



**UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES**

FR 7.2 Experimentalphysik
Prof. Dr. Uwe Hartmann
Campus C6 3
Postfach 15 11 50
66041 Saarbrücken

E-Mail: secretary.hartmann@mx.uni-saarland.de

Website: www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/de/index.htm

Abschlussbericht des Projektes

“Realisierung neuer Verfahren zur Erfassung und Steuerung von Verkehrsflüssen“

gefördert durch das
Saarländische Ministerium für Bildung, Kultur und Wissenschaft
unter der Fördernummer: D4-14.2.1.1-LFFP 0611

Autoren Jörg Wolff
Matthias Mußler
Stefan Bommer
Dr. Haibin Gao
Prof. Dr. Uwe Hartmann

Datum 28.09.2007

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis	3
1. Projektziele	4
2. Voraussetzungen für die Projektdurchführung	4
3. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	5
3.1 Simulationen	5
3.2 Einzelplatz Erfassung im Parkhaus Lampertshof	6
3.3 Vorbereitende Messungen zur Erfassung des fließenden Verkehrs	7
3.4 Detektoren für den fließenden Verkehr	8
3.5 Aufbau des Messsystems	9
3.5.1 Messprogramm	9
3.5.2 Signalverarbeitung	10
3.5.3 Auswertung der Messdateien	11
3.5.4 Kontrolle des Messsystems.....	13
3.6 Messungen an der A6.....	14
3.6.1 Aufbau der Messstelle.....	14
3.6.2 Beispielhafte Messergebnisse.....	15
3.6.3 Anzahl der Messungen.....	18
3.6.4 Qualität der Messergebnisse.....	18
3.7 Zusammenfassung und Ausblick	19
4. Präsentationen	20
5. Aktivitäten des Technologie-Transfers	21
6. Anhang	23
6.1 Veröffentlichungen in der Presse.....	23
6.2 Quellcode des Programms zur Datenauswertung	28

Abbildungsverzeichnis

Bild 3-1: Simulation der magn. Flussdichte am Boden, Frontalansicht.....	5
Bild 3-2: Magn. Flussdichte (a) Simulation, Ansicht von hinten (b) Betrag entlang der roten Linie.....	6
Bild 3-3: Seitliche Vorbeifahrt an den Detektoren.....	7
Bild 3-4: (a) Direkte Überfahrt der Detektoren und (b) mobile Vorrichtung	8
Bild 3-5: Bildschirmausdruck des Messprogramms.....	9
Bild 3-6: Signale (a) und Vektorbeträge (b) der zwei Detektoren.....	10
Bild 3-7: Spektrogramm	11
Bild 3-8: Bildschirmausdruck des Terminal-Programms zur Datenauswertung.	12
Bild 3-9: Detektion eines Lkw: (a) Foto mit Zeitstempel, (b) Änderungen der magnetischen Flussdichte, (c) Vektorbeträge der Detektoren, (d) Ergebnis der Korrelation	12
Bild 3-10: Schema der Messstelle an der A6	14
Bild 3-11: Lage der Detektoren unter der Fahrbahn.....	15
Bild 3-12: Ansicht der beiden Schlitten mit den Detektoren.....	15
Bild 3-13: (a) Kameragehäuse, (b) Blick auf die Fahrbahn.....	15
Bild 3-14: Beispielhafte Messergebnisse von zwei Pkw	16
Bild 3-15: Beispielhafte Messergebnisse von zwei Lkw	17

Begriffs- und Abkürzungsverzeichnis

A/D	Analog-zu-Digital-Wandler
A6	Autobahn 6
AMR	Anisotropic Magneto Resistance
D/A	Digital-zu-Analog-Wandler
Deklination	Abweichung zwischen geografischer und magnetischer Nordrichtung
Detektor	hier: Magnetfelddetektor in Dreiachsenanordnung (wenn nicht anders bezeichnet) enthält Magnetfeldsensoren
FEM	Finite-Elemente Methode
FFT	Fast Fourier Transform
FIR	Finite Impulse Response (Filter), digitaler nichtrekursiver Filter
Inklination	Neigungswinkel zur Horizontalen
LH	Parkhaus Lampertshof der QPark GmbH Saarbrücken, in der Innenstadt von Saarbrücken
Sensor	hier: AMR-Sensor
vm	Vector Magnitude, Vektorbetrag

1. Projektziele

Aufgrund des stetig wachsenden Mobilitätsbedürfnisses kommt der Erfassung und Steuerung von Verkehrsflüssen eine immer wichtigere Rolle zu. So stieg in Deutschland die Anzahl der Fahrzeuge von ca. 47,5 Mio. im Jahr 1995 auf 54,7 Mio. im Jahr 2005. Die gesamte Fahrleistung stieg in diesem Zeitraum um 9,44% auf 684 Mrd. km, während das Straßennetz nur um 1,25% wuchs.¹ Diese Zahlen zeigen, dass der effizienten Nutzung des Straßennetzes eine immer größere Bedeutung zukommt. Verkehrsflusssteuerungen sind dabei wichtige Instrumente zur Optimierung. Sie erfordern Regelkreise, bei denen Informationen über aktuelle Zustände nötig sind. Sowohl für den fließenden als auch den ruhenden Verkehr müssen diese Informationen mit Hilfe von Sensorik erfasst werden. Wichtige Informationen betreffen dabei vor allem das Vorhandensein bzw. die Anzahl von Fahrzeugen, die Geschwindigkeit und die Fahrzeugklasse.

In diesem Projekt ist der Einsatz von empfindlichen Magnetfeldsensoren zur Erfassung von Straßenfahrzeugen untersucht worden. Insbesondere sollten Möglichkeiten gefunden werden, die kostengünstig und vorteilhaft gegenüber herkömmlichen Lösungen arbeiten. In diesem Projekt wurden dazu Prototypsysteme zur Erfassung von fließendem und ruhendem Verkehr entwickelt und testweise unter realen Bedingungen eingesetzt.

Die Ergebnisse des Projekts sind von potentieller Bedeutung für Sicherung und Ausbau des Wirtschaftsstandortes. Die Erarbeitung von Schlüssel-Know-how zur Erfassung von Verkehrsdaten stellt eine für eine entsprechende Wertschöpfungskette essentielle Grundlage dar: Ohne geeignete Detektoren sind bestimmte Gesamtsysteme oder Anwendungen technisch nicht möglich oder wirtschaftlich unrentabel. Auf der Grundlage der Projektergebnisse hingegen lassen sich völlig neue Ansätze zur wirtschaftlich interessanten Realisierung neuer Verfahren zur Verkehrsflussmessung und -erfassung ableiten. Dieses ermöglicht es saarländischen Unternehmen zumindest potentiell neue Marktsegmente zu erschließen und zumindest mittelfristig Produkte mit klaren Alleinstellungsmerkmalen anzubieten. Um den Technologietransfer effizient zu gestalten, wurde bereits während der Projektlaufzeit mit Unternehmen aus der Region kooperiert.

2. Voraussetzungen für die Projektdurchführung

Im Vorfeld des Projekts wurden an der Universität des Saarlandes umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die die grundsätzliche Machbarkeit der Erfassung von Fahrzeugen mit Hilfe von Magnetfeldsensoren gezeigt haben. Mit der Votronic GmbH in St. Ingbert als Partner konnte auf bereits vorhandenes Know-how im Bereich der Entwicklung und Fertigung von elektronischen Schaltungen und der Magnetosensorik aufgebaut werden.

In Kooperation mit der QPark Saarbrücken GmbH konnte das Parkhaus Lampertshof in der Innenstadt von Saarbrücken für die Testinstallation eines Systems zur Erfassung von Stellplatzbelegungen genutzt werden. Die Siebert Industrieelektronik GmbH in Eppelborn war freundlicherweise bereit, für dieses System im Parkhaus Grafikdisplays auszuleihen.

¹ siehe Bundesanstalt für Straßenwesen: <http://www.bast.de/>

Zur Erfassung von fließendem Verkehr konnte eine Messstelle der Votronic GmbH an der Autobahn A6 genutzt werden. Diese Messstelle wurde bereits vor Projektbeginn errichtet.

3. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Zur Detektion von ruhendem und fließendem Verkehr lassen sich verschiedene Sensoren nutzen. Wie bereits im Projektantrag aufgezeigt wurde, besitzt jedoch jedes momentan eingesetzte Sensorsystem inhärente Nachteile. Die Erfassung der Änderung des Erdmagnetfelds durch ein Fahrzeug (oder zusätzlich die Erfassung des Magnetfelds des Fahrzeugs selbst) kann gegenüber den herkömmlichen Systemen entscheidende Vorteile bieten. Neben der Unabhängigkeit von Umweltbedingungen, der geringen Größe und des niedrigen Preises können mit so einem System auch zudem zusätzliche Informationen gewonnen werden. So lässt sich nicht nur die Anwesenheit eines Fahrzeugs, sondern auch die Bewegungsrichtung, die Geschwindigkeit oder ein komplettes Magnetfeldprofil („magnetischer Fingerabdruck“) erfassen. Nachfolgend werden durchgeführte Simulationen gezeigt, mit den Detektoren durchgeführte Messungen beschrieben und die Auswertungen dargelegt.

3.1 Simulationen

Auf der Basis eines einfachen Modells wurden Finite Elemente Simulationen für den Feldverlauf in der Umgebung eines Fahrzeugs durchgeführt². Eine dreidimensionale Simulation ist im Bild 3-1 und im Bild 3-2a dargestellt.

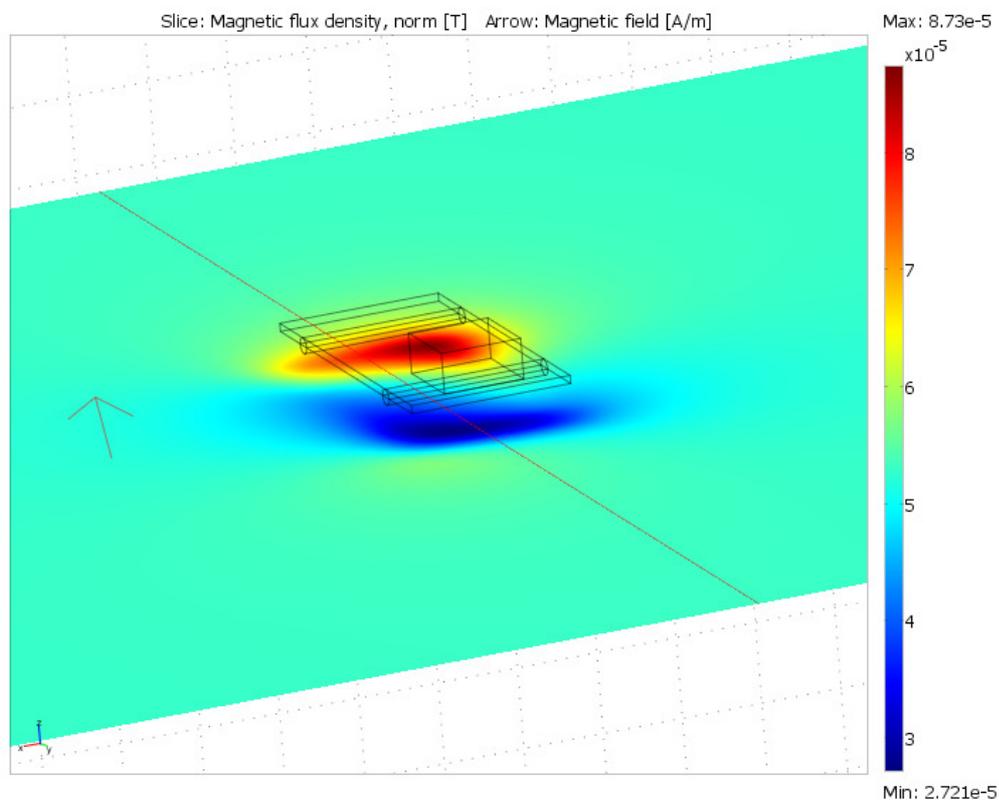


Bild 3-1: Simulation der magn. Flussdichte am Boden, Frontalansicht

² Genutzt wurde dazu das Programmpaket COMSOL Multiphysics, <http://comsol.com/>

Das Modell wurde dabei mit folgenden Parametern angenommen: relative Permeabilität Unterboden 150, Motorblock 300, Achsen 1000, Erdmagnetfeld $40\mu\text{T}$ mit einer Inklination von 60° (damit eine typische Situation in Europa repräsentierend). Das Fahrzeugmodell wurde in der Mitte eines Würfels zentriert, wobei die türkisfarbene Ebene den Boden repräsentiert und der rote Pfeil die Richtung des Erdmagnetfelds angibt. Bild 3-2a zeigt das Simulationsergebnis in der Draufsicht mit der eingezeichneten roten Linie. Im Bild 3-2b ist der Betrag der magnetischen Flussdichte entlang der roten Linie angegeben. Die Flussdichte entlang dieser Linie entspricht damit dem Signal, das bei Überfahrt des Fahrzeugs mit einem Detektor am Boden gemessen werden kann.

