Dadurch ist ein Matching des Fahrzeugs über seine Merkmale in einer langen Sequenz von Bildern möglich.

Der CSPU Bericht [9] konstatierte 1994 Stärken und Schwächen von Tripwire- bzw. Tracking-Systemen in einem Test mehrerer kommerzieller Produkte. Viele Schwächen der Tracking-Systeme, die in diesem Bericht aufscheinen, sind auf die damals noch in den Kinderschuhen stehende Tracking Technologie zurückzuführen. Tabelle 2.1 versucht daher die prinzipiellen Vorteile bzw. Probleme aufzuzeigen.

Ein großes Problem von Tripwire ist die Empfindlichkeit gegenüber Spiegelungen, Reflexionen und Schatten. Da der Algorithmus Fahrzeuge aufgrund von Änderungen in Pixelintensitäten erkennt, gibt es immer das Problem der Zuordnung. Ist diese Veränderung bedingt durch ein Auto oder durch eine Störung? Speziell in der Nacht, wenn Scheinwerferlichter als helle Bereiche auf der Fahrbahn dem Fahrzeug vorausseilen, gibt es inherente Zuordnungs-

probleme. Eine weitere Schwäche ist der schwierige Trade-off zwischen Fenstergröße und Position im Bild. Je größer das Detektionsfenster, desto mehr Pixel werden berücksichtigt und desto robuster ist die Erkennung. Speziell in Positionen (und da ist auch die Perspektive zu berücksichtigen), wo Fahrzeuge schon sehr klein erscheinen, sollten die Fenster nicht zu groß gewählt werden, da sonst Fahrzeuge auf verschiedenen Spuren eine Zählung auslösen würden. Ein zu kleines Fenster würde aber auch bei Störungen eine Zählung auslösen.

Trackingsysteme sind hier wesentlich robuster. Sie haben aber nach wie vor das Problem der Forderung nach hoher Rechenleistung, des komplizierteren Setups (mehr Parameter zum einstellen) und der Empfindlichkeit gegenüber Vibrationen der Kamera. Allerdings erscheinen diese Probleme nicht als unlösbar. Die Probleme sind ausschließlich vom Tracking-Algorithmus abhängig und nicht von der Idee Tracking selbst und es gibt ermutigende Ansätze in der Forschung. Im Gegensatz dazu hat die Methode Tripwire fundamentale Schranken, da in manchen Situationen nicht eine Störung von der Fahrzeuganwesenheit zu unterscheiden ist.

Viele kommerzielle Systeme fallen in die Klasse der Tripwire Systeme. Dies ist wahrscheinlich auch darauf zurückzuführen, dass Tripwire Systeme die ausgereifere Technologie sind. Trotzdem wird Tracking in Zukunft das Potential besitzen, die Tripwire Systeme zu verdrängen. Aufgrund der Fahrzeugtrajektorie können nämlich wesentlich mehr Verkehrsinformationen gewonnen werden (z.B. Verkehrsstörung). Im Gegensatz dazu bringen Tripwire Systeme außer der Flexibilität kaum mehr Vorteile gegenüber der Induktionsschleife.

2.2 Beurteilung von bildverarbeitenden Sensoren

Aufgrund der Zuverlässigkeit von Induktionsschleifen haben sich VIP-Systeme bis heute noch nicht wirklich durchsetzen können. Ein Grund dafür ist sicher der mangelhafte Technologietransfer von Universität zu Wirtschaft. Viele potentielle Verfahren verharren im Laborzustand und werden nicht in kundengerechte Produkte mit entsprechender Zuverlässigkeit und Support umgewandelt. Während sich Wissenschaftler allzu gerne den algorithmischen Problemen zuwenden, ist für die Wirtschaft zunehmend die einfache Installation und Wartbarkeit wichtig.

Der große Vorteil von Video-Sensoren ist ihre Flexibilität. Wie bei allen Systemen erkaufte man sich das mehr an Flexibilität mit einer höheren Fehleranfälligkeit. Mit nur wenigen Sensoren können überdies große Flächen überwacht werden. Vor allem im urbanen Bereich erscheint der Einsatz von Video-Sensoren technisch und wirtschaftlich attraktiv.

Aufgrund der Komplexität der Technologie und der vielen Fehlerquellen lässt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Sensoren noch zu wünschen übrig. Zum Beispiel ist die Sammlung von Verkehrsdaten über eine lange Zeitspanne zufriedenstellend, da Fehler sich statistisch nicht bemerkbar machen. Die genaue Zählung der Fahrzeuge in einer sehr kurzen Zeitspanne ist aber fehlerhaft. Daher werden Video-Sensoren kaum für eine temporäre Überwachung eingesetzt. Die Genauigkeit hängt nicht nur von den eingesetzten Algorithmen sondern vor allem auch von der Lage der Kamera, der Bildqualität und den äußeren Einflüssen ab. Gerade die Lichtverhältnisse machen den heutigen Video-Systemen zu schaffen. Unterschiedliche Wetterbedingungen wirken sich im Gegensatz dazu gering aus [5].

Die Montage der Kamera ist ebenfalls entscheidend. Kameras sollten so hoch wie möglich und so zentral wie möglich zum Verkehr montiert werden. Damit können Verdeckungen verhindert werden. Weiters wird dadurch garantiert, dass alle Fahrzeuge im Bild sichtbar sind.

Die Kosten in der Anschaffung sind im Vergleich mit anderen Systemen hoch. Beispielsweise kostete ein Video-Sensor 1998 zwischen 22.000 und 29.000 Dollar [10]. Die Wartung ist auch signifikant höher als beispielsweise bei Radarsystemen, da Spinnweben oder Schmutz den Sensor sogar zum Ausfall bringen können. Im Vergleich mit Induktionsschleifen ist sie aber deutlich niedriger.

