

## Vibroakustisches System zur automatischen Bestimmung der Achszahl von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen

Harald Rainer<sup>1</sup>, Maria Fellner<sup>1</sup>, Bernhard Rettenbacher<sup>1</sup>, Helmut Wenzel<sup>2</sup>, Georg Gutenbrunner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Email: maria.fellner@joanneum.at

<sup>2</sup> Vienna Consulting Engineers Holding GmbH

### Einleitung

Seit 1. Jänner 2004 wird in Österreich auf dem gesamten höherrangigen Straßennetz die so genannte LKW-Maut eingehoben. Das Mautgesetz sieht vor, dass alle Fahrzeuge mit einem höchsten zulässigen Gesamtgewicht ab 3,5 Tonnen der Mautentrichtung unterliegen. Das primäre Ziel bei der Einführung der LKW-Maut war, sowohl für den Nutzer als auch für den Betreiber ein transparentes und einfaches Mautsystem zu realisieren. Aus diesem Grund hatte man entschieden, dass in einer ersten Stufe lediglich die Anzahl der Achsen in die Berechnung des Tarifes eingeht. Für die Kontrollierbarkeit der geltenden Rechtslage ist es notwendig, die Klassifizierung von LKW nach der Anzahl der Achsen des Kraftfahrzeugs durchzuführen. Der Nutzen und die Notwendigkeit eines automatischen Achszählsystems liegen dabei auf der Hand. Lösungen mittels Induktionsschleifen haben den großen Nachteil, dass sie in die Fahrbahn eingebaut werden müssen und besonders wartungsintensiv sind. Deshalb werden derzeit Laserscanner oder andere optische Verfahren zur Bestimmung der Fahrzeugachsen eingesetzt.

In Kooperation mit der Vienna Consulting Engineers Holding GmbH wurde daher die Machbarkeit eines Systems zur Achszählung von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen erstmals über die Auswertung von Fahrbahnvibrationen untersucht. Diese Vibrationen werden als Informationsquelle angesehen, deren Charakteristik von der Achszahl und weiteren fahrzeugspezifischen Merkmalen wie etwa der Achslast geprägt wird.

### Durchführung der Messungen

Bei der Auswahl der Messorte und der zeitlichen Planung der Messungen wurde darauf geachtet, dass unterschiedliche Fahrbahnbeschaffenheiten, Witterungsbedingungen und Verkehrsbelastungen in die Messungen einfließen, um eine möglichst hohe Variabilität der gewonnenen Messdaten zu gewährleisten. So wurden zwei unterschiedliche Streckenabschnitte (Beton- bzw. Asphaltfahrbahn) der Autobahn A9 in der Nähe von Graz für die Durchführung der Messungen ausgewählt.

Für die Aufzeichnung der Fahrbahnvibrationen wurde ein Laservibrometer verwendet, mit dessen Hilfe Schwinggeschwindigkeiten von Oberflächen berührungslos gemessen werden können. Der wesentliche Vorteil dieses Sensors liegt darin, dass bei dessen Installation auf einer Überkopfbücke keine Beeinflussung des Verkehrsflusses erfolgt. Zusätzlich zum Laservibrometer wurden vom

Projektpartner seismische Beschleunigungsaufnehmer direkt am Fahrbahnrand positioniert.

Da die jeweiligen Sensoren nur in Kombination mit bestimmten Peripheriegeräten die beste Signalqualität liefern, wurden zwei getrennte Systeme spezifiziert, welche mit einander über eine Steuerleitung zur Synchronisation verbunden wurden. Neben der reinen Aufzeichnung der Sensorsignale wurde zusätzlich noch die Möglichkeit geschaffen, Umweltdaten wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit an beide Aufzeichnungssysteme zu verteilen. Weiters wurde eine VGA-Kamera in das Messsystem integriert, um bei der Auswertung der Sensorsignale ein synchrones Videobild der Vorbeifahrt zur Verfügung zu haben. In Abbildung 1 ist das Blockschaltbild des entwickelten Aufzeichnungssystems dargestellt.

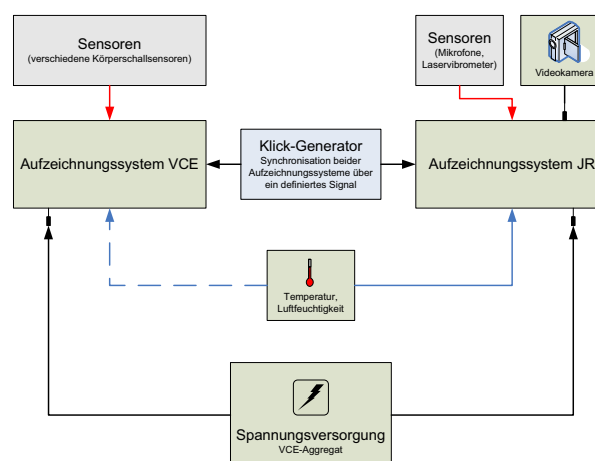


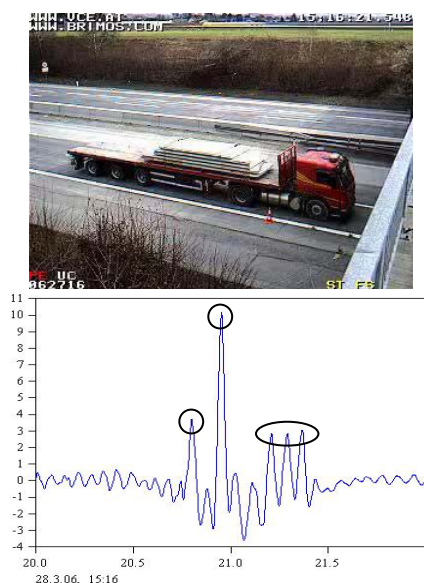
Abbildung 1: Blockschaltbild des entwickelten Aufzeichnungssystems