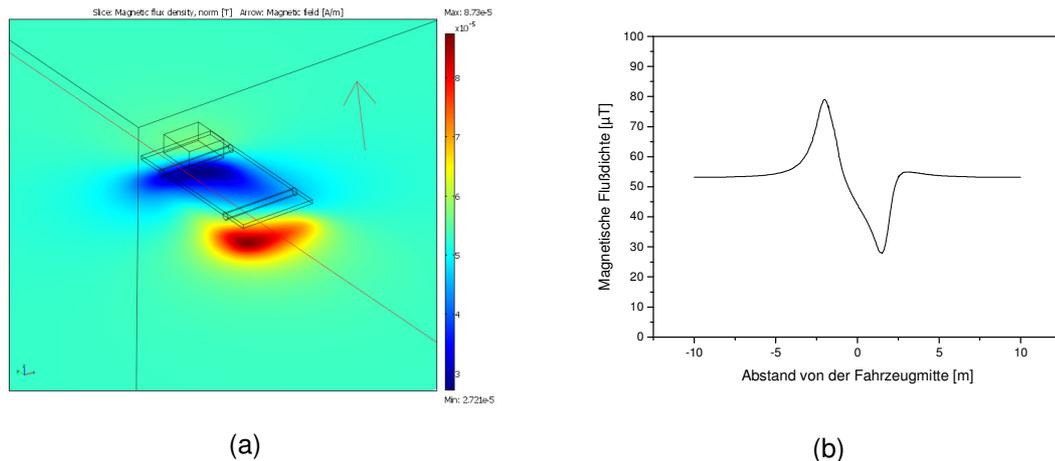


Bild 3-2: Magn. Flussdichte (a) Simulation, Ansicht von hinten (b) Betrag entlang der roten Linie

Aufgrund des sehr unterschiedlichen Aufbaus von Fahrzeugen ist eine allgemein gültige Simulation unmöglich. Insbesondere im Nahfeldbereich kann ein in der Weise vereinfachtes Modell die realen Messergebnisse nicht nachbilden. Für den Bereich des Fernfeldes lassen sich hiermit aber Aussagen zu den vorherrschenden Verhältnissen treffen. Qualitativ stimmt diese Simulation gut mit den Messergebnissen überein.

3.2 Einzelplatzerfassung im Parkhaus Lampertshof

Im ersten Projektteil wurde ein Parkhaus mit einem System zur Einzelplatzerfassung von parkenden Fahrzeugen ausgestattet. Zusammen mit der Votronic GmbH und der QPark Saarbrücken GmbH wurden dazu 108 Detektoren im Parkhaus Lampertshof in der Saarbrücker Innenstadt installiert. Im Zwischenbericht zum Projekt wurde dazu bereits ausführlich informiert.

Im Parkhaus ergaben sich Probleme vor allem durch die dort vorherrschenden spezifischen Magnetfeldverhältnisse. Durch ferromagnetische Konstruktionen im Boden treten dort starke Feldkonzentrationen auf, die die Detektion erschweren. Dieser Effekt kann als die Hauptursache der noch unzureichenden Erkennungsquote angesehen werden. Mit Hilfe der Gewichtung von Detektionsachsen wurden Optimierungen berechnet und in der Praxis erprobt. Die Ergebnisse wurden dabei im realen Betrieb über eine Vielzahl von verschiedenen Fahrzeugen erfasst. Ein ausführlicher Bericht zum System im Lampertshof ist diesem Bericht beigelegt.

3.3 Vorbereitende Messungen zur Erfassung des fließenden Verkehrs

In der Vorbereitung der Messungen von fließendem Verkehr wurden auf dem Gelände der Universität des Saarlandes Messungen durchgeführt. Genutzt wurde dazu ein Peugeot 307 Kombi, weshalb diese Ergebnisse nicht fahrzeugunabhängig betrachtet werden können. Die Geschwindigkeit bei diesen Messungen beträgt max. 30 km/h. Als Detektoren wurde hier noch eine frühere Entwicklungsserie verwendet. Simultan zu diesen Messungen wurde das Messsystem zur Aufnahme des fließenden Verkehrs aufgebaut und getestet.

Untersucht wurde die Anbringung der Detektoren seitlich entlang der Fahrbahn und auf dem Boden, mit direkter Überfahrt vom Fahrzeug. Die letztere Variante brachte durchweg exakte Werte. Der Abstand Fahrzeug-Detektor ist bei allen Messungen gleich. Unterhalb des Fahrzeugs zeigen sich zudem starke Signale. Schwierigkeiten entstehen hierbei durch verschiedene Fahrzeugtypen und Fahrzeugklassen. Zudem wurden die Detektoren in gerader Weise überfahren, während in der Realität dies nicht immer der Fall ist. Bei einer leicht schrägen Überfahrt kann hier insbesondere die Nähe zu den Strukturen des Autos und die damit verbundene hohe Ortsauflösung sehr unterschiedliche Signale liefern und sich damit negativ auf eine Auswertung auswirken.

Neben der direkten Überfahrt der Detektoren wurde auch die Anbringung an der Seite der Fahrbahn untersucht. Da hier der Installationsaufwand sehr gering ist, könnte diese Art der Anbringung in der Praxis entscheidende Vorteile mit sich bringen. Da der Abstand des Fahrzeugs zu den Detektoren hierbei jedoch stark variiert, ist hier ein besonders großer Dynamikbereich der Detektoren nötig. Diese Dynamik wird vorrangig durch das Rauschen der Detektoren begrenzt.

In beiden Montagepositionen wurden Messungen mit verschiedenen Abständen der Detektoren zueinander durchgeführt. Bei einem Meter Abstand wurden gute Ergebnisse erzielt. Bei der Verringerung auf 50 cm oder 30 cm verschlechterten sich die Ergebnisse.

Die aufgenommenen Daten wurden nun ausgewertet. Dabei wurde zum einen die Kreuzkorrelation von Signalen korrespondierender Achsen als auch von den Vektorbeträgen beider Detektoren durchgeführt. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass die Fahrtrichtung und Geschwindigkeit damit ermittelbar sind. Durch die Korrelation der Vektorbeträge konnte gezeigt werden, dass in diesem Fall eine Ausrichtung der Detektoren nicht nötig ist.



Bild 3-3: Seitliche Vorbeifahrt an den Detektoren



(a)

(b)

Bild 3-4: (a) Direkte Überfahrt der Detektoren und (b) mobile Vorrichtung

3.4 Detektoren für den fließenden Verkehr

In der zweiten Projektphase wurden die magnetischen Detektoren so weiterentwickelt, dass sie in zwei verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können. Zum einen konnten die Ergebnisse aus der ersten Projektphase dazu beitragen, den Detektor in Hinblick auf die Verwendung zur Detektion von parkenden Fahrzeugen weiter zu optimieren. Dazu wurde der Kompensationsbereich weiter erhöht. Der wesentliche Schwerpunkt der zweiten Projektphase wurde jedoch durch den Aufbau eines Systems zur Erfassung von fließendem Verkehr gebildet. Dazu musste der Detektor an die speziellen Anforderungen dieser Anwendung angepasst werden.

Um die beiden sich stark unterscheidenden Anwendungsbereiche ruhender und fließender Verkehr abzudecken, wurde der Detektor in eine modulare Struktur umgewandelt. Dadurch wird es nicht nur möglich, entsprechend dem Einsatzgebiet optimierte Module zu verwenden, sondern auch in sehr kostensensitiven Einsatzbereichen bestimmte Teile auszulassen. Die Platine der aktuellen Detektorserie wurde dazu so weiterentwickelt, dass sie den modularen Anforderungen entspricht und damit verschiedene Bestückungsvarianten zulässt. Die eingebettete Software musste dabei so angepasst werden, dass sie die vorhandene Hardwarekonfiguration kennt und damit die entsprechenden Funktionalitäten bereitstellt. Von der Bereitstellung verschiedener Softwareversionen wurde aufgrund des hohen Pflegeaufwands abgesehen.

Um die Signale von Fahrzeugen an der Autobahn deutlich erfassen zu können, wurde die Grenzfrequenz der Detektoren auf 100 Hz angehoben. Um Alias-Effekte bei der Analog-zu-Digital-Wandlung zu verhindern, mussten die analogen Vorstufen um Filter höherer Ordnung ergänzt werden. Mit der Erweiterung des Frequenzbereichs auf 100 Hz müssen gegebenenfalls Störsignale der Umwelt gefiltert werden. Zu finden sind hierbei vor allem Signale der Stromversorgung der Bahn bei 16,7 Hz. Aufgrund der vergleichsweise langen Leitungen verringern sich die Feldstärken hier nur mit $1/r$ im Abstand r . So sind zum Teil auch an der Messstelle der A6 in St. Ingbert Mitte Signale aus dem Fahrbetrieb der Bahn erkennbar. Da der Messcontainer dort keine Stromzuführung besitzt, konnten Signale, die durch Stromversorgungsleitungen bei 50 Hz hervorgerufen werden, vollständig vermieden werden. Um diese Störquelle von vornherein auszuschließen, wurde das Messsystem vollständig auf einen Akkubetrieb ausgelegt.

In der aktuellen Serie wurden neue Sensorelemente verwendet. Dieser Austausch war nötig geworden, nachdem in der ursprünglichen Konfiguration starke Schwankungen von Sensorparametern festgestellt wurden. Bei den aktuell verwendeten Sensorelementen sind diese Parameter spezifiziert.

3.5 Aufbau des Messsystems

Das Messsystem wurde selbst entwickelt, wobei aufgrund der vielen Randbedingungen eine leichte Anpassfähigkeit gegenüber einer vollständig industriell einsatzbereiten Lösung vorgezogen wurde. Das Messsystem besteht damit aus zwei Detektoren, einer Messkarte, einer Kamera, einem Laptop, Kabeln, und Akkumulatoren. Nachfolgend werden das entwickelte Messprogramm und die durchgeführte Signalverarbeitung erläutert.

3.5.1 Messprogramm

Die Signalspeicherung und -verarbeitung wird auf dem Laptop mit einem in LabVIEW³ erstellten Programm durchgeführt. Auch die Kommunikation über den seriellen RS485-Bus wird durch dieses Programm ermöglicht, um Parameter ändern zu können. Simultan zu den Signalen der Detektoren werden die Bilder der Kamera erfasst. Beides wird auf dem grafischen Benutzerinterface zeitgleich dargestellt. Bild 3-5 zeigt einen Bildschirmausdruck dieses Messprogramms.

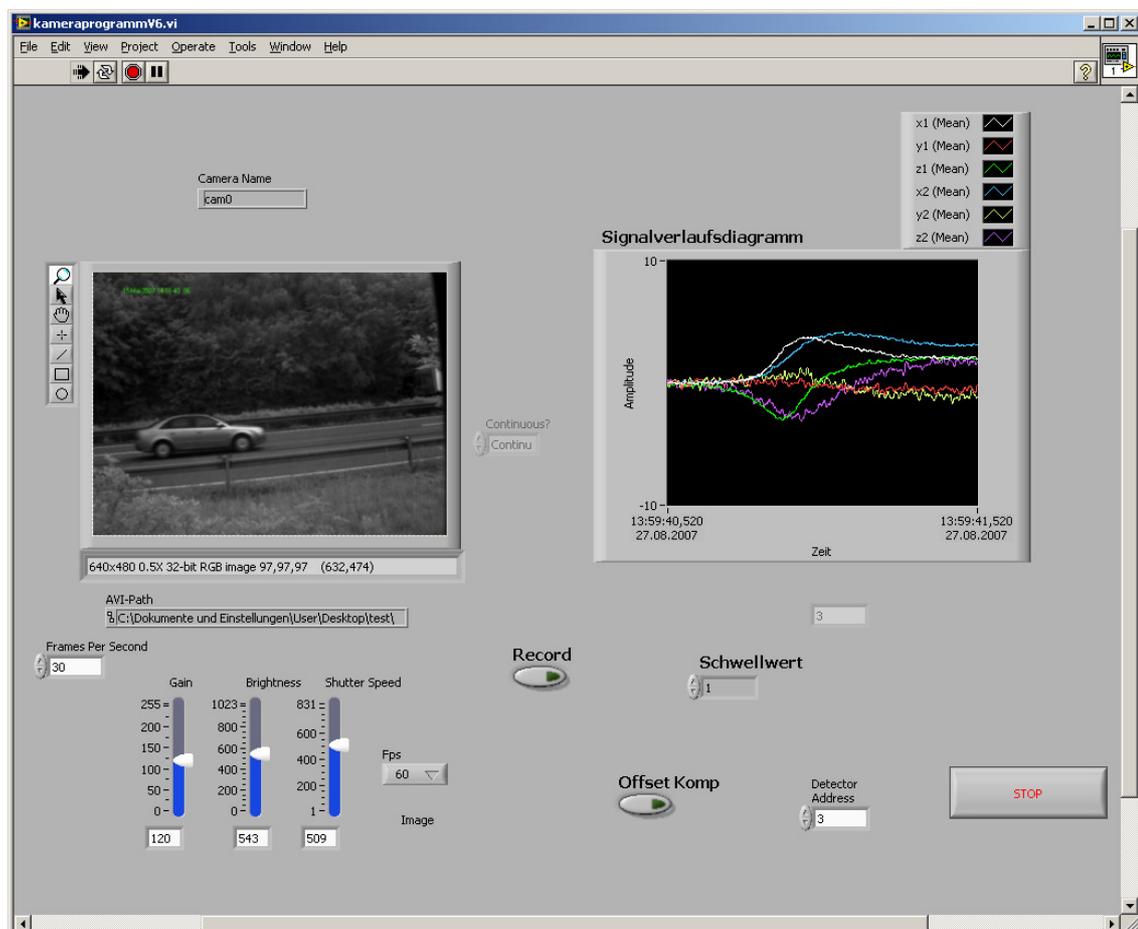


Bild 3-5: Bildschirmausdruck des Messprogramms

³ von National Instruments, <http://www.ni.com/>

Mit diesem Programm ist sowohl die Aufnahme von Einzelbildern als auch die Aufnahme eines Films möglich. Um eine einfache Auswertung zu ermöglichen, wurden hier standardmäßig nach Überschreiten eines Schwellwerts Einzelbilder aufgenommen, mit einem Zeitstempel versehen und gespeichert. Aufgrund der aufwendigen Auswertung wurde die Aufnahme von Filmen vorrangig für Demonstrationzwecke genutzt. Auf der beigelegten CD findet sich ein Beispiel-film.

3.5.2 Signalverarbeitung

Da die Detektoren mit jeweils drei empfindlichen Achsen x, y und z ausgestattet sind, lassen sich damit Magnetfelder dreidimensional erfassen. Dadurch kann auf eine aufwendige Ausrichtung der Detektoren im Erdmagnetfeld verzichtet werden. Die Detektoren werden in Röhren unterhalb der Fahrbahn eingebracht und können damit in jeder Position Signale erfassen (siehe 3.6.1 Aufbau der Messstelle). Einzig die Einbringtiefe in die Röhre muss erfasst werden.