Die Kommunikation zwischen den Video-Sensoren, der Recheneinheit und anderen EDV-Systemen ist auch heute noch unbefriedigend gelöst. Wie sollen welche Daten gespeichert werden. Natürlich handelt es sich bei diesen Daten um Echtzeitdaten. Fehler in der Kommunikation oder den Daten könnten bei einer ampelgeregelten Kreuzung fatale Folgen haben. Daher sind Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit wichtige Faktoren. Auch Recovery Strategien nach dem Ausfall von Einheiten sind wichtige Themen, die noch in Zukunft diskutiert werden müssen. Auch die Fernwartung von Sensoren über die meist schon existierenden Telefonkabeln sind Themen von morgen. Da diese Kommunikation oft nur geringe Bandbreiten bieten, müssen Technologien gefunden werden, um zum Beispiel auch Bilder für die Fernwartung übertragen zu können.

Im allgemeinen ist es unmöglich eine Sensor-Technologie als die Beste zu bezeichnen. Vielmehr muß die Anwendung (Umgebung) und die geforderten Verkehrsparameter in die Entscheidung über die Wahl des richtigen Sensors mit einfließen. Beispielsweise kann die Präsenz sehr genau mit Video Sensoren gemessen werden. Dies ist mit der Möglichkeit einer großflächigen Überwachung auch ein Grund warum Video Sensoren immer mehr Interesse für die Überwachung und direkte Einflußnahme der Ampelregelung von Strassenkreuzungen haben. Neben der Anwendung gibt es aber auch noch große Unterschiede zwischen den Produkten.

Dies zeigt, dass noch sehr viel Entwicklungspotential vorhanden ist.

2.3 Anwendungsbereiche

Bildverarbeitende Sensoren werden heute in zwei Bereichen eingesetzt:

1. Zur Verkehrsdatenerfassung auf Autobahnen
2. Zur Überwachung von Kreuzungen und Steuerung von Verkehrsampeln

Der Einsatzbereich auf Autobahnen geht von der statistischen Verkehrsdatenerfassung bis zur Verkehrsstörungsanalyse. Der Einsatz in Verbindung mit Ampelsystemen ist erst vergleichsweise jung. Da Präsenz und Warteschlangenlänge sich mit Video-Sensoren sehr gut ermitteln lassen und eine Kamera einen großen Teil (circa 6 bis 8 Spuren) der Kreuzung überblicken kann, gibt es ein immer stärker werdendes Interesse. Auch ist der Einsatz von Induktionsschleifen im urbanen Bereich limitiert.

Ein zukünftiges Feld könnte auch die Mautabrechnung darstellen. Zur Verifikation der Fahrzeugklasse wären Video-Sensoren geeignet.

Kapitel 3

Kommerzielle bildverarbeitende Sensoren

Dieses Kapitel stellt einige kommerzielle Sensoren vor. Natürlich ist diese Aufzählung nicht vollständig, da der Markt noch im Wachsen ist und immer wieder weitere Produkte erscheinen. Die Anfänge der bildverarbeitenden Sensoren reicht in die achtziger Jahre zurück. In den neunziger Jahren gab es umfassende Studien und ein grosses Interesse in der ITS Welt.

Die **California Polytechnic State University** (kurz Cal Poly) führte bereits im Jahr 1991 eine Evaluation von kommerziellen, visuellen Sensoren durch. Zahlreiche Tests, die den Einsatz solcher Sensoren in der Verkehrsüberwachung untersuchen sollten, wurden durchgeführt. Nach einem eher ernüchternden Phase I Test wurden 1992 zwei weitere Phasen II, III eingeführt, die bis 1997 durchgeführt wurden. Die in diesen Jahren getesteten Produkte zeigten eine stetige Verbesserung. Das Ergebnis zeigte jedoch ganz deutlich, dass bildverarbeitende Sensoren in Bezug auf Robustheit gegenüber veränderten Lichtverhältnissen (z.B. Tag/Nacht) und Wetterbedingungen (z.B. Schneefall) der Induktionsschleife hinterherhinken. Nähere Informationen dazu sind im Abschlußbericht Phase II [9] und Phase III [10] zu finden.

Ein weiteres Evaluations-Programm - NIT (**N**on-intrusive **T**echnologies) - wurde durch die **Federal Highway Administration** (FHWA), dem Minnesota Department of Transportation (Mn/DOT) und der SRF Consulting Group initiiert. Phase I dieser Studie ist bereits abgeschlossen. Das Ergebnis kann auf der NIT Webseite (<http://projects.dot.state.mn.us/nit>) ersehen werden. Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen des Cal Poly Berichts. Auch dieses Konsortium hat sich für eine Verlängerung entschieden. Phase II läuft seit Oktober 2001.

Erwähnenswert ist auch das Vehicle Detector Clearinghouse Projekt der New Mexico State University (<http://solar.nmsu.edu/gaby>). Ziel ist ein Informationspool bezüglich Sensortechnologien.

In Europa hat sich bezüglich visueller Sensoren weniger getan als in den USA. Ein Projekt, das im Zuge der Recherchen gefunden wurde, war PRIME (<http://www.trg.soton.ac.uk/~prime>). Bildverarbeitende Sensoren standen dabei aber nicht im Mittelpunkt, sondern die Möglichkeiten Verkehrsstörungen und Staus vorherzusagen.

Heute gibt es bereits einige (10-20) marktfähige Produkte. In den nächsten Abschnitten werden jeweils zwei Vertreter der Tripwire bzw. der Tracking Kategorie detaillierter beschrieben. Autoscope Solo (Image Sensing Inc., USA) bzw. VIP/X (Traficon, Belgien) als Vertreter der ersten Kategorie haben sich bereits vor Jahren einen Namen im Bereich der visuellen Verkehrsüberwachung gemacht. Als Vertreter der zweiten Kategorie werden Traffic Monitor (RC Module, Russland) und VideoTrak (Peek Ltd., USA) näher vorgestellt. Alle weiteren Produkte werden kurz zusammengefasst. Der interessierte Leser wird auf entsprechend angegebene Referenzen verwiesen.

