

# Geschwindigkeitsbeeinflussung durch großflächige abstrakte optische Anzeigen

*Florian Laquai\**, *Gerhard Rigoll\**, *Markus Duschl†*, *Darya Popiv‡*, *Mariana Rakic§*  
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation  
Technische Universität München  
Theresienstraße 90, 80333 München, Germany  
{Laquai, Rigoll}@tum.de

## Einleitung

Aktuelle Assistenz- und Informationssysteme geben optische Informationen und Warnungen meist in Form von Symbolen oder Text an den Fahrer aus. Diese sind aufgrund der begrenzten Displayfläche oft sehr klein. Daher wurden zwei Anzeigekonzepte neu entwickelt, die Gefahren- und Verzögerungsinformation großflächiger als bislang üblich darstellen. Ziel ist es, den Fahrer frühzeitig auf Hindernisse auf dem weiteren Streckenverlauf hinzuweisen, die eine Geschwindigkeitsreduktion erfordern. Um eine effiziente Verzögerungsphase zu ermöglichen, muss der Hinweis oftmals noch erfolgen, bevor das Hindernis für den Fahrer in der Realität sichtbar ist. Als Datenbasis für die Anzeigen dienen digitale Karten und Informationen aus Car2X-Kommunikation.

## Systembeschreibung

Die beiden Anzeigekonzepte sollen wie schon beschrieben eine Hilfestellung zum effizienten Verzögern bieten. Sie generieren die Ausgabe gesteuert durch einen Algorithmus, der den optimalen Startzeitpunkt für eine Verzögerung aus den aktuellen Fahrdynamikdaten, Sensor- und Karteninformationen berechnet. Dabei wird der Zeitpunkt so berechnet, dass die gewünschte Zielgeschwindigkeit rein durch das Motorschleppmoment (das Gaspedal ist in Neutralstellung) erreicht werden kann. Reagiert der Fahrer auf diese Ausgabe nicht, das heißt es muss später stärker verzögert werden, so gibt der Algorithmus ein Signal aus, dass eine stärkere Geschwindigkeitsreduktion erforderlich ist. Insgesamt wurde die Skala für die nötige Verzögerung in drei Bereiche zwischen Motorschleppmoment, leichtem Bremsen und Komfortverzögerung (ca.  $-1,5 \frac{m}{s^2}$ ) eingeteilt.

## Virtuelle Straßenmarkierungen - Chevrons

Markierungen auf der Fahrbahn waren bisher mehrfach Gegenstand von Studien in denen deren Einfluss auf die Geschwindigkeit untersucht wurde. Je nach Art der Markierungen, der Straßengeometrie und anderen örtlichen Gegebenheiten war der Grad der Geschwindigkeitsreduktion sehr unterschiedlich. Die Markierungen in Abbildung 1 links führten bei einem 85% Perzentil zu einer Reduktion von  $27 \frac{km}{h}$ , siehe [Drak03]. In Versuchen aus [Katz07] wurde oft nur eine signifikante Reduktion ebenfalls im 85% Perzentil der Probanden von maximal  $5 \frac{km}{h}$  erreicht.

---

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

<sup>2</sup>Fachgebiet für Augmented Reality, TU München

<sup>3</sup>Lehrstuhl für Ergonomie, TU München

<sup>4</sup>BMW Forschung und Technik, BMW Group



Abb. 1: Links: Chevrons in Wisconsin, aus [Drak03] Rechts: Chevrons auf Yodogawa River Bridge in Japan, aus [Ito95]

Obwohl die Wirksamkeit der getesteten Straßenmarkierungen schwankend ist, bieten sie doch den Vorteil, keine explizite Handlungsaufforderung oder Bevormundung des Fahrers darzustellen. Sie basieren auf wahrnehmungspsychologischen Effekten wie z.B. einer Erhöhung des optischen Flusses (siehe [Pretto06]), Fahrbahnverengungen (siehe [VTT97]) und einer subjektiv höheren Geschwindigkeit (siehe [Katz07]). Alle diese Effekte beeinflussen das Geschwindigkeitsempfinden in der Art, dass die wahrgenommene Geschwindigkeit höher als die tatsächliche ist. So verringern die Fahrer im Idealfall die Geschwindigkeit so weit, dass diese Differenz vollständig ausgeglichen wird.