Im Betrieb wird aus den Signalen der drei Achsen eines Detektors der resultierende Vektor ermittelt, dessen Betrag dann ausgewertet wird. Bild 3-6a zeigt ein Beispiel für die Signale der zwei Detektoren (2x3 Kanäle), hervorgerufen von einem Fahrzeug. Im Bild 3-6b sind daraus ermittelten Vektorbeträge dargestellt. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die Vektorbeträge beider Detektoren ähnliche Formen besitzen und zeitlich verschoben sind.

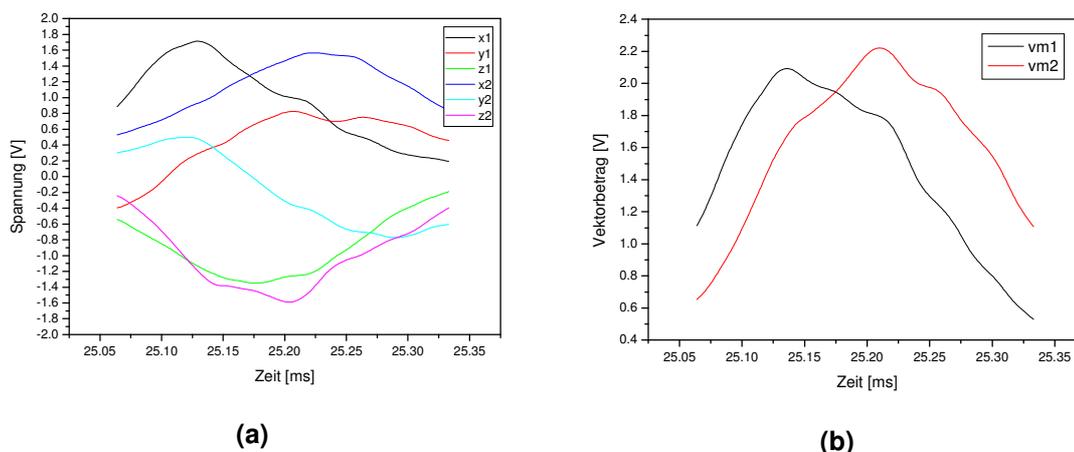


Bild 3-6: Signale (a) und Vektorbeträge (b) der zwei Detektoren

Um mit den Detektoren zu kommunizieren, sind diese über den RS485-Bus mit dem Laptop verbunden. Diese Kommunikation dient der Einstellung von Parametern und der Steuerung der Detektoren. In der aktuellen Konfiguration werden die Daten über die analogen Schnittstellen der Detektoren aufgenommen. Dazu sind diese an die Messkarte gekoppelt, die mit einer Bruttoauflösung von 16 Bit und einer Abtastrate von 10 kS/s die Signale digitalisiert. Ein nachfolgender FIR-Filter wird genutzt, um die Bandbreite zu begrenzen. Als Grenzfrequenz wurden für verschiedene Messungen die Werte 10, 30 und 100 Hz eingestellt. Anschließend wird der Datenstrom durch eine gleitende Mittelwertbildung auf eine Abtastrate von 1 kS/s dezimiert. Diese Signalverarbeitung wird auf dem Laptop mit einem in LabVIEW erstellten Programm durchgeführt.

Bild 3-7 zeigt das Spektrogramm einer an der A6 durchgeführten Messung. Über eine Zeitspanne wird dabei der Anteil verschiedener Frequenzen bis

100 Hz ausgewertet. Jede hellblaue Linie entspricht dabei einem Fahrzeugsignal. Die Signale wurden auf den Maximalwert der Messungen normiert. Die dargestellte Dynamik von 60 dB entspricht hier einem Bereich von drei Größenordnungen magnetischer Flussdichte⁴.

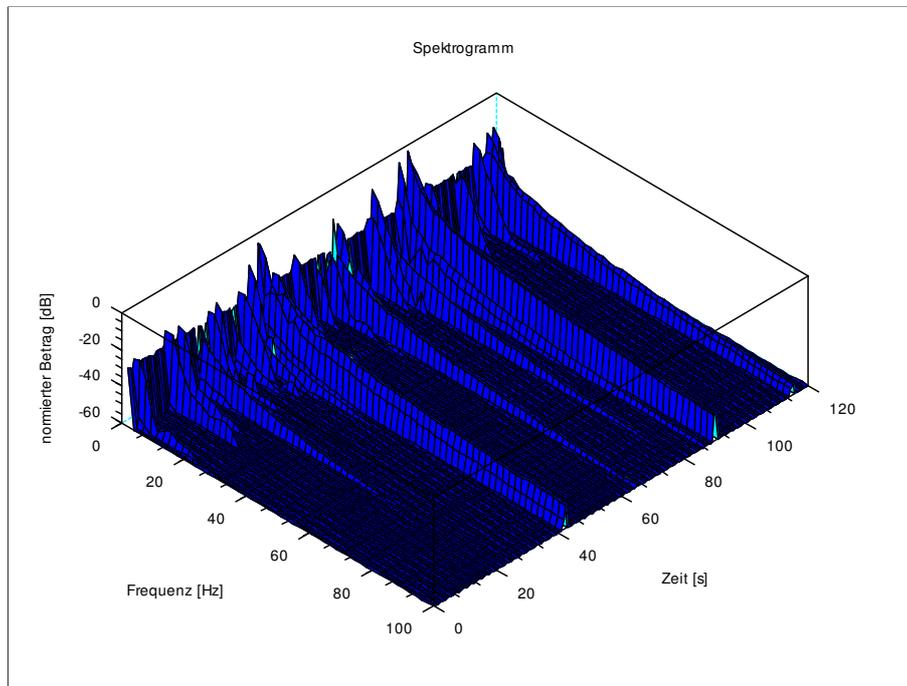


Bild 3-7: Spektrogramm⁵

Es ist zu erkennen, dass fast alle Fahrzeuge Spektralanteile bis zu 20 Hz besitzen. Starke Signale, die von LKW herrühren, besitzen aufgrund ihrer Steifflankigkeit jedoch auch Anteile bis zu 100 Hz und darüber hinaus. Um nun nachfolgend Signale korrelieren und zuordnen zu können, sollten genügend charakteristische Anteile enthalten sein. Diese werden vor allem durch den Aufbau und durch Baugruppen der Fahrzeuge hervorgerufen. Je höher die örtliche Auflösung des Systems ist, desto mehr Details können erfasst werden. Dabei erhöht sich die örtliche Auflösung, je niedriger die Geschwindigkeit und je höher die Grenzfrequenz des Detektors ist. Mit dem hier verwendeten Frequenzbereich bis zu 100 Hz lassen sich damit charakteristische Details bis zu Autobahngeschwindigkeiten aufnehmen.

3.5.3 Auswertung der Messdateien

Für die Auswertung der gewonnen Messdateien wurde ein Terminal-Programm geschrieben. Der vollständige Quellcode in der Sprache C ist im Anhang unter 6.2 abgedruckt. Bild 3-8 zeigt einen Bildschirmausdruck des aktiven Programms. Nach Eingabe der Dateinamen werden zuerst die Dateien eingelesen.

⁴ wenn Signalspannung proportional zur magnetischen Flussdichte

⁵ ausgewertet wurden Signale im Bereich $1 \text{ mHz} < f < 100 \text{ Hz}$, genutzt wurde Scilab, <http://www.scilab.org/>

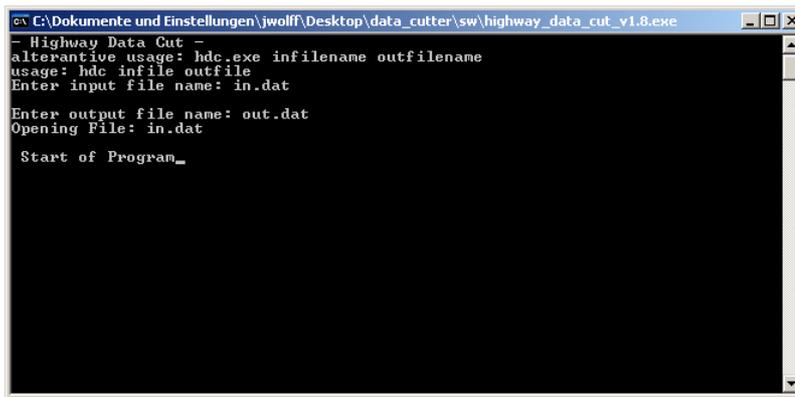


Bild 3-8: Bildschirmausdruck des Terminal-Programms zur Datenauswertung

Um die Werte zu glätten wird danach ein gleitender Mittelwert über eine festlegbare Anzahl von Punkten gebildet. Zusätzlich bietet sich damit die Möglichkeit, Signale bestimmter Frequenzen zu unterdrücken (beispielsweise 16,7 Hz und 50 Hz bei Verwendung von 60 Punkten, oder Vielfachen davon). Bild 3-9a zeigt eine Beispielfahrzeug, anhand dessen der nachfolgend geschilderte Ablauf dargestellt wird. Im Bild 3-9b sind die mit dem LabVIEW-Programm gewonnenen Messsignale der 2x3 Kanäle aufgetragen.

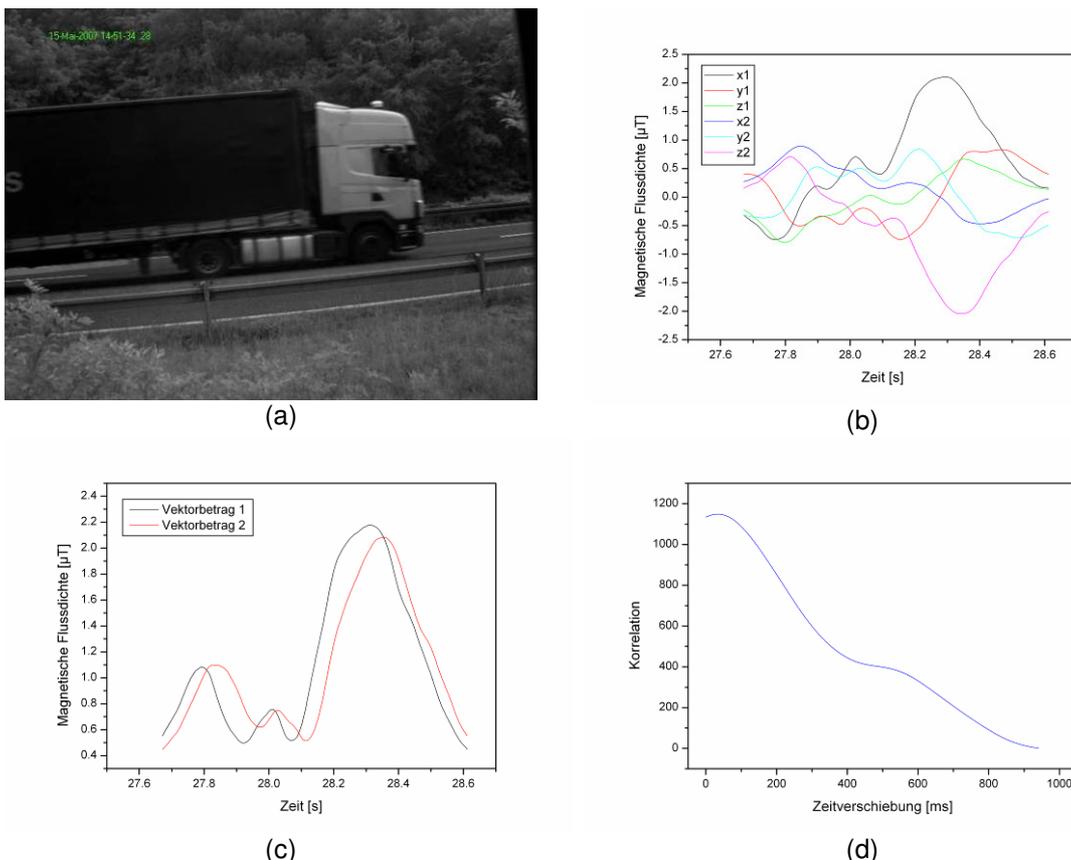


Bild 3-9: Detektion eines Lkw: (a) Foto mit Zeitstempel, (b) Änderungen der magnetischen Flussdichte, (c) Vektorbeträge der Detektoren, (d) Ergebnis der Korrelation

Nach der Glättung wird für jeden Detektor aus den x-, y- und z-Werten der Betrag des Vektors („Vector Magnitude“, vm) berechnet. Durch Über- bzw. Unterschreiten eines Schwellwertes wird nun der Beginn bzw. das Ende eines

Teilstücks markiert. Die Messdatei wird in diese Teilstücke geschnitten, von denen jede ein Fahrzeug repräsentiert. Bild 3-9c zeigt das Teilstück für den Beispiel-Lkw. Bei Über- und Unterschreiten der Schwellwerte werden schon hier anhand der zeitlichen Verschiebung zwischen $vm1$ und $vm2$ Geschwindigkeiten berechnet. Auch wird für $vm1$ und $vm2$ das lokale Maximum gesucht und daraus der dritte Geschwindigkeitswert berechnet. Bei Berechnung der Korrelation wurden jedoch bessere Ergebnisse erzielt, als bei den hier an Einzelpunkten ermittelten Geschwindigkeiten.

Vor Durchführung der Kreuzkorrelation werden die beiden Vektorbeträge mit Hilfe ihrer Mittelwerte normiert. Anschließend wird die Korrelation durchgeführt. Dazu wird für jedes i und für jedes j der Wert von $vm1[j]$ mit jedem Wert von $vm2[i+j]$ multipliziert und daraus die Summe gebildet. Der Algorithmus ist hier folgend aufgeführt:

```
for (i=0; i<len; i++)
{
    for (j=0; j<len-i; j++)
    {
        corr[i] += (dp_[j].vm1 * dp_[j+i].vm2) ;
    }
    if (corr[i]>maxCorr)
    {
        maxCorr = corr[i];
        maxIndex = i;
    }
}
```

Im Ergebnis erhält man für jedes i eine Summe $corr[i]$. Wenn man diese Kurve aufträgt, kann man - wie im Bild 3-9d dargestellt - leicht ein Maximum finden. Die Verschiebung des Maximums gegenüber dem Nullpunkt gibt die Anzahl der Zeiteinheiten an, um die die beiden Signale verschoben sind. Bei einer Abtast-rate von 1 kS/s beträgt die Zeiteinheit 1 ms.