3.1 Autoscope Solo

Die Entwicklung von Autoscope begann 1984 auf der Universität Minnesota. Im Auftrag des Mn/DOT wurde in zwei aufeinanderfolgenden Projekten ein Prototyp entwickelt. 1987 finanzierte die FHWA mit dem gleichen Entwicklungsteam eine kommerzielle Entwicklung des Systems. Es wurde ein Spin-off Unternehmen mit dem Namen Image Sensing Inc. (<http://www.imagesensing.com>) gegründet. Nach dem Phase I Test der Cal Poly und dem 1998 durchgeführten Phase I Test des NIT Projektes, wurden die Vermarktungsrechte an Econolite Control Products abgegeben (<http://www.econolite.com/>). Das aktuelle Produkt heißt Autoscope Solo. Image Sensing ist zur Zeit einer der Marktführer im Bereich der bildverarbeitenden Sensoren. Laut dem Unternehmen sind schon mehr als 7,500 Systeme weltweit im Einsatz.

3.1.1 Algorithmus

Autoscope ist ein Tripwire-System, d.h. der Benutzer definiert Detektionsfenster im Bildbereich, in denen Fahrzeuge erkannt werden. Image Sensing entwickelte eine Reihe von patentierten Hintergrund-Modellen bzw. statistischen Verfahren zur Diskriminierung des Hin-

tergrundes vom Fahrzeug. Während des Setups lernt also Autoscope anhand des Videos Fahrzeuge zu erkennen. Genauere Beschreibungen der Filteralgorithmen konnten im Zuge der Recherche aber nicht gefunden werden.

3.1.2 Verkehrsinformation

Laut dem Datenblatt [11] können Präsenz, Volumen, Geschwindigkeit, Belegung, Abstand, stationäre Fahrzeuge, Warteschlangenlänge und die Länge der Fahrzeuge bestimmt werden. Letzteres ermöglicht eine Klassifikation in bis zu fünf Klassen. Mögliche Anwendungen sind Kreuzungskontrolle, Verkehrsstörungsüberwachung, Verkehrsdatensammlung und die Überwachung im Baustellenbereich.

3.1.3 Hardware und Software

Autoscope Solo ist ein integrierter, intelligenter Sensor (Solo MVP). Kamera und Rechereinheit sind in einem Gehäuse untergebracht (siehe Bild 3.1(a)). Die Kommunikationseinheit ist als eigener Hub realisiert, der bis zu 8 Solo MVPs verbindet. Über RS-232 bzw. RS-485 können die Verkehrsdaten abgefragt werden. Für das Bild ist auch ein NTSC/PAL Anschluss am Sensor vorgesehen. Auch ein sogenannter Mini Hub kann erworben werden. Dieser ist eine simple Steckkarte, der SoloMVP mit den gängigen Verkehrskontrollsystemen verbindet. Die Kamera ist eine modifizierte CCD Farb-Kamera mit 12x Zoom. Es wurde auch ein in Echtzeit operierender Shutter realisiert.

Die Software ist als Windows Applikation erhältlich (siehe Bild 3.1(b)). Die Kalibrierung erfolgt einfach über das Definieren von Linien im Bild, von denen die wahre Länge bekannt ist. Dann können Detektionsfenster beliebiger Größe im Bild platziert werden. Diese können auch logisch miteinander verknüpft werden. Dadurch können z.B. Stausituationen erkannt werden. Jedes Fenster besteht aus einer Linie normal auf die Fahrbahn und einem Rechteck, welches gegen die Fahrtrichtung zeigt. Alle Einstellungen können auch gesichert und wieder geladen werden.

Nähere Produktbeschreibungen findet man im Datenblatt [11] und der Spezifikation [12]. Die komplette Produktlinie auf der Webpage von Image Sensing zu finden.

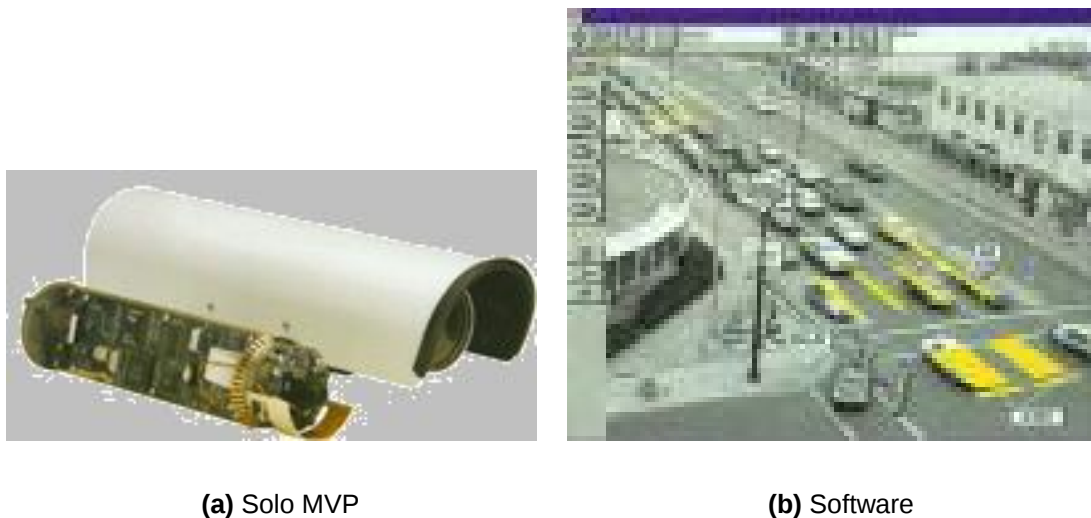


Abbildung 3.1: Autoscope: (a) zeigt Kamera und Recheneinheit als integrierten, intelligenten Sensor, (b) zeigt das Konfigurationsprogramm.

3.1.4 Installation

Um optimale Ergebnisse zu erzielen, sollte die Kamera in einer Höhe ab circa 10m montiert werden [12]. Die Kamera sollte dabei mit einem Winkel von etwa 30° - 45° auf den Verkehr und höchstens 10° in Richtung Fahrbahn schauen. Wenn zwei Fahrbahnen beobachtet werden sollen, wird empfohlen, die Kamera zentriert über der Fahrbahn anzubringen. Detektionsfenster können in einem Bereich der das 10fache der Höhe (100m) beträgt, im Bild gesetzt werden.