Nutzt man die Möglichkeiten eines großflächigen Head-Up Displays, so können solche Markierungen quasi-kontaktanalog in der Windschutzscheibe dargestellt werden. Das bedeutet, dass die Markierungen in einer Ebene angeordnet werden, die parallel zur Fahrbahnoberfläche liegt, die Perspektive jedoch nicht den Karosserie- und Lenkbewegungen angepasst wird. Die Chevrons



Abb. 2: Schematische Abbildung der eingeblendeten Straßenmarkierungen

bewegen sich auf den Fahrer zu, wobei die Geschwindigkeit und die Anzahl der Chevrons dem Grad der erforderlichen Verzögerung angepasst wird. Je höher die benötigte Verzögerung, desto höher ist die Balkenanzahl und die Balkengeschwindigkeit.

## LED Leuchtstreifen

Die Anbringung von leuchtenden Flächen im Cockpit verfolgt ebenfalls das Ziel einer unterbewussten Aufforderung zur Geschwindigkeitsreduktion. Dabei sollen weniger Wahrnehmungseffekte ausgenutzt, sondern eine flächige und ambiente Ausgabe im peripheren Gesichtsfeld erzeugt werden. Hierzu wurden links und rechts neben dem Lenkrad Leuchtstreifen mit RGB-LEDs angebracht, siehe Abbildung 3. Diese wurden unter Blenden aus halbtransparenter Kunststoffolie montiert um sie im ausgeschalteten Zustand möglichst unauffällig zu halten.

Mit Hilfe einer Steuerelektronik kann mit den LEDs nahezu jeder gewünschte Farbwert erzeugt werden. Da die LEDs nicht das Spektrum von Einheits-Farbstrahlern abgeben, kann nicht von einer kalibrierten Farbwiedergabe ausgegangen werden. Die dabei benutzte Farbkodierung der

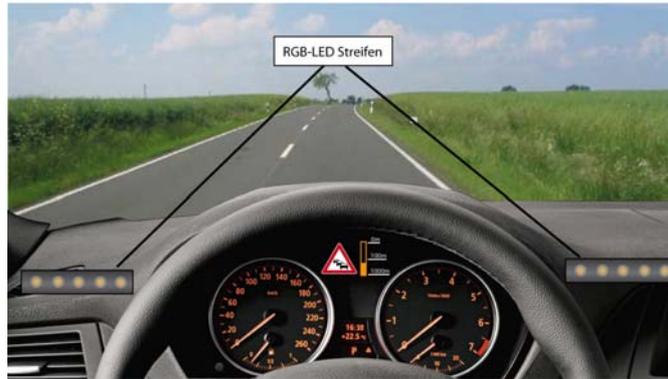


Abb. 3: Schematische Abbildung der LED-Streifen im Cockpit

Handlungsaufforderung ist wie folgt:

- Grün: Gas vollständig wegnehmen
- Gelb: leicht bremsen
- Rot: stark bremsen

Als Übergang zwischen dem ausgeschalteten Zustand und verschiedenen Farben wurde ein kontinuierlicher Farbübergang gewählt, der ca. 1 Sekunde dauert.

## Versuche

Zu den beiden Anzeige Konzepten wurden zwei getrennte Versuche durchgeführt. Zunächst sollen die Ergebnisse des Fahrsimulatorversuchs mit den virtuellen Straßenmarkierungen erläutert werden.

### Chevrons im Head-Up Display

Der Versuch zu den Chevron - Mustern wurde in einem interaktiven Simulator (siehe Abbildung 4) mit 30 Probanden durchgeführt. Das Alter lag zwischen 20 und 57 Jahren mit einem Durchschnitt von 26,87 Jahren. Davon erreichten 60% der Probanden eine Fahrleistung von weniger als 10000 km pro Jahr und 7% lagen über 20000 km pro Jahr. Die Strecke begann auf der Landstraße und ging über einen Autobahnabschnitt in Stadtverkehr über. Insgesamt traten 9 Situationen auf, in denen das Assistenzsystem ausgelöst werden konnte. Dies geschah allerdings nur, wenn der Fahrer schneller als mit der optimalen Geschwindigkeit fuhr. Die Reihenfolge, in der die Strecke mit unterschiedlichen Anzeige Konzepten durchfahren wurde, war zufällig. In dem Versuch wurden noch weitere Varianten der Chevrons untersucht, beispielsweise verschiedene Längen der Balken. Die durchgehenden Chevrons wurden sowohl im großen Head-Up Display als auch in einem Seriengerät von BMW angezeigt. Die Auswertung und Ergebnisse sollen hier exemplarisch für die letzten beiden Varianten in den Situationen "Baustelle" und "Stau" erläutert werden. Hier war die Baustelle auf einer Landstraße hinter einer nicht einsehbaren Kurve und der Stau auf einer Autobahn ebenfalls nicht einsehbar gelegen. In beiden Fällen musste fast bis zum Stillstand verzögert werden. Zur Analyse der Daten wurden folgende Größen und deren zeitlicher Verlauf herangezogen:

- Geschwindigkeit

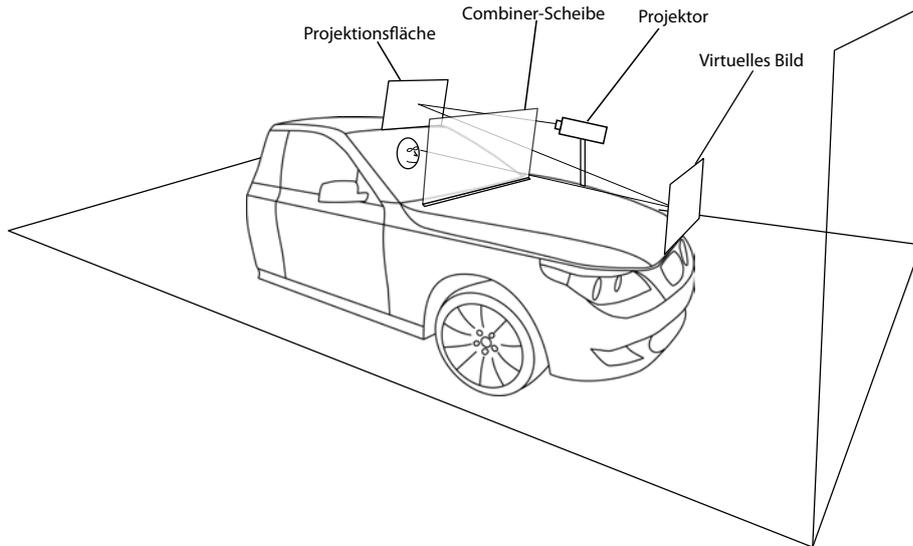


Abb. 4: Versuchsaufbau für die Chevron-Muster

- Position
- Assistenzzeitpunkte und -art

Die Fahrten mit Assistenzsystem wurden jeweils verglichen mit einer Referenzfahrt. Hierfür wurden die Daten folgendermaßen ausgewertet:

- Zuordnung einer Position zum ersten Assistenzzeitpunkt pro Person (Referenzfahrt)
- Mittelung der Assistenzpositionen über alle Probanden (Referenzfahrt)
- Fensterung der Daten auf 10 Sekunden vor und 20 Sekunden nach der Assistenzposition (alle Fahrten)
- Berechnung der Geschwindigkeitsdifferenz für jedes Sample und jeden Probanden zwischen Baseline und ass. Fahrt
- Bildung der Durchschnittsdifferenz und Standardabweichung jedes Probanden
- Normalisierung des Mittelwerts der Startgeschwindigkeit jedes Ausschnitts der ass. Fahrt
- Mittelung der Ausschnitte über alle Probanden (zur übersichtlichen Darstellung)

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der beiden analysierten Situationen diskutiert werden.

### Baustelle auf der Landstraße

Die gemittelten Geschwindigkeitsverläufe für Referenzfahrt (Baseline), Chevrons im großen und kleinen Head-Up Display (HUD) sind in Abbildung 5 dargestellt. Ebenso ist der Assistenzzeitpunkt (Event) und die Maxima der jeweiligen Verläufe markiert. Generell ist eine wesentlich frühere Reaktion mit Assistenz als ohne festzustellen. Als Zeitpunkt der Reaktion auf das Assistenzsystem wird hier das Maximum der Geschwindigkeit bei der jeweiligen Variante festgelegt. Die Angaben zur Geschwindigkeitsreduktion weisen eine Signifikanz mit  $\alpha = 5\%$  auf.

In dem betrachteten Ausschnitt wurde die Baustelle ca. 22-25 Sekunden nach Beginn des Aufzeichnungsfensters erreicht, was in den Graphen als Erhöhung der Geschwindigkeit auf freier Strecke zu sehen ist. Zu erwähnen ist auch, dass bei den Chevrons im großen HUD das

Größe	Chevrons (großes HUD)	Chevrons (kleines HUD)
$\sigma(\Delta v)$	$13,16 \frac{km}{h}$	$15,06 \frac{km}{h}$
Mittleres $\Delta v$	$14,6 \frac{km}{h}$	$11,6 \frac{km}{h}$
$\Delta t$ Reaktion	6,66 s	4,1 s

Tab. 1: Kenngrößen der Situation "Baustelle"

Maximum der Geschwindigkeit sogar vor dem mittleren Assistenzort zu finden ist. Das ist damit zu erklären, dass von manchen Probanden der Streckenabschnitt aus vorangegangenen Fahrten wiedererkannt wurde.