Aus der Zeitverschiebung und dem Abstand der beiden Detektoren wird nun die Geschwindigkeit des Fahrzeugs errechnet (im Bild 3-9: 105 km/h). Nachfolgend wird durch das Programm der gesamte Teilabschnitt mit den errechneten Geschwindigkeiten im Dateinamen abgespeichert. Um eine Zuordnung zu den entsprechenden Bildern durchführen zu können, wird zudem der Zeitstempel der aktuellen Messung mit in die Datei geschrieben.

3.5.4 Kontrolle des Messsystems

Das Messsystem, die Signalverarbeitung und die Auswertung wurden auf inhärente Fehler hin untersucht. Wie zuvor bereits beschrieben, wurden die Daten der Detektoren mit einer Messkarte digitalisiert. Genutzt wurden dazu sechs Kanäle, die jedoch mit der verwendeten Messkarte nicht synchron abgetastet werden können. Sinussignale von 16,7 Hz und 100 Hz wurden auf zwei Kanäle des Messsystems eingespeist. Bei Korrelation der Signale zeigt sich das für eine periodische Funktion charakteristische kosinusförmige Ergebnis mit der Verschiebung Null. Damit hat die nicht-synchrone Abtastung keinen Einfluss auf die Messergebnisse und kann vernachlässigt werden.

Die korrekte Funktion des implementierten Korrelationsalgorithmus konnte durch den Vergleich mit Ergebnissen des Programmpakets Origin⁶ nachgewiesen werden.

⁶ von Originlab, <http://www.originlab.com/>

Die ermittelten Geschwindigkeiten konnten nicht vollständig nachgewiesen werden. Der Versuch, durch Auswertung von Bildsequenzen oder Filmen Geschwindigkeiten zu ermitteln, brachte nicht den gewünschten Erfolg. Gründe sind dabei nicht nur die zu schätzenden Längen sondern auch die fehlende Echtzeitfähigkeit des LabVIEW-Programms in der Videoerfassung. Die Aufnahme der Messsignale wird dadurch jedoch nicht beeinflusst.

3.6 Messungen an der A6

An der Autobahnauffahrt der A6, St. Ingbert Mitte, wurden mit der Hilfe der Votronic GmbH umfangreiche Messungen des fließenden Verkehrs durchgeführt. Im Ergebnis konnten Profile von rund 10.000 Fahrzeugen mit den korrespondierenden Bildern aufgenommen werden. Nachfolgend werden zuerst der Aufbau der Messstelle und dann die Messungen erläutert.

3.6.1 Aufbau der Messstelle

Die Messstelle besteht aus zwei Röhren unterhalb der Fahrbahn, in die die Detektoren eingebracht wurden. Um den Zugang zu gewähren und das Messsystem bei jedem Wetter betreiben zu können, ist zudem ein Container vorhanden. Bild 3-10 verdeutlicht schematisch den Aufbau der Messstelle. Direkt vom Container aus besteht der Zugang zu den Röhren, deren Abstand einen Meter beträgt. Aufgrund der Beschleunigungsspur der Autobahnauffahrt besitzt die A6 an dieser Stelle drei Fahrspuren. Die Detektoren wurden so eingebracht, dass sie die mittlere Fahrspur erfassen.

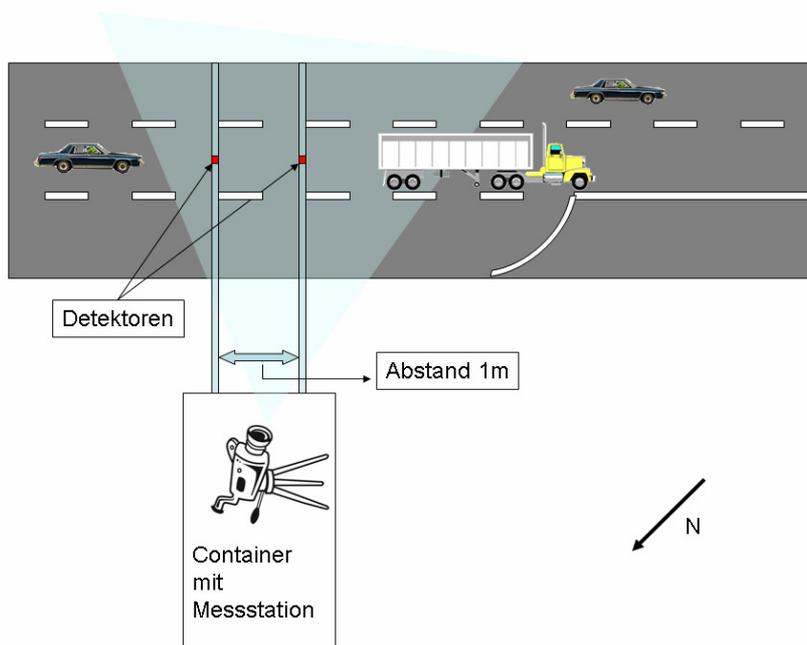


Bild 3-10: Schema der Messstelle an der A6

Im Bild 3-11 ist die Lage der Detektoren unter der Fahrbahn schematisch aufgezeichnet. Die Röhren befinden sich etwa in 1,5 m Tiefe.

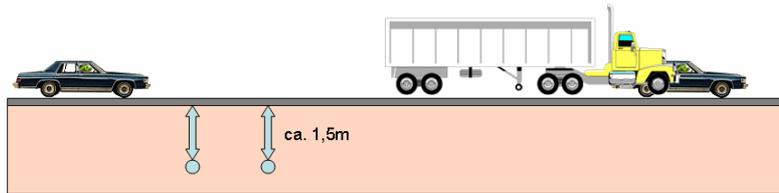


Bild 3-11: Lage der Detektoren unter der Fahrbahn



Bild 3-12: Ansicht der beiden Schlitten mit den Detektoren

Um die Detektoren in die Röhren zu führen, wurden Schlitten wie im **Bild 3-12** genutzt. Für die Messungen wurde auf dem Container eine Kamera angebracht. Bild 3-13a zeigt das Kameragehäuse und Bild 3-13b die Sicht auf die Fahrbahn. Da die Bilder ausschließlich von der Seite aufgenommen wurden, sind keine fahrzeugspezifischen Details erfasst worden. Im folgenden Abschnitt sind beispielhafte Messergebnisse mit den dazugehörigen Bildern dargestellt.



(a)



(b)

Bild 3-13: (a) Kameragehäuse, (b) Blick auf die Fahrbahn

3.6.2 Beispielhafte Messergebnisse

Beispielhaft für die gesammelten Messungen werden hier im Bild 3-14 und im Bild 3-15 die Messergebnisse von vier Fahrzeugen dargelegt. Gezeigt werden die aufgenommenen Bilder (mit Zeitstempeln in der oberen linken Ecke), die ermittelten Vektorbeträge (mit den leicht zu erkennenden Verschiebungen) und die daraus errechneten Korrelationen. Wie unter 3.5.3 beschrieben, wurden daraus die Geschwindigkeiten errechnet.

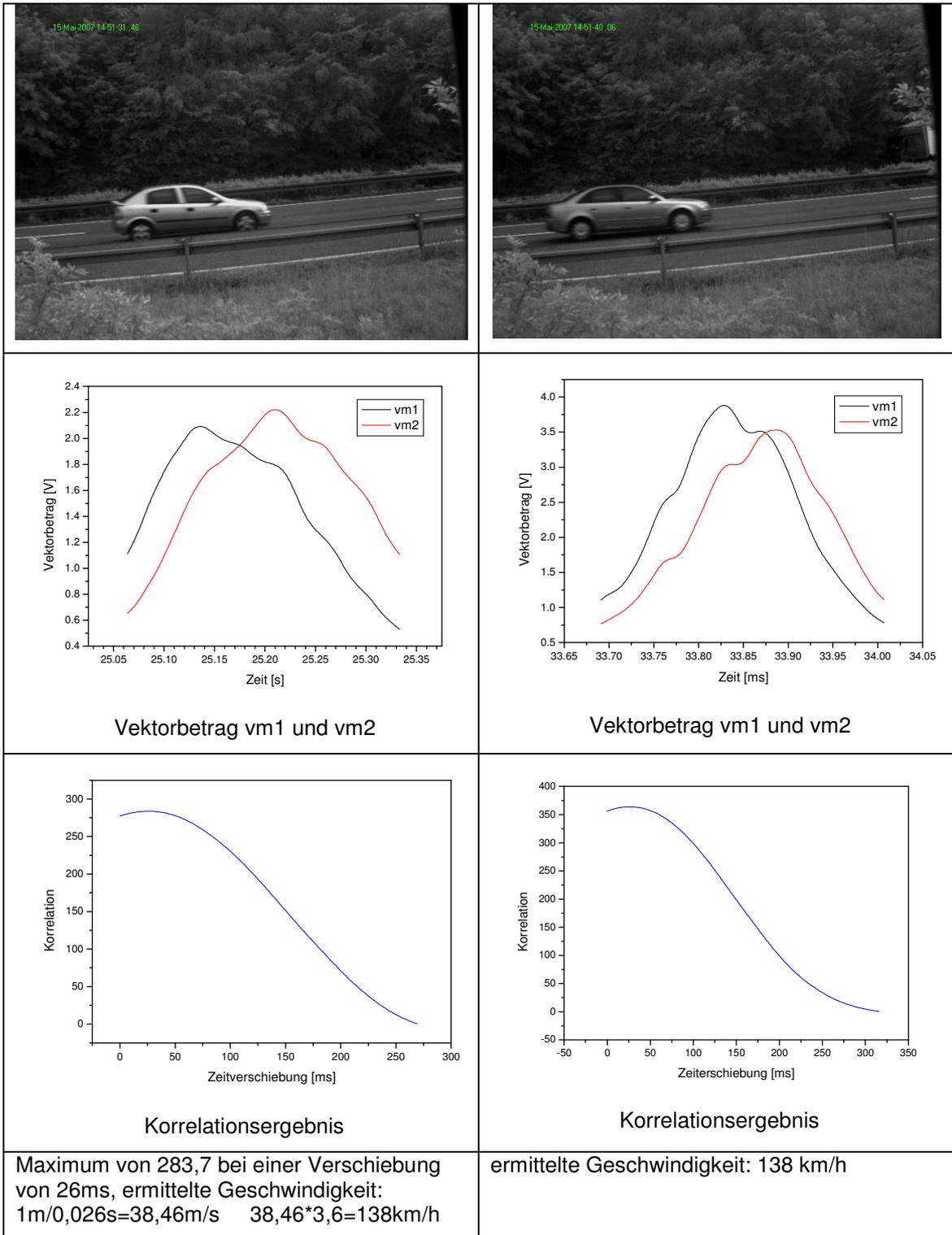


Bild 3-14: Beispielhafte Messergebnisse von zwei Pkw

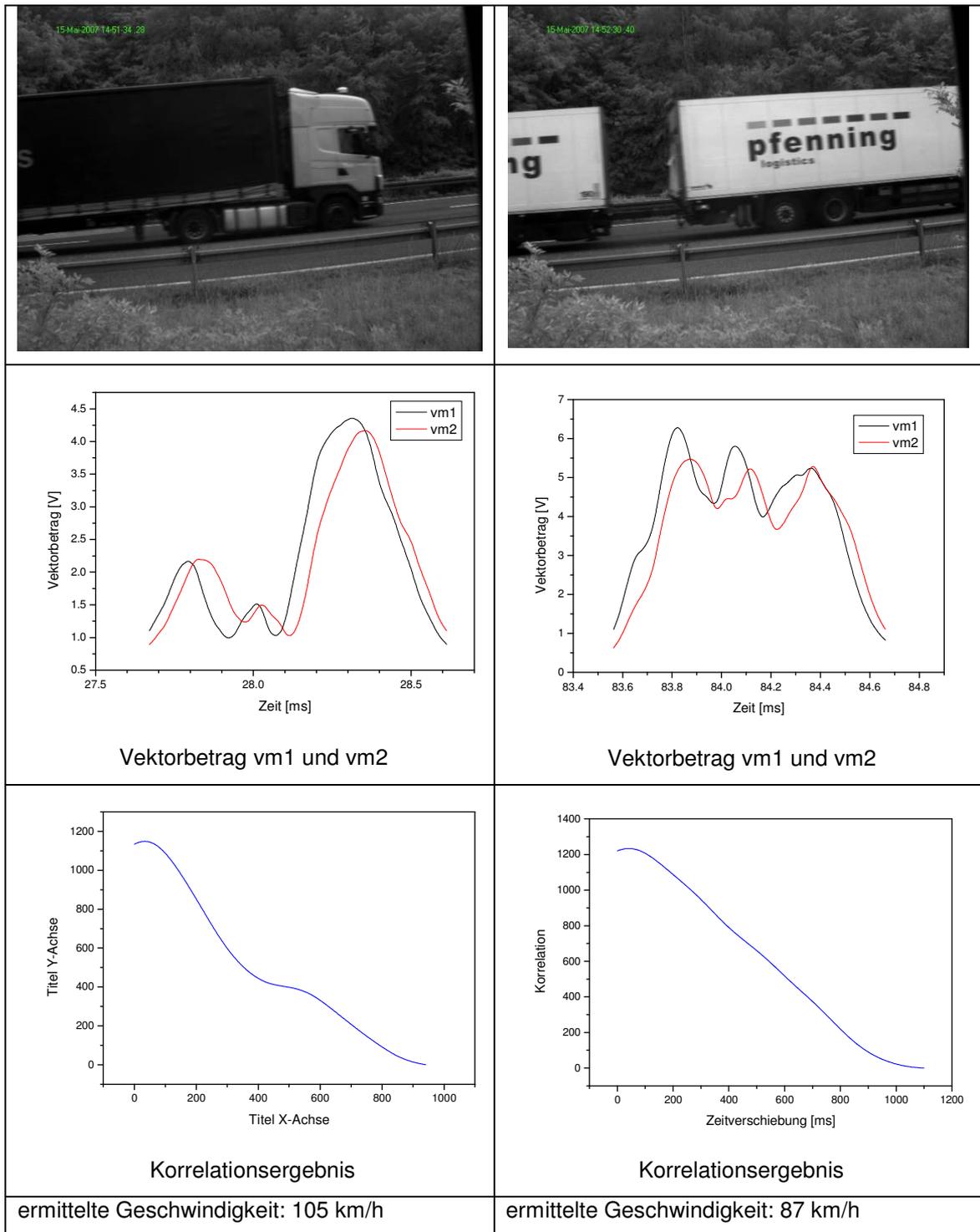


Bild 3-15: Beispielhafte Messergebnisse von zwei Lkw

Die hier abgebildeten Daten wurden also nach der Aufnahme mit dem Messsystem (LabVIEW-Programm) mit Hilfe des Auswerteprogramms geschnitten und korreliert. Anschließend wurden die Bilder anhand der Zeitstempel per Hand zugeordnet.