3.1.5 Anschaffungskosten

Autoscope 2004, der Vorgänger von Autoscope Solo mit Recheneinheit und Kamera getrennt, kostete mit 4 Kameras 1997 um die 19.000 US Dollar [10]. Preise für die Autoscope Solo Linie müssen beim Hersteller angefragt werden.

3.1.6 Beurteilung

Laut NIT Phase 1 Test liegt die Genauigkeit des Vorgängermodelles Autoscope 2004 bei etwa 5% bei normalem Verkehr. Das System scheint zuverlässig für eine Langzeitdatenerfassung. Es neigt aber zum Unterzählen der Fahrzeuge bei Lichtänderungen wie Tag/Nacht Änderung.

Es wurde auch herausgefunden, dass der Wind mit der Genauigkeit korreliert, d.h einen großen Einfluss hat. Derzeit befindet sich Autoscope Solo im Phase 2 Test. Die Ergebnisse bleiben abzuwarten.

3.2 Traficon VIP/X

Traficon NV (<http://www.traficon.be>) ist ein belgisches Unternehmen, das im Jahr 1982 aus Forschung und Entwicklung an der Universität Louvain (Belgien) hervorgegangen ist. Der damalige Prototyp mit Namen CCATS, der einer der ersten bildverarbeitenden Sensoren seiner Zeit war, erregte das Interesse der belgischen Firma Devlonics NV. Diese begann das System zu Demonstrationszwecken zu vermarkten und kaufte Anteile von Traficon, welches ihnen den Namen Traficon NV einbrachte. 1992 kaufte Traficon NV die Rechte an CCATS und entwickelte die heutigen Systeme für Datensammlung (VIP/D), Verkehrsstörungs-Erkennung (VIP/I) und Kreuzungsregelung (VIP/P), kurz VIP/X. Auch Siemens verwendet die Technologie von Traficon in ihren Produkten SITRAFFIC bzw. Traffic Eye. Genauerer findet man unter der Webpage <http://fp.is.siemens.de/traffic>.

3.2.1 Algorithmus

Traficon NV setzt wie Image Sensing Tripwire-Technologie für VIP/D und VIP/P ein. Das System erkennt Fahrzeuge an den variierenden Pixelwerten in den Detektionsfenstern. Auch Traficon hat seine Verfahren patentieren lassen. VIP/I basiert stattdessen auf einer Tracking-Technologie. Nachdem Fahrzeuge in den Detektionsfenstern erkannt wurden, werden Linienprofile, die parallel zum Verkehrsfluss stehen, durch das Bild verfolgt.

3.2.2 Verkehrsinformation

VIP/P ist ein Präsenzdetektor und kann an Straßenkreuzungen Präsenz, Staulängen und Anzahl der Fahrzeuge messen. VIP/I detektiert Verkehrsstörungen wie Falschfahrer, Geisterfahrer, fallende Geschwindigkeit, Stau, stehende Fahrzeuge, Rauch, Nebel und Bildausfälle. Weiter kann es Parameter wie Geschwindigkeit, und die Belegung von händisch definieren Zonen bestimmen. Weiters wird der Verkehrsfluss klassifiziert (flüssig, dicht, zähflüssig, stoppend). VIP/D ist eine Schleifenemulation. Damit können also Volumen, Belegung und Geschwindigkeit berechnet werden. Weiters ist eine Klassifizierung, Verkehrsdichte, Abstand und eine Unterscheidung in Verkehrsflussarten wie bei VIP/I möglich.

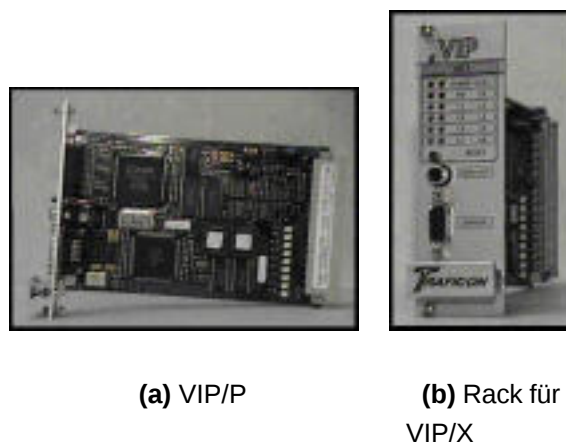


Abbildung 3.2: VIP/X: (a) zeigt die VIP/P Baugruppe, (b) das VIP/X Rack

3.2.3 Hardware und Software

Traficon bietet im Gegensatz zu Image Sensing keinen integrierten Sensor an. Kamera, Rechereinheit und Kommunikationseinheit sind getrennt. Die verwendete Kamera steht dem Benutzer frei. Gewisse Mindestanforderungen werden aber gestellt. So sollte die Kamera mit einem Infrarotfilter ausgestattet sein, Blooming unterdrücken, gute Kontraste liefern und eine langsame Regulation der Iris unterstützen.

Die Rechereinheit ist eine Baugruppe, die in ein Rack eingebaut wird. Bild 3.2(a) zeigt die VIP/P Baugruppe. Ein Rack (siehe Bild 3.2(b)) bietet Platz für bis zu 8 Prozessorboards und ein spezielles Kommunikationsboard mit Namen COM. Traficon bietet 3 verschiedene Kommunikationsboards an: COM, das die Kommunikation der einzelnen Prozessorboards untereinander ermöglicht, VIEWCOM, das die Konfiguration der Prozessorboards im Remote-Betrieb ermöglicht und VICCOM, das Echtzeitbilder und die Verkehrsparameter liefert. Die Kommunikation zur Verkehrszentrale funktioniert über RS-232 bzw. RS-485. VICCOM ist so spezifiziert, dass es mit WATTS zusammenarbeiten kann. Es handelt sich dabei um einen gängigen Datenerfassungssystem im Verkehrsbereich. Mehr Information über VIP/X bzw. COM, VIEWCOM und VICCOM sind auf der Webpage verfügbar. Auch Videos, die den Einsatz der Systeme zeigen, können abgerufen werden.