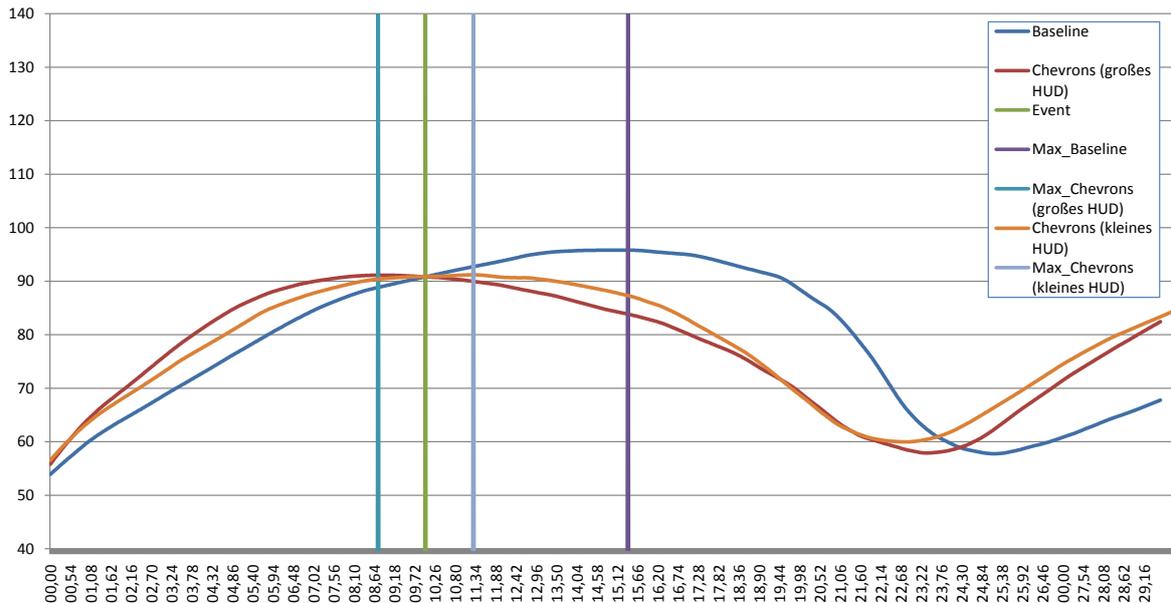


Abb. 5: Geschwindigkeitsverläufe und Maxima in der Situation "Baustelle"

### Stau auf der Autobahn

In gleicher Weise wie oben sind in Abbildung 6 die Geschwindigkeitsverläufe für die Situation "Stau hinter einer Kurve" zu sehen. Hier liegen alle Maxima mindestens ca. 1 Sekunde hinter dem Assistenzzeitpunkt, was für die erreichte Unvorhersehbarkeit der Situation spricht. Die mittleren Geschwindigkeitsreduktionen wurden ebenfalls mit einer Signifikanz von  $\alpha = 5\%$  ermittelt.

Größe	Chevrons (großes HUD)	Chevrons (kleines HUD)
$\sigma(\Delta v)$	$36,27 \frac{km}{h}$	$35,59 \frac{km}{h}$
Mittleres $\Delta v$	$25,6 \frac{km}{h}$	$22,3 \frac{km}{h}$
$\Delta t$ Reaktion	7,96 s	7,08 s

Tab. 2: Kenngrößen der Situation "Stau"

Generell festzustellen ist also, dass der Zeitgewinn zwischen diesen beiden Varianten zwischen 1,3 und 3 Sekunden liegt. Sehr auffällig ist hier, dass bei den insgesamt höheren Geschwindigkeiten auf der Autobahnstrecke auch höhere Reduktionen (fast doppelt so große Differenz) festzustellen ist. Dies ist besonders interessant, da die Animation der Chevrons exakt gleich ablief, also die gleiche Balkenanzahl und -geschwindigkeit aufwies.