Bereits anhand dieser Beispiele lässt sich erkennen, dass die Fahrzeugsignale sich in bestimmten Merkmalen unterscheiden. So lassen sich bereits hier anhand der Parameter Geschwindigkeit, Länge, Signalgröße und Anzahl lokaler Minima/Maxima Fahrzeugklassen erkennen.

3.6.3 Anzahl der Messungen

Die Messungen an der A6 wurden über einen weiten Zeitraum durchgeführt, wobei verschiedene Wochentage und Uhrzeiten erfasst wurden. In der Tabelle 3-1 sind die Anzahl der Messungen für bestimmte Messtage angegeben. Dabei wurde für 2390 Fahrzeuge eine Grobklassifikation in die Gruppen Pkw, Lkw und Transporter durchgeführt. Diese Daten wurden per Hand zugeordnet, d.h. anhand der aufgenommenen Bilder klassifiziert.

Messungen an der A6				
Datum der Messung	LKW	PKW	Transporter	Gesamt
13.03.07	90	184	28	302
24.04.07	31	32	6	69
03.05.07	265	647	97	1009
08.05.07	132	441	65	638
31.05.07	91	247	34	372
Summe	609	1551	230	2390
In Prozent	25,48%	64,90%	9,62%	100%
Anzahl aller Messungen, Extrapolation für alle durchgeführten Messungen:				
	LKW	PKW	Transporter	Gesamt
Gesamt	2648	6743	1000	10391

Tabelle 3-1: Anzahl der Messungen an der A6

Fast 2/3 dieser Fahrzeuge sind Pkw. Rund ein Viertel der Fahrzeuge sind Lkw. Diese unerwartet hohe Zahl ist vor allem auf die Erfassung der rechten Fahrspur zurückzuführen. Transporter besitzen in etwa einen Anteil von 10%.

Aus diesen per Hand ausgewerteten Ergebnissen wurde die Gesamtzahl für alle aufgenommenen Messungen extrapoliert. Rund 10.000 Fahrzeuge wurden demnach bei den Messungen erfasst.

3.6.4 Qualität der Messergebnisse

Anhand eines weiteren Messtages 15.05.07 wurde die Plausibilität der durch die Korrelation ermittelten Geschwindigkeiten untersucht. Dazu wurden drei Messungen mit den Grenzfrequenzen 10 Hz, 30 Hz und 100 Hz per Hand untersucht. Für diese Untersuchung wurden folgende Geschwindigkeiten als realistisch eingestuft: Lkw: 70 - 110 km/h, Pkw/Transporter: 80 – 160 km/h. Die Information zur Fahrzeuggruppe wurde durch das passende Fahrzeugbild mit dem entsprechenden Zeitstempel ermittelt. Im Ergebnis ergibt sich die folgende Tabelle 3-2:

Grenzfrequenz	Plausible Ergebnisse	Gesamtzahl der Stichproben	Erfolgsquote
10 Hz	114	195	58,46%
30 Hz	240	427	56,21%
100 Hz	147	218	67,43%

Tabelle 3-2: Güte der Messergebnisse

Die Erfolgsquote gibt also den Anteil der als realistisch eingestuften Geschwindigkeitsergebnisse an. Die hier dargestellte Quote ist sicher unbefriedigend. Als Ursache für die hohe Fehlerrate kann zum einen der geringe Abstand der Detektoren zueinander genannt werden. Die beiden Röhren besitzen einen Ab-

stand von 1 m, die Fahrbahn ist etwa 1,5 m darüber. Durch Vergrößerung des Abstands der Detektoren zueinander können die Ergebnisse verbessert werden. Die in der Tabelle dargestellten Ergebnisse zeigen auch, dass mit der Erhöhung der Grenzfrequenz die Korrelation verbessert und damit der Anteil plausibler Geschwindigkeiten erhöht wird.

3.7 Zusammenfassung und Ausblick

Am Beispiel des Messsystems konnte aufgezeigt werden, wie eine Detektion von fließendem Verkehr bis zu Autobahngeschwindigkeiten möglich ist. Das verwendete System wurde als Testsystem konzipiert, aufgebaut und zur Datengewinnung genutzt. Eine Realisierung als einfach einzusetzender Prototyp kann hiernach erfolgen.

Die Detektoren wurden so weiterentwickelt, dass sie zur Detektion von fließendem Verkehr genutzt werden können. Dabei wurde eine modulare Struktur eingerichtet, um die Änderungen für einen Einsatz im ruhenden Verkehr entscheidend zu verringern.

Als Installationsmöglichkeit wurde die Verlegung von Röhren unterhalb der Fahrbahn genutzt. Dadurch ergeben sich entscheidende Vorteile besonders bei der Installation an stark frequentierten Straßen und an Autobahnen, eine Straßensperrung ist hier nicht nötig. Außerdem ist das System unabhängig von Umweltbedingungen (wie Sicht) und kann einfach wirkungsvoll gegenüber Vandalismus geschützt werden. Als Nachteil dieser Installationsmethode kann die nötige hohe Empfindlichkeit der Detektoren genannt werden.

Durch eine Vergrößerung des Abstands der Detektoren zueinander sind vor allem Verbesserungen in Bezug auf die Korrelation zu erwarten. Bei einer Positionierung der Detektoren näher zur Fahrbahnoberfläche werden die Signal-Störabstände verbessert und mehr Details der magnetischen Fahrzeugsignaturen erfasst. Werden die Fahrzeuge sehr detailliert aufgelöst, steigt jedoch auch die Abhängigkeit von der Überfahrposition und damit auch die Schwierigkeit der Korrelation von zwei Detektorsignalen.

Weitere Installationsmöglichkeiten wie am Rand, auf und über der Fahrbahn sind denkbar. Im ersten Fall besteht jedoch die Schwierigkeit in der starken Abstandsabhängigkeit und der dem damit verbundenen großen Dynamikbereich der Signale. Die Installation auf der Straße bietet sich vor allem für temporäre Messungen bei niedrigen Geschwindigkeiten an. Bei der Installation über der Fahrbahn besteht für mehrspurige Fahrbahnen hauptsächlich das Problem der Unterscheidung der einzelnen Fahrspuren.

An der Autobahn 6 wurden mit dem Messsystem magnetische Profile und Bilder von rund 10.000 Fahrzeugen aufgenommen. Ein Teil dieser Daten wurde bereits mit Hilfe eines entwickelten Auswerteprogramms und der manuellen Zuordnung der Bilder ausgewertet. Aus diesen Daten können nun Parameter gewonnen werden, die eine automatische Einteilung in Klassen ermöglichen. Parameter wie Länge, Signalstärke, Geschwindigkeit und Anzahl lokaler Maxima/Minima können bereits jetzt herangezogen werden. Es ist anzunehmen, dass hiermit eine 5+1 Klassifizierungsgruppe⁷ erreicht werden kann. Für die Erreichung einer 8+1 Klassifizierung ist nach heutiger Einschätzung ein größerer Aufwand nötig. Dieser kann z.B. in der Kombination von Detektorpositionen

⁷ siehe Bundesanstalt für Straßenwesen, Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen: <http://www.bast.de/>

(unterhalb und oberhalb der Fahrbahn), in der Installation von ganzen Detektorarrays oder der Überwachung längerer Teilabschnitte durch eine Vielzahl von Detektoren bestehen.

Neben den hier genutzten Methoden der Signalverarbeitung können auch Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens zur Auswertung verwendet werden. Dabei können zunächst die Daten aufbereitet werden (z.B. Zerlegung von Messungen in Ursachen und Störungen durch Anwendung von Verfahren wie Hauptkomponentenanalyse oder Independent Component Analysis). Anschließend können Merkmale extrahiert werden (z.B. durch FFT oder Wavelet-Analyse), auf denen anschließend Klassifikationsverfahren basieren. Hierbei sind Verfahren des maschinellen Lernens wie Neuronale Netze oder Support Vektor Maschinen denkbar.

4. Präsentationen

Das Projekt und die Ergebnisse wurden fortlaufend nicht nur in wissenschaftlichen Publikationen sondern auch in der Presse publiziert.

- Wolff, J., Heuer, Th., Gao, H., Weinmann M., Voit, S. and Hartmann, U.: Parking monitor system based on magnetic field sensors, Proceedings of the IEEE ITSC 2006, Toronto, Canada
- Gao, H., Heuer, Th., Wolff, J. und Hartmann, U. : Verkehrsdatenerfassung mittels magnetischer Sensoren, Proc. 9. MR-Symposium, Wetzlar, Germany, 2007
- Gao, H., Heuer, Th., Wolff, J. und Hartmann, U.: Magnetosensorische Erfassung von Verkehrsströmen, S. Kolling (Ed.), Beiträge zur Experimentalphysik, Didaktik und computergestützten Physik, Logos Verlag, Berlin, 2007
- Mannschatz A., „Wunderbare Schwerkraft - Telematik: Saarbrücker Physiker forschen an Sensoren, die durch Messen des Erdmagnetfeldes Stau vermeiden sollen.“ trans aktuell, Die Zeitung für Transport, Verkehr und Management/ETM EuroTransportMedia Verlags- und Veranstaltungen GmbH, Nr.3, 19.Januar 2007
- Menn A., „Wenn das Erdfeld vorm Stau warnt - Sensortechnik steuert den Verkehrsfluss und unterstützt Autofahrer“ Handelsblatt, Nr. 83, 30. April 2007
- Schmitt A. und Huonker B., „Autofahrer-Träume – Saarländische Wissenschaftler wollen das Verkehrschaos bekämpfen – Erst Erfolge“ Welt-Kompakt/Axel Springer AG, 09/2006
- „Traffic Sensor weiter auf dem Vormarsch“, Magazin Campus, 4/2006
- „Forschungsarbeiten zur Erfassung und Steuerung von Verkehrsflüssen“, innovation Newsletter der Universität Saarbrücken 2/2006
- „Systeme zur Steuerung von Verkehrsflüssen“, ZPT 10/2006
- „Uni-Physiker mit 120 000 Euro gefördert“, Saarbrücker Zeitung 12.09.2006
- „Saar-Uni entwickelt Verkehrsüberwachung für Frankfurter Flughafen“, Saarbrücker Zeitung 08.11.2006

- Bylda P. , „Sensoren für die Datenautobahn – Physiker der Saar-Universität entwickeln Technik für Verkehrsleitsystem der Zukunft – Erste Tests jetzt in Saarbrücken“ Saarbrücker Zeitung, 10/2005

Die Ergebnisse werden demnächst auf den folgenden Konferenzen dargestellt und in den angegebenen Tagungsbänden erscheinen:

- Mikrosystemtechnik-Kongress 2007 vom 15.-17. Oktober 2007 in Dresden <http://www.mikrosystemtechnik-kongress.de>
H. Gao, J. Wolff, U. Hartmann, M. Weinmann, S. Voit and Th. Heuer, Magnetic systems for airport and road traffic surveillance, Proc. MST-2007, Dresden, Germany, 2007.
- Integrated and Intelligent Transportation (ITS) and Logistics (ILS) Systems Conference ITS ILS'07, vom 11.-12. Oktober 2007 in Krakow, Polen <http://zstil.ia.agh.edu.pl/>
H. Gao, J. Wolff and U. Hartmann, ROAD TRAFFIC AND CAR PARK MONITORING BY MAGNETIC FIELD DETECTORS, Proc. ITS ILS'07, Krakow, Poland, 2007

5. Aktivitäten des Technologie-Transfers

Während der gesamten Laufzeit des Projekts wurden umfangreiche Aktivitäten des Technologie-Transfers durchgeführt.

Das in St. Ingbert ansässige mittelständische Unternehmen Votronic GmbH war als Unterauftragsnehmer in diesem Projekt für die Entwicklung und Produktion des magnetischen Detektors zuständig. Die Votronic ist jetzt in der Lage, Detektoren für die Anwendungsbereiche Einzelparkplatzüberwachung und Erfassung von fließendem Verkehr bereitzustellen. Die Ergebnisse der durchgeführten Feldtests sind dabei in die Entwicklung der aktuellen Serie eingeflossen. Die Votronic GmbH plant momentan eine Vermarktung auf dem Gebiet der Parkplatzüberwachung. Zudem besteht das Interesse, demnächst auch Lösungen für den fließenden Verkehr anzubieten.

Die Mechatronic AG, Darmstadt hat Interesse an den Ergebnissen der Erfassung von ruhendem und fließendem Verkehr bekundet. Im Mai 2007 wurde dazu ein ausführliches Treffen von Mechatronic, Votronic und der Universität des Saarlandes durchgeführt. Im Ergebnis hat die Mechatronic AG Interesse an einer Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erfassung von fließendem Verkehr bekundet. Demnächst werden dazu Gespräche stattfinden.

Die DB Netz AG, Frankfurt/Main hat Probleme an spezifischen Bahnübergängen geschildert. Zusammen mit der Votronic GmbH und der Scheidt & Bachmann GmbH wurde eine Kooperation auf diesem Gebiet besprochen. Die Scheidt & Bachmann GmbH, Mönchengladbach, ist Anbieter von Bahnüberganganlagen und Parkhaussystemen. Eine Antragsskizze für ein BMBF-Projekt, die unter anderem die Bearbeitung dieses Problems an Bahnübergängen beinhaltet, wurde eingereicht. Auch für den Fall, dass dieses Projekt nicht bewilligt werden sollte, werden Diskussionen zur Lösung des Problems stattfinden.