Das Kalibrieren und das Setup können mittels der RS-232 Schnittstelle und Computer oder über VIEWCOM erfolgen. In beiden Fällen ist die Software als Windows Version verfügbar. Eine VIP/P Baugruppe kann bis zu 24 Meldezonen haben, die richtungsabhängig ausgewertet werden. Diese Zonen können mittels Computer händisch platziert werden. Auch eine Fernwartung ist möglich. Anwesenheitsmeldungen werden direkt über 8 Optokoppler-

Ausgängen an das Steuergerät weitergegeben. Weiters kann der Detektor bis zu sechs Fahrspuren gleichzeitig bedienen (sofern die Kamera es zulässt). Eine VIP/I Baugruppe kann eine Verkehrsflussbestimmung auf bis zu 8 Fahrspuren durchführen. Gleichzeitig wird eine Verkehrsstörungsbeobachtung durchgeführt. Das System ist sowohl im Freien als auch in Innenräumen einsetzbar. Eine VIP/D Baugruppe kann Daten von bis zu 8 Fahrspuren erfassen. Die Schleifenemulation ist bis zu 4 Spuren möglich.

3.2.4 Installation

Genaue Spezifikationen sind nicht angegeben, da sich diese mit der Umgebung ändern. Im allgemeinen wird gesagt, dass die Kamera so hoch und so zentriert als notwendig installiert werden soll, um Verdeckungen zu vermeiden. Wenn das nicht möglich ist, soll die Kamera zumindest neben der schnellsten Spur installiert werden, damit langsam fahrende Fahrzeuge im Hintergrund bleiben. Der Überwachungsbereich ist auf 350m im Freien und mit der 15fachen Höhe im Tunnel beschränkt. Ein genügend großer Blickwinkel soll außerdem die Autos unterscheiden helfen.

3.2.5 Anschaffungskosten

Auch hier wurden nur Preise für das Vorgängermodell CCATS aus dem Jahr 1997 gefunden: Ein Prozessorboard kostete mit einer Kamera circa 2.000 - 3.000 US Dollar. Das Rack allein kostete zwischen 1.600 und 3.500 US Dollar.

3.2.6 Beurteilung

Es gibt leider zur Zeit keine objektiven Beurteilungen von VIP/X. Traficon NV nimmt aber zur Zeit an der NIT Test Phase II teil. Es ist also in den nächsten Jahren mit Ergebnissen zu rechnen.

3.3 Traffic Monitor

Das Unternehmen RC Module (<http://www.module.ru>) ging 1990 aus den Überbleibseln der russischen Militärforschung hervor. 1992 ging RC Module an die Börse. Sie entwickelten einen DSP (NM6403), der speziell an die Anforderungen der Signalverarbeitung, Bildverarbeitung

und Datenkommunikation angepasst ist. Seit 1998 produziert Samsung im Auftrag von RC Module den Prozessor. 1999 kaufte Fuji eine Lizenz für den Prozessor. Im Jahr 2000 brachte RC Module auf Basis dieses Chips Traffic Monitor heraus.

3.3.1 Algorithmus

Traffic Monitor gehört zur Klasse der Tracking-Technologien. Laut Datenblatt [13] werden nach einer Bildkorrektur (Annahme: Bildstabilisierung) die Fahrzeuge mithilfe von Filter-Algorithmen detektiert. Hierzu gibt es keine weitere Information. Danach werden die Fahrzeuge im Bild verfolgt. Da Fahrzeuge mithilfe von neuronalen Netzen auf Basis ihres Aussehens im Bild klassifiziert werden, ist anzunehmen, dass es sich um Blob-Tracking handelt.

3.3.2 Verkehrsinformation

Traffic Monitor kann das Volumen, die Geschwindigkeit, den Abstand und die Belegung ermitteln. Weiters wird für jedes Fahrzeug eine Klassifikation durchgeführt. Das System ist auf Motorräder, PKWs, Busse, kleine LKW, große LKW trainiert. Es besteht aber die Möglichkeit neue Klassen zu erlernen. Weiters liefert das System Verkehrsstörungsmeldungen bei Stop and Go Verkehr, in falsche Richtung fahrende Fahrzeuge und Unfallsituationen.

3.3.3 Hardware und Software

Kamera, Recheneinheit und Kommunikation sind in Traffic Monitor nicht integriert. Im Prinzip kann jede beliebige B/W CTTV Kamera eingesetzt werden. PAL und NTSC werden unterstützt. Die Recheneinheit besteht aus einem Prozessorboard mit dem selbstentwickelten DSP für Segmentation und Tracking, einem Video Input Board, welches das Frame Grabbing, die Bildkorrektur und die Fahrzeug-Erkennung besorgt und einem Video Output Board, dass die Berechnung der Fahrzeug-Parameter und die Klassifikation durchführt. Außerdem ist ein Video-Encoder realisiert, damit Bilder für die Überwachung zu Verfügung stehen. Die Verkehrsdaten können über eine RS-232 Schnittstelle mittels Modem weitergeleitet werden. Damit ist die Kommunikationseinheit auf dem Video Output Board realisiert. Alle drei Baugruppen sind in einem Gerät zusammengefasst.

Die Software ist eine Windows-Applikation, in der die Kalibrierung erfolgt (siehe Bild 3.3.3). Dabei müssen drei bis vier Referenzpunkte im Bild angegeben werden. Weiters können alle Verkehrsparameter in Echtzeit überprüft werden.