### Auswertung der Messergebnisse

Die gewonnenen Aufzeichnungsdaten wurden für die Weiterverarbeitung manuell annotiert. Dazu wurden die Sensorsignale bei jeder Vorbeifahrt mit Markern versehen und nach einem geeigneten Schema benannt. So wurde bei der Benennung der Marker berücksichtigt, ob es sich bei der Vorbeifahrt um einen Sattelzug, einen Lastkraftwagen mit oder ohne Anhänger oder einen Kleintransporter handelt. Zu jedem Fahrzeugtyp wurde die Anzahl der Achsen in der Markerbezeichnung berücksichtigt. Auf diese Weise konnten im späteren Verlauf die verschiedenen Schwingungssignale automatisch den weiterführenden Auswertearithmen zugeführt werden.

Im Zuge der Auswertung konnte festgestellt werden, dass ein Vergleich der Ergebnisse der beiden unterschiedlichen Sensortypen eine sehr hohe Übereinstimmung aufweist.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch das Vorbeifahrtmuster eines Sattelzuges mit insgesamt 5 Achsen.



**Abbildung 2:** Vorbeifahrtmuster eines Sattelzuges mit Hinweis auf die Achslastverteilung. Die eingezeichneten Bereiche repräsentieren die Achsen des Fahrzeuges

Neben der quantitativen Bestimmung der Achszahl eines vorbeifahrenden Fahrzeuges kann zusätzlich auf die Achslastverteilung des Fahrzeuges geschlossen werden. So zeigt diese Abbildung, dass die hintere Achse des Zugfahrzeuges den höchsten Anteil der Gesamtlast zu tragen hat, was sich in einem ausgeprägten Maximum im Vorbeifahrtmuster äußert.

### Störeinflüsse

Es konnten im Zuge der Untersuchungen jedoch auch Vorbeifahrten identifiziert werden, in denen die Ergebnisse der unterschiedlichen Sensortypen eine weniger gute Übereinstimmung aufweisen. Dies ist bei der Auswertung jener Messungen feststellbar, wo das Laservibrometer am Brückenkopf der am Messort befindlichen Autobahnüberführung montiert wurde.

Im Gegensatz zu den eingesetzten Beschleunigungssensoren, welche durch die Anbringung am Pannestreifen unmittelbar die Fahrbahnvibrationen messen, werden durch die Art der Montage des Laservibrometers nicht nur das Nutzsignal, also die Bewegung der Fahrbohnoberfläche während der Vorbeifahrt eines Fahrzeuges, sondern auch mögliche Bewegungen der Brücke detektiert. Zu Schwingungen der Brückenkonstruktion kommt es, wenn Fahrzeuge mit ausreichend hoher Geschwindigkeit die Messstelle passieren. Aufgrund der bewegten Luftmassen entsteht bei der Durchfahrt eines Fahrzeuges unter der Brücke ein Unterdruck, der zu einer vertikalen Auslenkung der Brücke in Richtung Fahrbahn führt. Je höher dabei die Durchfahrtsgeschwindigkeit des Fahrzeuges ist, desto größer sind auch der entstehende Unterdruck und damit die

maximale Auslenkung der Brücke. Besonders deutlich ist dieser Effekt bei der Vorbeifahrt von PKWs auf der Überholspur zu beobachten.

### Ergebnisse

Als wesentlicher Punkt im Verlauf der Auswertung kann die Entwicklung einer vollautomatisierten Ereigniserkennung angesehen werden. Aus jetziger Sicht steht nunmehr ein Werkzeug zur Verfügung, das aus einer beliebig langen Messserie die wesentlichen Ereignisse mit einer rund 90%igen Trefferquote richtig extrahieren kann.

Weiters wurden Erfahrungen sowohl auf einer Asphalt- als auch auf einer Betonfahrbahn gesammelt. Die Ergebnisse sind durchaus vergleichbar, sodass die Machbarkeit auf beiden Untergrundarten als erwiesen angesehen werden kann.

### Zusammenfassung

Durch die gewonnenen Erkenntnisse über die Fähigkeit der vorhandenen Messausrüstung, sowohl Ereignisse (Vorbeifahrten) als auch Achsfolgen zu detektieren, ist es möglich geworden, Dienstleistungen in diesem unmittelbaren Zusammenhang anbieten zu können. Zu den besonderen Vorteilen der eingesetzten Verfahren zählt sicherlich die Flexibilität und Mobilität bezüglich des Einsatzortes. Darüber hinaus sind die Messungen ohne wesentliche Einschränkungen des Regelverkehrs und mit geringem Aufwand vor, während und nach den Messungen durchführbar, was einen entscheidenden Vorteil zu anderen Methoden darstellt.

### Literatur

- [1] Fellner, M.; Rainer, H.; Rettenbacher, B; Wenzel, H; Gutenbrunner, G; Stöger, M.: Vibroakustisches System zur automatischen Bestimmung der Achszahl von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen-Machbarkeitsstudie, interner Projektbericht, März 2007
- [2] Oppenheim, A. V./ Schafer, R. W.: Zeitdiskrete Signalverarbeitung, Oldenbourg, München, 1999
- [3] Zölzer, U.: DAFX – Digital Audio Effects, John Wiley & Sons, New York, 2002