Deutsche Hersteller magnetoresistiver Sensoren wurden kontaktiert und über die Anwendungen und die dort geforderten Parameter informiert. Auch in Zu-

kunft wird der Kontakt zu den Herstellern mit dem Ziel von Kooperationen gesucht.

Das Unternehmen Newsteo aus Süd-Frankreich arbeitet für den französischen Markt an einem Projekt zur Erfassung von fließendem Verkehr. Newsteo beschäftigt sich hauptsächlich mit drahtloser Übertragung und ist zukünftig an einer Zusammenarbeit interessiert.

Mit der QPark GmbH Saarbrücken wurde während der Projektlaufzeit sehr gut zusammengearbeitet. Die QPark ist weiterhin an Kooperationen mit der Universität des Saarlandes und der Votronic GmbH interessiert. Dabei ist insbesondere die Sichtweise eines potentiellen Kunden im Bereich der Parkplatzüberwachung für alle Beteiligten hilfreich.

Im Rahmen einer Recherche des ADAC wurden Informationen zu diesem Projekt gegeben. Insbesondere war der ADAC an geeigneten Detektionsverfahren zur Erfassung von parkenden Lkw interessiert.

6. Anhang

6.1 Veröffentlichungen in der Presse

Traffic Sensor weiter auf dem Vormarsch

Wer in der Saarbrücker Innenstadt im Parkhaus Lambertshof parkt, kommt in den Genuss anwendungsorientierter Forschung. Denn hier ist der Traffic Sensor im Einsatz, der am Lehrstuhl für Experimentalphysik von Prof. Uwe Hartmann erdacht und entwickelt wurde. Der Magnetosensor registriert alles Metallische, das an ihm vorüberzieht – auf den ersten Blick vielleicht noch unspektakulär, wäre da nicht die Idee im Hintergrund und die technisch versierte Umsetzung: Denn der vielseitige Sensor, der magnetische Felder misst, ist in der Lage, die unterschiedlichsten Probleme zu lösen, wie hier das des Parkplatzsuchenden: Wo finde ich einen Platz, ohne endlos herumzukurven? Zusammen mit der St. Ingberter Firma Votronic entwickelt Prof. Hartmann maßgeschneiderte Verkehrslösungen. Das Demonstrationssystem, das Hartmann in Kooperation mit dem Parkhausbetreiber und der Firma Siebert Industrieelektronik im Lambertshof installiert hat, erfasst die ein- und ausfahrenden Fahrzeuge, zeigt die Zahl der freien Plätze – und eben auch deren genauen



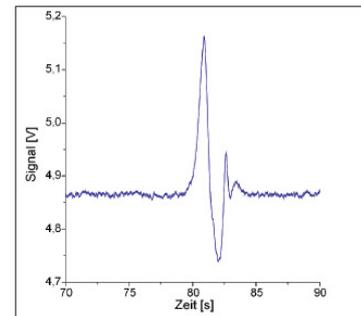
Professor Uwe Hartmann
Foto: Lehrstuhl

Standort an. Der lebenserleichternde Einsatz im Parkhaus ist nur ein Beispiel für die Möglichkeiten des Sensors. Denn der kostengünstige und zuverlässige Magnetosensor erfasst nicht nur Kraftfahrzeuge, sondern auch Zug und Flugzeug. Seit 1999 hat das saarländische Wissenschaftsministerium seine Entwicklung mit 160 000 Euro gefördert. Für die als nächstes geplante Erfassung des fließenden Verkehrs im Innenstadtbereich und auf der Autobahn investiert Minister Schreier nun weitere 120 000 Euro aus dem Landesforschungsförderprogramm.

Sensor für sichere Flughäfen

Ein Meilenstein des Traffic Sensor-Einsatzes auf Flughäfen wurde dieser Tage gesetzt: Anfang November wurde auf dem Frankfurter Flughafen ein Sensor-System in Betrieb genommen, wie es bereits auch im griechischen Thessaloniki eingerichtet wurde. Im Zentrum des internationalen, von der EU mit mehreren Millionen Euro geförderten Projektes ISMAEL, ein hundertprozentiger Sohn der Saarbrücker Sensor-Forschung, steht die Flugzeuergreifung für mehr Sicherheit auf Flughäfen. An den Rollbahnen angebracht, verhelfen die Sensoren zu einem neuen Boden-Leit- und -überwachungssystem mit Rollfeld-Management. Beteiligt am Projekt ISMAEL, das Prof. Hartmann koordiniert, sind die Flughafenbetreiber und -ausstatter, Experten für integrierte Verkehrssysteme, Elektronikfirmen und Grundlagenentwickler. *CE*

Forschungsarbeiten zur Erfassung und Steuerung von Verkehrsflüssen



Erfassung des "magnetischen Fingerabdrucks" von Flugzeugen an einem Taxiway des Frankfurter Flughafens. Die effiziente Nutzung und dynamische Allokation von Parkpositionen ist sowohl im Bereich des Straßenverkehrs als auch auf dem Vorfeld von Flughäfen von großer Bedeutung und bietet enormes Potential zur Kosten- und Zeitersparnis.

Bei der Entwicklung von Sensoren, die in der Lage sind, kleinste Magnetfelder zu erfassen, wurden in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. Zwar ist man bereits seit langem in der Lage, Magnetfelder zu detektieren, die nur ein Milliardstel des Erdmagnetfeldes betragen, allerdings benötigt man dazu Sensoren, die bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (- 273° C) betrieben werden müssen. Bedingt durch Fortschritte insbesondere in der Informationstechnologie stehen heute Sensoren zur Verfügung, die eine Empfindlichkeit von etwa einem Zehntausendstel des Erdmagnetfeldes haben, unter Umgebungsbedingungen betrieben und kostengünstig in großer Anzahl produziert werden.

Systeme basierend auf diesen Sensoren sind geeignet, Straßen- und Schienenfahrzeuge sowie Flugzeuge über eine Entfernung von einigen Metern zu detektieren und teilweise sogar zu identifizieren. Die neuartigen Sensorsysteme können zur Optimierung von Verkehrsflüssen im Straßenverkehr oder auf dem Vorfeld von Flughäfen eingesetzt werden.

Einen Forschungsschwerpunkt stellt diese Fragestellung im Bereich Experimentalphysik von Professor Dr. Uwe Hartmann dar. In der ersten

Phase seiner Forschungsarbeiten entwickelte er mit seiner Arbeitsgruppe den Traffic-Sensor, der auf der Messung magnetischer Felder basiert. Dieser mobile und kostengünstige Magnetosensor macht es möglich, alles Metallische zu erfassen - vom PKW, LKW und Motorrad bis hin zum Zug oder Flugzeug. In der Saarbrücker Innenstadt wurde in Kooperation mit dem Parkhausbetreiber Q-Park und der Fa. Siebert Industrieelektronik ein komplettes Demonstrationssystem im Parkhaus „Lampertshof“ installiert. Das System erfasst alle einfahrenden Fahrzeuge, zeigt die genaue Zahl der freien Parkplätze und deren genauen Standort an. Diese erste Phase der Forschungsarbeiten wurde mit 160.000 Euro aus dem Landesforschungsförderprogramm unterstützt.

Weiterführende Untersuchungen zur Erfassung des fließenden Verkehrs im Innenstadtbereich und auf der Autobahn werden nun mit 120.000 Euro vom Saarländischen Wissenschaftsministerium unterstützt. Zusammen mit dem St. Ingberter Unternehmen VOTRONIC, einer Entwicklungs- und Produktionsgesellschaft für elektronische Geräte, werden die am Lehrstuhl erarbeiteten Forschungsergebnisse in individuell zugeschnittene Verkehrslösungen umgesetzt.

Kontakt:
Prof. Dr. Uwe Hartmann
Telefon:
0681/ 302-3799 oder -3798
Email:
u.hartmann@mx.uni-saarland.de

Impressum:

Herausgeber:
Der Vizepräsident für Forschung und Technologietransfer
der Universität des Saarlandes
Redaktion und Gestaltung:
Kontaktstelle für Wissens- und Technologietransfer / KWT
Kontakt:
Beate Wehrle, Telefon: 0681/302-3886, Fax: 0681/302-4270,
E-Mail: kwt.wehrle@univw.uni-saarland.de
inno.vision erscheint mehrmals jährlich und wird wahlweise per Post
oder als File per Mail versandt. Der Newsletter kann kostenlos über
die KWT bezogen werden.

Wenn das Erdfeld vorm Stau warnt

Sensortechnik steuert den Verkehrsfluss und unterstützt Autofahrer – Neue Anwendungen sollen Flugfelder überwachen

ANDREAS MENN | KÖLN

Ampeln, die spitzkriegen, wenn jemand vor ihnen hält. Asphalt, der merkt, wie schnell ein Wagen fährt. Autobahnen, die zählen, was auf ihnen rollt. Im Kampf gegen Staus und Unfälle rüsten Straßenbauer mächtig auf: Sie setzen Metall-Fühler in den Straßenbelag, klemmen Laser-Taster an Brückengeländer und pfeifen Radar-Augen hinter die Leitplanken. „Die Messtechnik-Hersteller bringen stetig neue Anwendungen“, beobachtet Elmar Pfannerstill, Professor für Verkehrstechnik an der Fachhochschule Erfurt. „Von der Mikrowelle bis zum Ultraschall wird alles genutzt, was die Physik hergibt.“

In den Anfängen der Verkehrssensortechnik legte man hauptsächlich Induktionsschleifen unter die Fahrbahndecke. Die quer zur Straße eingelegten Metalldrähte können messen, ob ein Auto steht oder fährt, wie schnell es unterwegs ist und in welche Richtung. Parkleitsysteme, Verkehrszählungen, Schranken, Stauwarnschilder und Ampelanlagen bauen auf Induktionsschleifen. Wenn etwa eine Parkhausschranke hinter dem Auto wieder schließt, dann meist dank einer „Schließschleife“, die die Durchfahrt registriert.

Einer der größten Hersteller für Induktionsschleifendetektoren ist die Weilburger Feig Electronic GmbH. „Wir waren vor 25 Jahren die ersten in Deutschland, die von analoger Technik auf Mikroprozessoren umgestiegen sind“, sagt Feig-Vertriebsingenieur Hans-Joachim Burle. „Seitdem können wir Witterungseinflüsse zuverlässig aus den Signalen herausrechnen.“ Bis zu 40 000 Detektoren fertigt Feig pro Jahr. Billig-Konkurrenz aus dem Ausland macht das Geschäft immer schwieriger, aber der Markt bleibt stabil. Feig hat seine Detektoren bis nach

Derweil entstehen neue Märkte für Sensortechnik. In der Maut: Der B



Foto: Getty Images

Leuchtschleifen von Autos auf der Berliner Stadtautobahn: Induktionsschleifen, die den Verkehr abtasten, gehören auf deutschen Schnellstraßen zur Grundausstattung. Bald könnten Magnetfeldsensoren ihnen Konkurrenz machen.

beitet mit Sensoren, die an fest installierten Mautbrücken jeden heranrollenden LKW erkennen, Kennzeichen, Achsenzahl und Gewicht ermitteln und alle Daten sekundenschnell an die Zentrale senden. Die Technik lieferte das

ein Laser-3D-Scanner, der ursprünglich Pakete vermessen sollte, auf LKW umgeschult, die Adressfeld-Schrifterkennung lernte, Kennzeichen zu entziffern. Hinzu kamen ein Infrarot-Blitz, eine Kamera und viele Zeilen Programmcode – fertig war

Sonderanwendung

zahlen entwick

und Mittel

Vitronic hat schon in mehreren europä

Sensoren dann manche

Induktionsschleife ersetzen.

So entstand auch ein Geschwindigkeitsmesser auf Laser-Basis, der selbst an unübersichtlichen Straßenabschnitten gute Ergebnisse liefert.

„Der deutsche Markt ist überschaubar“, sagt Telematik-Experte Elmar Pfannerstill, „doch gerade die Maut-Systeme sind zunehmend für Export-Märkte interessant.“ Ob in den USA, in Osteuropa oder Fernost – allerorts spielt elektronische Verkehrstechnik eine wachsende Rolle. Vitronic hat schon in mehreren europäischen Ländern ein System zur Fahrzeugerkennung installiert, das

Mautzöllnern die Arbeit erleichtert. 2006 gründete man eine Niederlassung in Shanghai, das in der Verkehrsflut zu ersaufen droht. Und seit die EU bemüht ist, die Zahl der Verkehrstoten bis 2020 zu halbieren, zieht die Nachfrage nach Geschwindigkeitsmessern und Stauwarnsystemen an.

Vom Brüsseler Erheize könnte auch noch eine ganz andere Technik profitieren, die bislang ein Nischen-dasein führt. Auf dem Flughafen von Saarbrücken ist sie heute schon zu sehen. Zum Teil zumindest, denn ihr wichtigstes Element ist unsichtbar. Es ist das Erdmagnetfeld, das sich eine neue Generation von Sensoren zunutze macht. Sie messen Verzerrungen, die große metallische Gegenstände in die magnetischen Feldlinien reißen. Damit lassen sich Flugzeuge auf dem Rollfeld orten und sogar nach Typ unterscheiden, wie das EU-Projekt ISMAIL beweist, das gerade zum Abschluss gekommen ist.

EU-Projekt soll helfen, Unfälle auf Flughäfen zu vermeiden

„Bisher werden Rollfelder nur per Radar überwacht“, sagt Uwe Hartmann vom Institut für Experimentalphysik an der Universität des Saarlandes, der an dem Projekt beteiligt war. „Das hat Nachteile: Denn ein Radar kann nicht hinter Gebäude schauen, belastet in hoher Dosis die Gesundheit und ist obendrein teuer.“ In den vergangenen Jahren sei es immer wieder zu Unfällen gekommen, weil Flugzeuge zusammenstießen. Magnetfeldsensoren sollen nun für Überblick sorgen – und das zu einem Fünftel der Kosten.