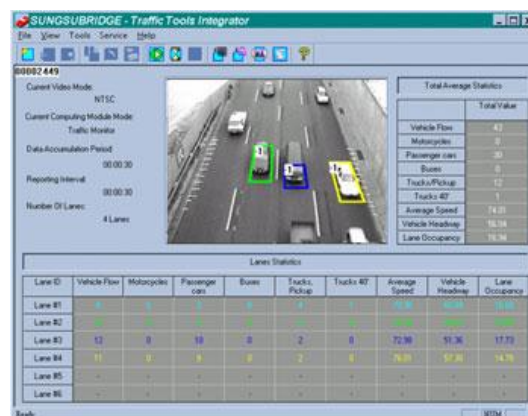


Abbildung 3.3: Traffic Monitor: Snapshot der Software

3.3.4 Installation

Es gibt folgende Anforderungen an die Kamera: Die Höhe der Installation muss zwischen 7 (2 Spuren) und 20 Metern (bis zu 6 Spuren) liegen. Die Kamera muss über oder neben (maximal 5 Meter) der Straße montiert sein. Der Winkel zwischen der optischen Achse und der Vertikalen muss zwischen 15° und 60° liegen. Ansonsten gibt es keine Einschränkungen.

3.3.5 Anschaffungskosten

Preise müssten beim Hersteller erfragt werden.

3.3.6 Beurteilung

Es sind keine unabhängigen Tests bekannt.

3.4 VideoTrak 910

VideoTrak 910 ist das derzeitige Videoüberwachungssystem der Firma Peek Ltd. (<http://www.peek-traffic.com>). Die Firma Peek ist einer größten Hersteller im Bereich Verkehrstechnik. Laut Webpage halten sie 28% des Marktes für Videoüberwachung mittels Bildverarbeitung.

3.4.1 Algorithmus

Das Verfahren basiert auf Tracking-Technologie. Für jede Spur werden Tracking-Streifen im Bild definiert. Ein Streifen ist ein Polygon bestehend aus 4 bis 8 Punkten und ist in Bereiche geteilt. Der Algorithmus ermittelt Veränderungen in den Intensitäten in jedem Bereich und verfolgt diese von einem Bereich zum nächsten. Die ganze Verarbeitung basiert auf Basis eines patentierten Multi-Resolutions Verfahrens (Pyramide). Zur Berechnung von Verkehrsparametern können zusätzlich Detektorzonen definiert werden.

3.4.2 Verkehrsinformation

In jeder Detektionszone können folgende Parameter festgestellt werden: Volumen, Belegung, Geschwindigkeit, Abstand, Fahrzeuglänge, Klassifikation, Warteschlangenlänge. Neben den Detektionsfenstern können auch Bereiche angegeben werden, die nicht von Fahrzeugen betreten werden dürfen. Es können in diesen Bereichen für jedes Fahrzeug spezifische oder generell statistische Daten gewonnen werden (z.B.: Präsenz, falschfahrende Fahrzeuge, das Über- bzw. Unterschreiten der Verkehrsparameter).

3.4.3 Hardware und Software

Auch dieses System ist dreigeteilt. Die Basisstation mit Rechen- und Kommunikationseinheit ist eine VME (Versa Module Europe) Plattform. Die Einheit bietet bis zu 8 Video Anschlüsse (RS-170, CCIR) für NTSC bzw. PAL Signale. Die Kamera sollte eine CCD-Kamera mit einer mindestens 383 zeiligen Auflösung sein. Eine automatische Iris-Einstellung sollte Standard sein. Auch ein IR-Filter wird vorausgesetzt. Die Kommunikation zum Rechenzentrum erfolgt über eine RS-485 Schnittstelle. Auch eine RS-232 Schnittstelle ist vorhanden, um das Setup direkt mittels Notebook bewerkstelligen zu können. Über das eigentliche Prozessorboard ist nichts in den Datenblättern [14] vorhanden.

Mittels eines Notebooks können alle Einstellungen vorgenommen werden. Ein Windows-Programm ermöglicht das Setzen von Tracking-Streifen bzw. bis zu 32 Detektionszonen, die auf den Tracking-Streifen liegen können.



Abbildung 3.4: Das Bild zeigt die VideoTrak Basisstation.

3.4.4 Installation

Laut Spezifikation sollten die Kameras möglichst zentral, nahe bei der Fahrbahn montiert sein. Die Höhe sollte mindestens 10m betragen, um die Präsenz von Fahrzeugen ermitteln zu können. Der zu überwachende Bereich sollte nicht 10 Mal größer als die Montagehöhe sein. Die Kalibrierung erfolgt wie gewohnt über die Definition von vier bekannten Punkten innerhalb der betrachteten Szene.

3.4.5 Anschaffungskosten

Preise müssten beim Hersteller erfragt werden.

3.4.6 Beurteilung

Laut NIT Studie lag der Vorgänger VideoTrak 900 in einem Genauigkeitsbereich von $\pm 5\%$ bezüglich der Induktionsschleife. Die Studie kritisierte auch das umfangreiche Set-Up bzw. Kalibrierung die nötig war. Auch ein überzählen der Fahrzeuge während des Tag/Nacht Wechsels konnte festgestellt werden.

3.5 Vantage

Die Geschichte von Vantage geht auf das Jahr 1993 zurück. Ingenieure der Firma Odetics entwickelten einen Prototypen. 1997 kaufte Odetics den ITS Bereich von Rockwell und gründete eine eigene Abteilung Odetics ITS. Rockwell entwickelte zu diesem Zeitpunkt in derselben Richtung. 1998 entstand daraus eine eigene Firma Odetics ITS. 1998 und 1999 wurden noch

Anteile von Meyer, Mohaddes Associates und Viggen Corporation gekauft und die Firma in Iteris (<http://www.odetics-its.com>) unbenannt.

Auch Vantage ist ein typisches Tripwire System.

Es gibt in den Datenblätter keine direkten Hinweise, welche Parameter ermittelt werden. Es ist aber anzunehmen, dass alle Parameter wie es Autoscope oder VIP/X liefern, ermittelbar sind.