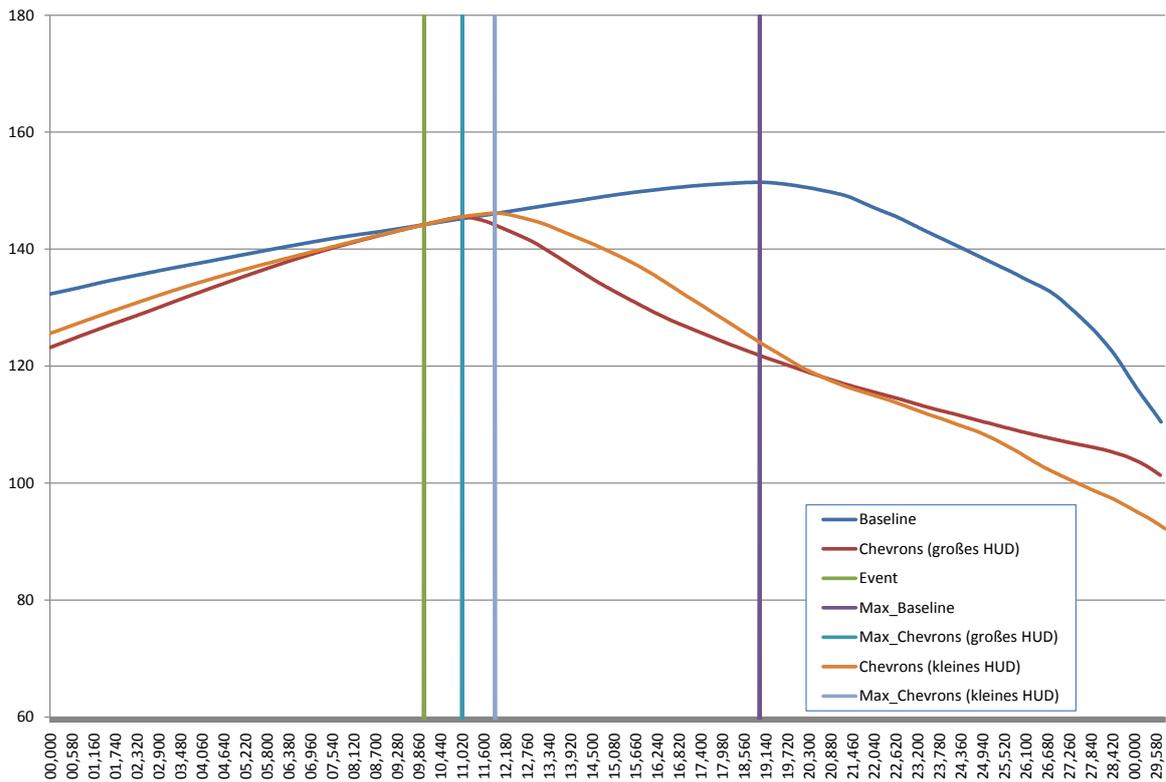


Abb. 6: Geschwindigkeitsverläufe und Maxima in der Situation "Stau"

## LED Leuchtstreifen

Dieses Anzeigekonzept wurde nicht wie das vorherige in einem interaktiven Versuch evaluiert, sondern in einem Videoexperiment mit mehreren anderen Konzepten verglichen, unter anderem mit den zuvor beschriebenen Chevrons. Die dabei entstandenen Resultate aus subjektiven Bewertungen sollen hierbei ebenfalls als Einschätzung für das Chevron-Konzept dienen. Der Versuch fand im gleichen Simulatorfahrzeug statt wie zuvor, jedoch wurden den Probanden Ausschnitte aus der Strecke lediglich als Video auf der Projektionsfläche vor dem Fahrzeug gezeigt. Um einen vergleichbaren Eindruck herzustellen, wurden die wichtigsten benötigten Daten wie Geschwindigkeit, Drehzahl, Position von Hindernissen und Fremdfahrzeugen etc. parallel zum Video aufgezeichnet um sie später mit geeigneter Software wieder synchron zum Bild abspielen zu können. So können das Kombiinstrument, Motorgeräusch und Anzeigekonzepte in gewohnter Weise arbeiten. Der Versuchsablauf wurde folgendermaßen gewählt:

- kurze Erklärung der Anzeigekonzepte
- Betrachtung der gleichen Verkehrssituationen mit unterschiedlichen Konzepten
- Ranking der Konzepte auf einer Skala von 0 - 100 am Bedienterminal des Simulators
- Ausfüllen eines Fragebogens zur subjektiven Bewertung

An dem Versuch nahmen ebenfalls 30 Personen teil mit einem Durchschnittsalter von 28,6 Jahren, wovon 9 weiblich und 21 männlich waren. 14 Personen hatten eine jährliche Fahrleistung von unter 5000 km, 16 Personen erreichten über 5000 km.