Schon bald soll die Technik weltweit verfügbar sein. „Wir können das Projekt in den nächsten sechs Monaten in die Industrie führen“, sagt Hartmann. Auch weitere Anwendungen seien möglich, zum Beispiel eine Anzeige der freien Plätze in Parkhäusern oder automatische Stauumleitungen auf Autobahnen. Dort könnten die neuen Sensoren dann manche Induktionsschleife ersetzen.

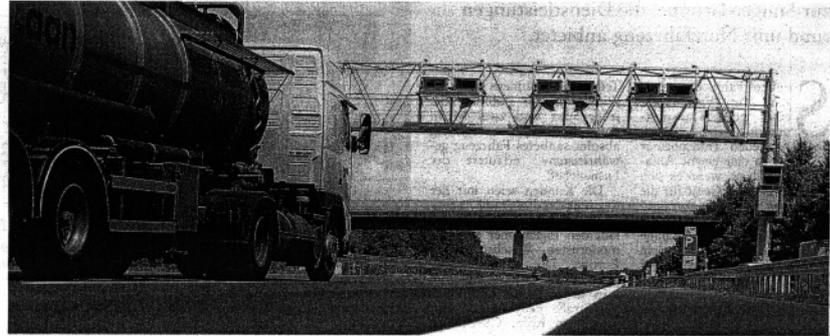
Wunderbare Schwerkraft

Was hat Experimentalphysik mit Verkehr zu tun? Außer der Beschäftigung mit einer sich bewegenden Masse auf den ersten Blick recht wenig. Aber: Den Verkehr überwachen, Staubildungen erkennen und Wege umleiten, ohne Eingriff in Fahrzeuge, ohne Antennen, Satelliten oder Kameras – das wollen Wissenschaftler von der Universität Saarbrücken erreichen. Ihre Forschung basiert auf den physikalischen Gesetzen von Magnetfeldern.

»Jedes metallische oder elektrisch betriebene Objekt, fahrend oder stehend, verändert das Erdmagnetfeld und wir messen das«, erklärt Dr. Uwe Hartmann, Professor an der Universität des Saarlandes, das Prinzip. Auch Fahrzeuge besitzen demnach einen »magnetischen Fingerabdruck«, der ebenso charakteristisch wie eindeutig ist. Die Forschungsleistung von Hartmann und seinem Team besteht in der Erfindung entsprechender Technik, um diese – im Vergleich zum gesamten Erdmagnetfeld – extrem schwachen »Fingerabdrücke« messen zu können. Die von Hartmann entwickelten Sensormodule können im so genannten Nanotesla-Bereich messen. Tesla ist die Einheit für die Flussdichte magnetischer Felder, benannt nach dem russischen Forscher Nikolai Tesla. Ein Nanotesla entspricht 0,000000001 Tesla. Das Erdmagnetfeld hat eine Stärke von 50.000 Nanotesla.

»Mit unseren Entwicklungen erhalten wir die Daten über Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Klassifikation von Fahrzeugen«, so Jörg Wolff, der sich im Team speziell um das Projekt »fließender Verkehr« kümmert. Derzeit

Telematik: Saarbrücker Physiker forschen an Sensoren, die durch Messen des Erdmagnetfeldes Staus vermeiden sollen. Doch auch in anderen Bereichen des Verkehrs könnten sie nützlich sein – zum Beispiel bei der Mauterhebung und Parkplatzsuche.



Zukunft ohne Mautbrücke? Sogar für eine lückenlose Mauterfassung könnten Magnetsensoren in Zukunft wichtig sein.

verfeinern die Forscher noch ihr System zur eindeutigen Definition verschiedener Fahrzeugtypen. Denn sobald sie zweifellos erkennen können, ob es sich um einen Bus, einen Lkw oder einen Pkw handelt, wäre das System auch für eine lückenlose Mautermittlung einsetzbar. Zumal sich Länge, Achsenzahl und Größe als Parameter messen lassen. Ein erfasstes Fahrzeug müsste dann anschließend – wie heute auch – über eine Mautbrücke fotografisch erfasst werden.

Als Verkehrsleitsystem funktioniert die Technik bereits heute fehlerfrei, wie Versuche auf der Autobahn zwischen Mannheim und Saarbrücken (BAB 6) zeigen. Ändert sich das Magnetfeld, weil ein Fahr-

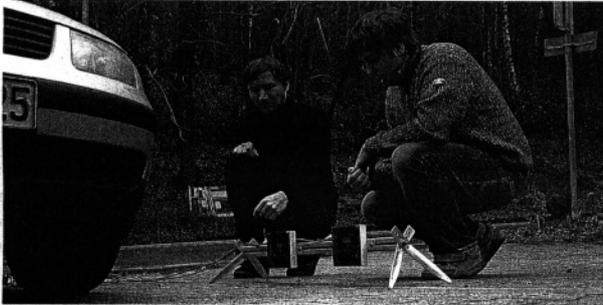
zeug vorbeifährt, so ändert sich auch der elektrische Widerstand im Sensor minimal. Häuft sich die Anzahl der Fahrzeuge oder verlangsamt sich deren Geschwindigkeit, so ist das ein Indiz für die sich verändernde Verkehrssituation. Einem Leitreechner zur Verfügung gestellt, können solche Daten der frühzeitigen Steuererkennung dienen. Umleitungen lassen sich früher anzeigen und gegebenenfalls elektronisch ausschildern. Das funktioniert, so die Erfinder, nicht nur auf Autobahnen, sondern auch in Innenstädten.

Der in Saarbrücken entwickelte so genannte Traffic Sensor lässt sich entweder im Straßenbelag oder unter der Fahrbahn in Röhren, aber

auch seitlich an Leitplanken oder Begrenzungspfosten anbringen. Ebenso ist die Installation an Brücken oder Verkehrsschildern möglich. Die Sensoren sind witterungsunabhängig (im Gegensatz zu Ultraschall- oder Infrarotgeräten) und wartungsfrei. Die Technik sei zudem kostengünstiger als etwa Radar und einfacher zu installieren als Induktionsschleifen, sagt Hartmann. Eine Sperrung der Straße sei zum Einbau nicht erforderlich. Auch entstünden im Vergleich zu kameragestützten Systemen keine datenschutzrechtlichen Bedenken. Die Informationen über Verkehrsbewegungen seien schließlich anonymisiert. Kein Wunder also, dass Kommunen und private Un-

ternehmen verstärkt bei Hartmann anknüpfen: »So ganz falsch können wir mit den vorausgesagten Nutzen unserer Forschung offenbar nicht liegen«, konstatiert der Experimentalphysiker die rege Nachfrage. So etwas findet auch politischen Anklang. Das Saarländische Wissenschaftsministerium unterstützt die Forschungsarbeiten mit bislang 280.000 Euro. Das Geld sei gut angelegt, versichert Wissenschaftsminister Jürgen Schreier: »Dieses Projekt ist angesichts des großen Interesses der Industrie ein gutes Beispiel für den gelungenen Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft«, so der Minister.

Alex Mannschatz



Projektleiter Jörg Wolff (li.) und ein Kollege zeigen es: Die Messgeräte sind leicht zu installieren.

MULTITALENT

Die von den Saarbrücker Forschern entwickelten Messensoren können noch mehr. Zum Beispiel freie Parkplätze erkennen. Denkbar wäre ein Leitsystem für Lkw-Fahrer auf der Suche nach Rastplätzen. Für Pkw-Fahrer läuft ein solches System bereits probenhalber in einem Saarbrücker Parkhaus. Dort erkennen die Sensoren, ob ein Platz frei ist und leiten den Fahrer bei der Einfahrt bereits dort hin. Nach gleichem Prinzip ließe sich nach Aussagen der Saarbrücker Forscher auch eine Lagerplatzverwaltung in einem Umschlagszentrum steuern, sofern die ein- oder auszulagernden Packstücke metallische Elemente aufweisen. Ebenso könne die Technik die Ladetorbelegung in großen Logistikzentren steuern. Bereits bei der Einfahrt könnte das System dem Lkw-Fahrer den Entladeplatz vollautomatisch zuweisen, nachdem die Magnetsensoren den freigewordenen Platz an der Rampe erkannt haben. Weitere Anwendungsfelder: Die Steuerung von Ampelanlagen je nach Verkehrsaufkommen oder die vollautomatische Betätigung von Bahnübergängen.

Autofahrer-Träume

Saarländische Wissenschaftler wollen das Verkehrschaos bekämpfen – Erste Erfolge

VON ANNEGRET SCHMITT
UND BIRGIT HUONKER

Saarbrücken – Wer kennt das nicht – die verstopften Straßen, kilometerlange Staus, ewiger Parkplatzmangel und rote Ampeln. Das alltägliche Verkehrschaos also. Ob sich im Berufsverkehr die Autokolonnen um den Ludwigskreisel schlängeln oder ob während der Ladenöffnungszeiten die Parkplatzsuche an den Nerven zerrt. Zu gewissen Stoßzeiten wird der Straßenverkehr zur Geduldprobe.

Wissenschaftler der Universität des Saarlandes haben vor einem Jahr ein Pilotprojekt gestartet, um zu erforschen, wie man Verkehrsteilnehmern diesen Stress ersparen kann. Nun liegen die ersten Zwischenergebnisse vor, die große Hoffnungen wecken. In der zweiten Ebene im Saarbrücker Parkhaus Lampertshof beispielsweise wurden Sensoren angebracht, die freie Parkplätze an ein Leitsystem weitermelden. Autofahrer sehen auf einem Blick, wo sie hinfahren müssen. „Die absurde Suche der acht freien von insgesamt 400 Parkplätzen hat mit unserem intelligenten Leitsystem ein Ende gefunden“, erklärt Professor Uwe Hartmann, Lehrstuhlinhaber für Experimentalphysik an der Saarbrücker Uni. Auf einem Display am Eingang des Parkhauses wird ein Lageplan angezeigt. Ein Punkt bezeichnet die eigene Position, belegte Parkplätze sind rot, freie grün markiert. Pfeile weisen den schnellsten Weg zu dem am nächsten gelegenen Park-

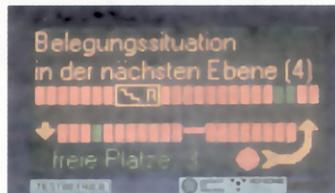


Stoßstange an Stoßstange am Ludwigskreisel - dieses Bild könnte bald Seitenheitswert haben

platz aus. Mittlerweile haben Parkhaus-Betreiber schon Interesse an diesem Verfahren angemeldet.

Aber auch am Verkehrsknotenpunkt Nummer eins, dem Ludwigskreisel, könnten die daumennagelgroßen Sensoren bald Stau-Abhilfe schaffen. Sie erkennen, auf welcher Spur die Fahrzeuge stehen und in welche Richtung sie weiterfahren wollen. „Dementsprechend würden intelligente Ampeln anders geschaltet werden“, erklärt Hartmann. Denn diese passten sich dem individuellen Verkehrsaufkommen, beispielsweise in der Rush-hour, an. Die Sensoren

nämlich können – ähnlich wie die wartungsintensiven und teuren Kontaktschwellen vor Ampeln – im Boden versteckt werden. „Das System errechnet dann, in welchen Abständen die Ampel am günstigsten geschaltet werden muss, damit kein Stau entsteht“, sagt der 49jährige Wissenschaftler gegenüber WELT KOMPAKT.



Parkhaus: Rote Plätze besetzt, grüne frei

Logisch, dass das nächste Ziel schon angepeilt wird.

In der kommenden Woche werden erstmals auf einer Autobahn, nämlich auf der A 6, Abfahrt St. Ingbert Mitte, die kleinen Sensoren installiert. Bahnt sich dort ein Stau an, berechnet das Verkehrsleitsystem eine Umleitung. Das Saarland fungiert somit als Testfeld für die gesamtdeutsche Verkehrsproblematik. Und sicherlich werden Saarlands Autofahrer dann auch die ersten Nutznießer dieser neuen Technik sein. Stressige Autofahrten mit Staus und roten Ampeln dürften dann endgültig der Vergangenheit angehören.