Auch bei diesem System sind Kamera, Rechereinheit und Kommunikationseinheit getrennt. Die Kamera ist von Iteris speziell entwickelt. Es handelt sich dabei um eine monochrome CCD-Kamera mit automatischem Shutter. Als Rechereinheit werden mehrere Systeme angeboten. Wie bei Traficon gibt es eine Lightvariante für nur eine Kamera (Vantage One) und ein Gerät mit Anschlüssen für bis zu 6 Kameras (Vantage Plus). Wie alle anderen Systeme bietet auch Vantage eine RS-232 Schnittstelle für den Austausch von Daten. Für den Detektor-Output stehen auch T1 Schnittstellen zur Verfügung.

Alle Produkte können remote über einen Laptop konfiguriert werden. Dazu verwendet man VRAS - Vantage Remote Access System. In VRAS kann man sich verschiedene Kameras ansehen und die Detektionsfenster manuell einstellen. Dazu muss aber nicht einmal ein Computer verwendet werden, da das Einstellen direkt am Gerät möglich ist.

3.6 EVA

Das EVA (Estation de Vision Artificial) System wurde von Eliop Trafico (<http://www.eliop.com>) entwickelt und ist in Spanien im Einsatz. Eliop Trafico ist ein spanisches Unternehmen, die schon seit langem in der Verkehrstechnik tätig sind. EVA ist ein typisches Tracking System. Fahrzeuge werden als Blobs im Bild erkannt, indem der Hintergrund gelernt und vom momentanen Bild abgezogen wird. EVA ermittelt Geschwindigkeit, Belegung, Abstand, und Volumen. Es kann bis zu vier Spuren in verschiedene Richtungen gleichzeitig überwachen. Das System besteht aus einem Host für Set-up und Datenerfassung und einem Transputersystem für die Bildverarbeitung. Die Software, die am Host läuft ist eine DOS Applikation, die alle Einstellungen und die Kalibrierung ermöglicht. Ob das EVA System weiterentwickelt wurde, ist leider aus den Recherchen nicht hervorgegangen. Alte Information ist im PRIME Bericht [7] zu finden.

3.7 IDET

Das IDET System wurde von Sumitomo Electric Industries Ltd. (<http://www.sei.co.jp>) anfang der neunziger Jahre entwickelt. Das Unternehmen ist Teil des japanischen Sumitomo Konzerns. IDET basiert auf dem Tracking von Kanten auf Fahrzeugen. Wie viele andere Sensoren auch, ist die Hardware in Rechen- und Kommunikationsmodule untergliedert. Das System kann via einer RS-232 Schnittstelle eingestellt und kalibriert werden. Die Software dazu ist eine DOS Applikation. Eine Recheneinheit ist für eine Kamera ausgelegt. Leider war es nicht möglich aktuelle Informationen zu beziehen, da die Webpage auf Japanisch ist. Es ist auch zu bezweifeln, ob IDET überhaupt noch weiterentwickelt wird. Alte Information ist im PRIME Bericht [7] zu finden.

3.8 Andere Produkte

Es gibt noch eine Reihe weiterer Hersteller, die in den letzten Jahren versucht haben bildverarbeitende Sensoren auf den Markt zu bringen.

So hat Nestor Traffic Systems (<http://www.nestor.com>) TrafficVision am Markt. Es handelt sich dabei um eine Tracking-Technologie, die mittels neuronaler Netze Fahrzeuge im Bild erkennt und verfolgt.

In Europa hat die Firma Boschung (<http://www.boschung.ch>) ebenfalls ein Tracking System entwickelt. Auch das französische Unternehmen Citilog (<http://elfe.3isa.com/admisite/citilog>) ist vertreten. In England ist Monitron Ltd. (<http://www.monitron.com>) mit einem Tripwire-System namens MoniVision 6 am Markt. Auch CRS (<http://www.crs-vision.com>) bietet Lösungen an.

Eine sehr innovatives Unternehmen ist AGD (<http://www.agd-systems.com>), die bereits versuchen die Verkehrsinformation an die Verkehrsteilnehmer weiterzuleiten. Ihr System heißt Livewire. Weitere amerikanische Unternehmen sind Mavix (<http://www.mavix.com>), die aufbauend auf Traficons VIP/X MAVISION entwickelt haben, und ATD Northwest (<http://www.atdnorthwest.com>) mit ihren portablen Videoüberwachungssystemen.

Kapitel 4

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Verkehrsaufkommen in Österreich wie auch in anderen industrialisierten Ländern (vgl. USA) immer weiter zunimmt. Die Mobilität des privaten aber auch wirtschaftlichen Verkehrs ist gefährdet. Auch die Kosten für Instandhaltung und Ausbau der Infrastruktur explodieren. Daher werden intelligente Transportsysteme, die die Verkehrstelematik nutzen, immer notwendiger.

ITS bauen auf Verkehrsdaten wie Geschwindigkeit, Volumen, Reisezeit und anderen Parametern auf. Aber nicht nur quantitative Daten sind notwendig. Auch qualitative Daten wie Verkehrsstörungsinformationen können Transportsysteme effizienter gestalten. Die Ermittlung dieser Daten ist daher essenziell.

Verschiedene Sensor-Technologien wurden in den letzten Jahrzehnten entwickelt. Grundsätzlich kann zwischen invasiven und nicht invasiven Sensoren unterschieden werden. Ersteres bedeutet, dass der Sensor in bzw. auf die Fahrbahn montiert wird. Letztere Sensoren können neben bzw. über der Fahrbahn installiert werden. Dies stört den Verkehr nicht bei Bau, Wartung bzw. Reparatur und die Sensoren sind flexibler. Weiters kann zwischen passiven und aktiven Sensoren unterschieden werden. Passive Sensoren registrieren elektromagnetische Energie, während aktive Sensoren Reflexionen von selbst-emittierter Strahlung empfangen. In beiden Fällen werden Fahrzeuge durch Änderungen in der elektromagnetischen Strahlung erkannt. Daneben gibt es auch Sensoren, die auf Luftdruck und Schall basieren.