Im Ranking wurden für die Chevrons 52,3 von 100 Punkten und für die LEDs 37,5 von 100 Punkte vergeben. Das beste System im Test erreichte ein Ranking von 61,3 Punkten. Die Verteilung zu ausgewählten subjektiven Fragen kann in Abbildung 7 betrachtet werden, wobei 3 Punkte einer neutralen Bewertung entsprechen.

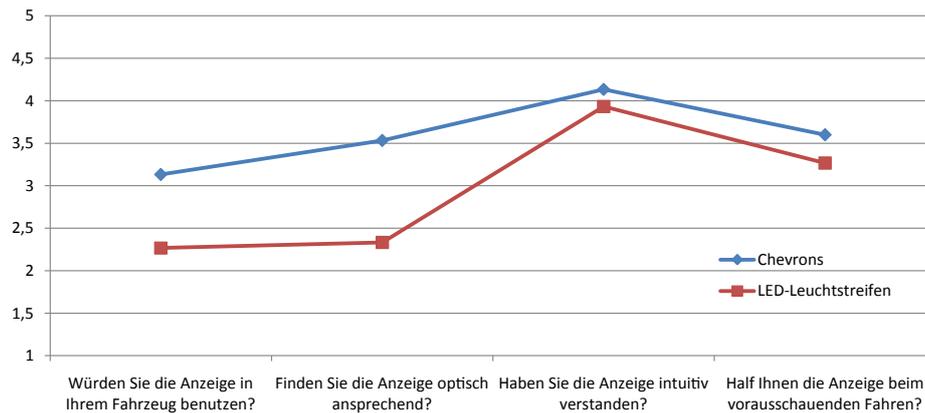


Abb. 7: Subjektive Bewertung und Vergleich von Chevrons und LEDs

Zu erkennen ist, dass die Chevrons ebenso wie im Ranking generell besser abschneiden. Speziell die Fragen, ob die LEDs von den Probanden im Fahrzeug gewünscht werden würden und ob sie optisch ansprechend seien, ergaben eine negative Bewertung. Dies konnte durch die frei formulierten Anmerkungen weiter spezifiziert werden. Der Tenor der Aussagen war, dass die Intensität der LEDs zu hoch war und mehr als Umgebungslicht anstatt einer direkten Bestrahlung ausgeführt sein sollten.

Ebenfalls wurde das gewählte Farbschema als verwirrend eingestuft, speziell die Farbe "Grün". Stattdessen sollten Abstufungen von Gelb zu Rot verwendet werden. Auch die Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen müssen langsamer und "weicher" vonstatten gehen. Gleichzeitig wurde die Idee hinter der Beleuchtung von 30% der Probanden als sinnvoll und positiv eingeschätzt.

## Zusammenfassung

In diesem Dokument wurden zwei Anzeigekonzepte zur Unterstützung vorausschauenden Fahrens vorgestellt. Beide haben zum Ziel, die Geschwindigkeit gezielt und unaufdringlich zu reduzieren. Versuche mit beiden Konzepten haben gezeigt, dass generell eine Wirkung erzielt werden kann. Jedoch ist vor allem bei dem Konzept mit RGB-LED-Streifen noch Verbesserungspotential vorhanden, vor allem in der Subtilität der Ausgabe.

## Quellenverzeichnis

- [Katz07] KATZ, BRYAN JEFFREY: *Peripheral transverse pavement markings for speed control*. Dissertation Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2007.
- [Preto06] PRETTO, P., CHATZIASTROS, A.: *Changes in optic flow and scene contrast affect the driving speed*. DSC 2006 Europe, Paris, 2006.
- [VTT97] MARTENS, M., COMTE, S., KAPTEIN, N.: *The Effects of Road Design on Speed Behaviour: A Literature Review Deliverable D1 (Report 2.3.1)*, VTT Communities & Infrastructure, Finnland, 1997.
- [Drak03] DRAKOPOULOS, A., VERGOU, G.: *Evaluation of the Converging Chevron Pavement Marking Pattern at one Wisconsin Location*. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington DC, 2003.
- [Ito95] ITO, H.: *Design of Arrow Markings to Decelerate Vehicle Speeds*. Traffic Engineering 30(1), Japan, 1995.