6.2 Quellcode des Programms zur Datenauswertung

Beschreibung der Funktionalität siehe: 3.5.3 Auswertung der Messdateien

```
//  
// Highway Data Cut Program  
// (c) Saarland University, 2007  
// Authors Stefan Bommer, Joerg Wolff  
//  
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <math.h>  
#include <string.h>  
  
#define NMBOFFPOINTS 2 // 60 multiples of 2  
#define THRESHOLD 1.1 // 0.8  
  
FILE *inFile=0;  
FILE *outFile=0;  
  
unsigned int correlationFileCounter = 0;  
  
// start time hours, minutes, seconds.milliseconds  
unsigned int st_h, st_m;  
float st_s ;  
  
// global variables  
static long gNmbElements = 0;  
static char gFilename[14] = "file00000.dat"; // output filename basis  
typedef struct _data  
{  
    float time;  
    // detector 1  
    float x1;  
    float y1;  
    float z1;  
    float vm1; // vector magnitude  
    // detector 2  
    float x2;  
    float y2;  
    float z2;  
    float vm2; // vector magnitude  
}  
} data;  
  
int writeToFile(data **dp, long start, long end);  
  
static data **dp = NULL; // data pointer  
static int gWFlag1 = 0; // global flag  
static int gWFlag2 = 0; // global flag  
static int gWFlag3 = 0; // global flag  
static long gStart = 0; // global start number  
  
// computes the cross-correlation  
void computeCorr(data **dp, long start, long end)  
{  
    long len = end-start;  
    data *dp_ = (data*)malloc( len * sizeof(data) );  
    if (dp==NULL || start>=end )  
    {  
        printf("in computeCorr: Malloc error \n");  
        return;  
    }  
  
    float sum_g_of_t = 0;  
    float sum_h_of_t = 0;  
    long i;  
  
    // copies data from dp to dp_  
    for (i =start; i< end; i++)  
    {  
        dp_[i-start] = *dp[i];  
        sum_g_of_t += dp_[i-start].vm1;  
        sum_h_of_t += dp_[i-start].vm2;  
    }  
  
    //average ofm vm1 and vm2  
    sum_g_of_t /= (float)(len);  
    sum_h_of_t /= (float)(len);  
  
    // normalising vm1 and vm2  
    for (i=0; i<len; i++)  
    {  
        dp_[i].vm1 /= sum_g_of_t;  
        dp_[i].vm2 /= sum_h_of_t;  
    }  
  
    float *corr = (float*)malloc( (len)*sizeof(float));  
  
    if (corr==NULL )  
    {  
        printf("in computeCorr: Malloc error 2 \n");  
        return;  
    }  
  
    long j;  
    float oneOvermIdx;
```

```
float dummy = 0;

long maxIndex = 0;
float maxCorr = -1.0f;

// cross-correlation algorithm starts here

for (i=0; i<len; i++)
{
    for (j=0; j<len-i; j++)
    {
        corr[i] += (dp_[j].vm1 * dp_[j+i].vm2) ;
    }
    if (corr[i]>maxCorr)
    {
        maxCorr = corr[i];
        maxIndex = i;
    }
}

if (maxIndex == 0)
{
    oneOvermIdx = 0;
} else oneOvermIdx = (3600/maxIndex);

// creates corr-files
correlationFileCounter++;
char corrFileName[30];
sprintf( corrFileName, "corr%06i_speed%06i.txt", correlationFileCounter, (int)oneOvermIdx);

FILE *corrFile = NULL;
if ( (corrFile = fopen( corrFileName, "w" ))==NULL )
{
    printf("Error: korrelationsdatei kann nicht erstellt werden \n");
    return;
}

// writes corr-files
for (i=0; i<len; i++)
    fprintf(corrFile, "idx: %04i \t corr: %3.5f \n", (int)i,corr[i]);

fclose(corrFile);

free(dp_);
free(corr);
return;
}

void writeTripel( float s1, float s2, float s3)
{
    fprintf(outFile, "%f \t %f \t %f \n", s1,s2,s3);
}

int getSpeed()
{
    float max1 = 0;
    float max2 = 0;
    float maxtime1 = 0 ;
    float maxtime2 = 0 ;
    float time1, time2, time3, time4;
    float speed, speed2, speed3, speed4;
    int i = 0;
    // FILE *frp = NULL;
    long n = 0;
    double d[7]={0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
    data sum,
    *sp = &sum;

    // init
    sp->time = 0;
    sp->x1 = 0;
    sp->y1 = 0;
    sp->z1 = 0;
    sp->vm1 = 0;
    sp->x2 = 0;
    sp->y2 = 0;
    sp->z2 = 0;
    sp->vm2 = 0;

    printf("\n Start of Program");

    // open read file
    // frp = fopen("data.lvm","r"); // unix-notation "/" instead of "\"
    // if (frp == NULL) printf("\n File Read Error");

    dp = (data**)malloc(sizeof(data*));
    if (dp == NULL) printf("\n Memory Error 1");

    // read file into memory
```

```

while (fscanf(inFile, "%lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf",
               &d[0], &d[1], &d[0], &d[2], &d[0], &d[3],
               &d[0], &d[4], &d[0], &d[5], &d[0], &d[6])!=EOF)
{
    // change memory size
    dp = (data**)realloc(dp, (n+1)*sizeof(data*));
    if (dp == NULL) printf("\n Memory Error 2");
    // reserve memory
    dp[n] = (data*)malloc(sizeof(data));
    if (dp[n] == NULL) printf("\n Memory Error 3");

    dp[n]->time = (float) (d[0]);
    dp[n]->x1 = (float) (d[1]);
    dp[n]->y1 = (float) (d[2]);
    dp[n]->z1 = (float) (d[3]);
    dp[n]->x2 = (float) (d[4]);
    dp[n]->y2 = (float) (d[5]);
    dp[n]->z2 = (float) (d[6]);

    // floating average with specified number of points
    if (gNmbElements == NMBOFPOINTS)
    {
        // add new last element
        sp->x1 += dp[n]->x1;
        sp->y1 += dp[n]->y1;
        sp->z1 += dp[n]->z1;
        sp->x2 += dp[n]->x2;
        sp->y2 += dp[n]->y2;
        sp->z2 += dp[n]->z2;

        // subtract first element
        sp->x1 -= dp[n-NMBOFPOINTS]->x1;
        sp->y1 -= dp[n-NMBOFPOINTS]->y1;
        sp->z1 -= dp[n-NMBOFPOINTS]->z1;
        sp->x2 -= dp[n-NMBOFPOINTS]->x2;
        sp->y2 -= dp[n-NMBOFPOINTS]->y2;
        sp->z2 -= dp[n-NMBOFPOINTS]->z2;
    }
    else
    {
        // add new element
        sp->x1 += dp[n]->x1;
        sp->y1 += dp[n]->y1;
        sp->z1 += dp[n]->z1;
        sp->x2 += dp[n]->x2;
        sp->y2 += dp[n]->y2;
        sp->z2 += dp[n]->z2;
        gNmbElements++;
    }
    // set new average value for middle element
    dp[n-gNmbElements/2]->x1 = (sp->x1)/gNmbElements;
    dp[n-gNmbElements/2]->y1 = (sp->y1)/gNmbElements;
    dp[n-gNmbElements/2]->z1 = (sp->z1)/gNmbElements;
    dp[n-gNmbElements/2]->x2 = (sp->x2)/gNmbElements;
    dp[n-gNmbElements/2]->y2 = (sp->y2)/gNmbElements;
    dp[n-gNmbElements/2]->z2 = (sp->z2)/gNmbElements;

    // calculate rms-value from average values
    dp[n-gNmbElements/2]->vm1 = sqrt((dp[n-gNmbElements/2]->x1) * (dp[n-gNmbElements/2]->x1) +
                                     (dp[n-gNmbElements/2]->y1) * (dp[n-gNmbElements/2]->y1) +
                                     (dp[n-gNmbElements/2]->z1) * (dp[n-gNmbElements/2]->z1));

    dp[n-gNmbElements/2]->vm2 = sqrt((dp[n-gNmbElements/2]->x2) * (dp[n-gNmbElements/2]->x2) +
                                     (dp[n-gNmbElements/2]->y2) * (dp[n-gNmbElements/2]->y2) +
                                     (dp[n-gNmbElements/2]->z2) * (dp[n-gNmbElements/2]->z2));

    if (( (dp[n-gNmbElements/2]->vm1 >= THRESHOLD) &&
         (dp[n-gNmbElements/2]->vm2 < THRESHOLD) ) && (gWFlag1 == 0))
    {
        // store start number
        gStart = n-gNmbElements/2;
        gWFlag1 = 1;
        if (dp[n-gNmbElements/2]->vm1 >= THRESHOLD)
        {
            }
        else
        {
            }
        // get time1 (time1:= signal of sensor1 one reaches treshhold)
        time1 = dp[n-gNmbElements/2]->time ;
    }

    if ((dp[n-gNmbElements/2]->vm2 >= THRESHOLD) && (gWFlag1 ==1))
    {
        if (gWFlag2 == 0)
        {
            //get time2 (time2:= signal of sensor2 one reaches treshhold)
            time2 = dp[n-gNmbElements/2]->time ;

            gWFlag2 = 1;
        }
        // get maxtime 1 and 2 (maxtime1,2:= time of the local signal maximum)
        if ((gWFlag1==1) && (gWFlag2==1))
        {
            if (dp[n-gNmbElements/2]->vm1 >= max1)
            {
                max1 = dp[n-gNmbElements/2]->vm1;
                maxtime1 = dp[n-gNmbElements/2]->time;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    if (dp[n-gNmbElements/2]->vm2 >= max2)
    {
        max2 = dp[n-gNmbElements/2]->vm2;
        maxtime2 = dp[n-gNmbElements/2]->time;
    }
}

//get time3 (time3:= signal of sensor1 or 2 goes below treshold)
if ( ((dp[n-gNmbElements/2]->vm1 < THRESHOLD ||
dp[n-gNmbElements/2]->vm2 < THRESHOLD)) && (gWFlag1 ==1) && (gWFlag2 ==1) )
{
    if (gWFlag3 == 0)
    {
        time3 = dp[n-gNmbElements/2]->time ;
        gWFlag3 = 1 ;
    }
}

if ((dp[n-gNmbElements/2]->vm1 < THRESHOLD) &&
(dp[n-gNmbElements/2]->vm2 < THRESHOLD) && (gWFlag1 == 1))
{
    computeCorr(dp, gStart, (n-gNmbElements/2) );
    writeToFile(dp, gStart, (n-gNmbElements/2) );
    gWFlag1 = 0;

    if (gWFlag2 == 0 )
    {
        writeTripel(0.0, 0.0, 0.0);
    }
    else
    {
        //get time4 (time4:= signal of the other sensor goes below treshold)
        time4 = dp[n-gNmbElements/2]->time ;
        gWFlag2 = 0 ;
        gWFlag3 = 0 ;

        //calculate speed 1
        speed= ((1/(time2-time1))*3.6);

        //calculate speed2
        speed2 = ((1/(time4-time3))*3.6);

        //calculate speed 3 (speed of maximum peak)
        speed3 = ((1/(maxtime2-maxtime1))*3.6);

        writeTripel(speed, speed2, speed3);

        time1 = 0;
        time2 = 0;
        time3 = 0;
        time4 = 0;
        max1 = 0;
        max2 = 0;
        maxtime1 = 0 ;
        maxtime2 = 0 ;
    }
}

n++;
} // end while

// save complete array as last file
writeToFile(dp, 0, (n-1));

// free memory
for (i=0; i<n; i++)
{
    free(dp[i]);
    dp[i] = NULL;
}

// close files
// fclose(frp);
printf("\nOK\n");
//system("PAUSE");
return 0;
}

// write content of array to file
int writeToFile(data **dp, long start, long end)
{
    FILE *fwp = NULL;
    long i;

```

```

// set number in filename
if (gFilename[8]=='9')
{
    if (gFilename[7]=='9')
    {
        gFilename[6]++;
        gFilename[7] = '0';
        gFilename[8] = '0';
    }
    else
    {
        gFilename[7]++;
        gFilename[8] = '0';
    }
}
else gFilename[8]++;

// create file
fwp = fopen(gFilename,"w");
if (fwp == NULL) printf("\nFile Write Error");

float s_ = dp[start]->time + st_s;
float mod_s = (float)((unsigned int)(100000.0f*s_) % 6000000)/100000.0f;

unsigned int uebertrag_m = (unsigned int)(s_/60);
unsigned int m_ = (st_m + uebertrag_m)%60 ;
unsigned int m_2 = st_m + uebertrag_m ;

unsigned int uebertrag_h = m_2 / 60 ;
unsigned int h_ = (st_h + uebertrag_h)%24;

fprintf(fwp,"Start Time: %i:%i:%f \n", h_,m_,mod_s );

if (fprintf(fwp, " time x1 y1 z1 vm1 x2 y2 z2 vm2 ") < 0) printf("\nFile Write Error 2");
for (i=start; i<end; i++)
{
    if (fprintf(fwp, "\n %f %f %f %f %f %f %f %f", (dp[i]->time ),
        dp[i]->x1, dp[i]->y1, dp[i]->z1, dp[i]->vm1,
        dp[i]->x2, dp[i]->y2, dp[i]->z2, dp[i]->vm2) < 0) printf("\nFile Write Error 2");
}
fclose(fwp);

return 0;
}

unsigned int readLine(char *line)
{
    unsigned int i=0;
    while (1)
    {
        line[i] = (char)fgetc(inFile);
        if (line[i]=='\n' || feof(inFile)) break;
        i++;
        if (i>255) return 0;
    }
    i++;
    line[i]=0;
    return 1;
}

unsigned int compareLine(const char* a, const char* b, unsigned int counter )
{
    unsigned int i = 0;

    for (i=0; i<counter; i++)
        if (a[i]!=b[i] || a[i]==0 || b[i]==0) return 0;
    return 1;
}

void readFirstHeaderBlock()
{
    char line[256];
    while(1)
    {
        if (readLine(line)==0) return;
        if (compareLine("***End_of_Header***", line,9)==1) return;
    }
}

void scanStartTime(const char *line)
{
    unsigned int s, ms;

    float secs = 0.0f;

    char rest[256];
    if (compareLine("Time", line,3)==1)
    {
        sscanf(line, "Time %i:%i:%i,%i %s", &st_h, &st_m, &s, &ms, &rest);

        st_s = (float)s + ((float)ms/1000000.0f);
    }
}

void readSecondHeaderBlock()
{
    char line[256];
    while(1)
    {
        if (readLine(line)==0) return;
    }
}

```

```
        scanStartTime(line);
        if (compareLine("***End_of_Header***", line,9)==1) return;
    }
}

void readInFileHeader( )
{
    readFirstHeaderBlock();
    readSecondHeaderBlock();

    char line[256];
    readLine(line); // ueberspringen der spaltenbezeichner
}

unsigned int openInFile( const char *url )
{
    if ( ( inFile = fopen( url, "r" ) ) == NULL )
    {
        printf("unable to open file \n");
        return 0;
    }
    printf("Opening File: %s \n", url );
    readInFileHeader();
    return 1;
}

void closeInFile ( )
{
    fclose(inFile);
}

unsigned int openOutFile( const char *url)
{
    if ( ( outFile = fopen( url, "w" ) ) == NULL )
    {
        printf("file not found\n");
        return 0;
    }
    return 1;
}

void closeOutFile()
{
    fclose(outFile);
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    char* inFileName, *outFileName;
    if(argc!=3) {
        char in[256], out[256];

        printf("- Highway Data Cut - \n");
        printf("alterantive usage: hdc.exe infilename outfilename\n");
        printf("usage: hdc infile outfile\n");
        printf("Enter input file name: ");
        scanf("%s", in);
        printf("\n");
        printf("Enter output file name: ");
        scanf("%s", out);
        inFileName = in;
        outFileName = out;
    } else
    {
        inFileName = argv[1];
        outFileName = argv[2];
    }

    if (openInFile(inFileName)==0) return 1;
    openOutFile(outFileName);

    getSpeed();

    printf("Output written to: %s \n", outFileName );
    closeInFile();
    closeOutFile();
    return 0;
}
```