Weiters wurde festgestellt, dass es keinen besten Sensor gibt. Jeder Sensor ist von der Applikation und den Licht- bzw. Umgebungsverhältnissen abhängig. Ein Weg, um zu einer genauen und zuverlässigen Ermittlung der notwendigen Verkehrsdaten zu kommen, ist die Kombination von Sensoren.

Der Hauptteil des Berichts befasste sich mit bildverarbeitenden Sensoren. Diese bestehen aus Kamera, Rechen- und Kommunikationseinheit. Alle derzeitigen Produkte verwenden CCD Kameras, obwohl die CMOS Technologie im Verkehr wesentlich bessere Bildqualitäten versprechen würde (keine Bloomingeffekte). Fast alle Recheneinheiten sind proprietäre Systeme, die auf DSP CPUs basieren. Manche verwenden herkömmliche PCs. Kommunikation zu anderen EDV-Netzen basiert hauptsächlich auf RS-232. Kabellose Technologien sind heute ein Thema, da bei Installation eines Sensors die Kabelkosten die Anschaffungskosten übertreffen können. Es gibt auch Bestrebungen Standards für die Hardware einzuführen. Gedacht ist an einen "Black Box" Standard, der alle drei Module in ein Gerät vereint. Aber auch einzelne Standards für die Kamera, Rechen- und Kommunikationseinheit werden diskutiert.

Die Methoden der Bildverarbeitung können prinzipiell in Tripwire- und Tracking-Systeme gegliedert werden. Bei der ersteren Technik wird in benutzerdefinierten Bereichen (Detektionsfenster) die Veränderung der Pixelintensitäten gemessen. Große Veränderungen lassen Schlüsse auf die Präsenz eines Fahrzeugs zu. Im Gegensatz dazu verfolgen Tracking-Systeme nach Detektion das Fahrzeug durch das ganze Bild. Tripwire-Systeme sind fundamentale Schranken in der Ermittlung der Verkehrsparameter gesetzt, während Tracking-Systeme mehr Zuverlässigkeit und Robustheit gegenüber Störungen versprechen. Heutige kommerzielle Produkte sind zumeist Tripwire-Systeme, da diese Technologie ausgereifter ist. Im Bereich des Trackings ist noch einiges an Forschung und Entwicklung notwendig.

Bildverarbeitende Sensoren können prinzipiell herkömmliche Sensoren wie die Induktionsschleife ersetzen (d.h. alle Anwendungsbereiche von Induktionsschleifen sind auch mögliche Anwendungen für Video-Sensoren). Speziell im urbanen Bereich (z.B. Kreuzungen) ist aber der Video-Sensor überlegen, da die Sensoren flexibel installierbar und mehrere Spuren gleichzeitig überwachbar sind. Video-Sensoren sind auch zur Ermittlung von Präsenz und Verkehrsstörung in diesem Umfeld besser geeignet.

Schlussendlich wurden kommerzielle Video-Sensoren vorgestellt. Die Marktführer sind derzeit die Tripwire-Systeme Autoscope (Image Sensing, USA) und VIP/X (Traficon, Belgien). Diese Produkte werden bereits seit 25 Jahren entwickelt. Aber neben diesen Produkten gibt es eine Reihe weiterer Hersteller, die um Marktanteile kämpfen. Erwähnenswert ist hier Vantage (Iteris, USA), VideoTrak 910 (Peek, Großbritannien), Traffic Monitor (RC Module, Russland) und Traffic Vision (Nestor, USA). Letztere drei sind auch Tracking-Systeme.

Literaturverzeichnis

- [1] Apogee, Hagler, Bailly, *Intelligent Transportation Systems: Real World Benifits*, FHWA-JPO-98-018, Jänner, 1998.
- [2] Proper, Allen, Cheslow, Melvyn, *ITS Benifits: Continuing Successes and Operational Test Results*, FHWA-JPO-98-002, Oktober, 1997.
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, *Generalverkehrsplan Österreich 2002*, <http://www.bmv.gv.at/vk/2infra/gvk/gvk.pdf>, Jänner, 2002.
- [4] Vehicle Detector Clearinghouse Project (VDC), *A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems*, <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/vdstits.pdf>, Herbst, 2000.
- [5] Minnesota Department of Transportation, SRF Consulting Group Inc., *Evaluation of non-intrusive Technologies for Traffic Detection*, <http://www.dot.state.mn.us/guidestar/pdf/niteval/vol1test.pdf>, Oktober, 2001.
- [6] Florida Department of Transportation, *Technology Review: ITS Corridor Concept Plans for Florida's principal FHHS corridors*, http://www.floridaitis.com/PDFs/TM3-2_Tech_Review.pdf, Oktober, 2001.
- [7] PRIME European Projekt, *PRIME Annex 2 Report*, http://trg1.civil.soton.ac.uk/primepdf/-d3_2a2.pdf, 2000.
- [8] Kranig J., Minge E., Jones C., *Field test of monitoring urban vehicle operations using non-intrusive technologies*, FHWA-PL-97-018, Fedaral Highway Administration, Department of Transportation, Washington D.C., Mai, 1997.
- [9] California Polytechnic State University, *Evaluation of Video Image Processing Technology Applications in Highway Operations Phase II*, <http://gridlock.calpoly.edu/vips/vip2/sect000.htm>, Dezember, 1994.

- [10] California Polytechnic State University, *Summary Report of VIPS III Project (4978)*, <http://gridlock.calpoly.edu/vips/summary/projectssummary.html>, Oktober, 1998.
- [11] Econolite Control Products Inc., *Autoscope Solo MVP Datasheet*, <http://www.econolite.com/data%20sheets/SoloPro%20mvp.pdf>.
- [12] Econolite Control Products Inc., *Autoscope Solo Pro Specification*, <http://www.econolite.com/spec%20sheets/SoloProSpec.pdf>.
- [13] RC Module, *Traffic Monitor*, <http://www.module.ru/files/traffmonman-e.pdf>.
- [14] Peek, *VideoTrak Datasheet*, <http://www.module.ru/files/traffmonman-e.pdf>.