

# Geschwindigkeit und Aufmerksamkeit an nichttechnisch gesicherten BÜ

*Fahrsimulatorstudie der TU Dresden untersucht Varianten der straßenseitigen Ankündigung*



Abb. 1: Außenansicht des Fahrsimulators

Eric J. Schöne  
Christoph Schulze  
Maxim F. Wöllmann

## Ausgangssituation

Die Sicherheit an Bahnübergängen (BÜ) hängt maßgeblich vom Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer ab. Dieses lässt sich wiederum durch die Gestaltung der Anlagen beeinflussen. Hierzu gehören neben den Sicherungseinrichtungen unmittelbar am BÜ – beispielsweise Andreaskreuze, Lichtzeichen und Schranken – auch Verkehrszeichen und -einrichtungen zur Ankündigung. Deren Wirkung wurde jedoch bisher kaum wissenschaftlich betrachtet. Eine internationale Literaturstudie aus dem Jahr 2002 bestätigte den Einsatz solcher Verkehrszeichen vorrangig ausgehend von logischen Argumenten, jedoch ohne empirische Basis [1].

Der geringe Stellenwert, der diesem Bereich auch in Deutschland beigemessen wird, spiegelt sich in den kürzlich erfolgten Änderungen der verkehrsrechtlichen Vorgaben wider. So wurden in der Straßenverkehrsordnung (StVO) und der zugehörigen Verwaltungsvorschrift (VwV-StVO) die Regeln zur Aufstellung der Gefahrzeichen vor BÜ modifiziert [2, 3]. Dabei wurde der Umfang der Ankündigung unter der Prämisse „we-

niger Verkehrszeichen“ teilweise drastisch reduziert und vereinfacht, ohne sich dabei auf gesicherte Erkenntnisse zu stützen.

Die Möglichkeit systematischer Untersuchungen der Auswirkungen verschiedener Gestaltungsvarianten auf das Fahrverhalten und die sicherheitskritische Aufmerksamkeit von Verkehrsteilnehmern an BÜ im Rahmen von Feldversuchen ist mit bedeutenden Anforderungen verbunden. Vorher-Nachher-Vergleiche einzelner BÜ sind nur als Zeitreihenveränderungsdesign methodisch belastbar und werden daher in der Literatur recht selten berichtet. Vergleiche über viele Orte anhand sicherheitsbezogener Kennwerte (z. B. Unfalldaten) sind nur bei überwiegend ähnlicher Gestaltung vieler BÜ und oft nicht kurzfristig oder sogar im Vorhinein in der Lage, Aussagen zu erzeugen. Um die Problemstellung dennoch einem wissenschaftlichen Zugang zu öffnen, sollte die vorliegende Studie auch methodische Erkenntnisse liefern.

## Zielstellung und Abgrenzung

Ziel der Studie war es, unterschiedliche Varianten der Ankündigung von BÜ hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer zu untersuchen. Um Diskussionen über die Umsetzbarkeit bestimmter Lösungen zu vermeiden, bewegten sich sämtliche Gestaltungsvarianten

prinzipiell im Rahmen des geltenden Straßenverkehrsrechts.

Untersucht wurden ausschließlich nichttechnisch gesicherte BÜ mit Sicherung durch die Übersicht auf die Bahnstrecke, d. h. durch Freihaltung von Sichtflächen. Der Vorteil der Beschränkung auf solche BÜ besteht in der nur hier vorliegenden Aufgabe für die Verkehrsteilnehmer, die Bahnstrecke zu beobachten und nach Zügen zu suchen. Die Erfüllung dieser sicherheitsrelevanten Aufgabe lässt sich als Indikator für die Aufmerksamkeit an der Gefahrenstelle verwenden.

Aus Gründen der Versuchsökonomie beschränkte sich die Studie auf Pkw-Fahrer. Da diese Verkehrsteilnehmer jedoch den Großteil der Verkehrsleistung auf Straßen erbringen und keine Anhaltspunkte für wesentlich abweichende Verhaltensweisen anderer motorisierter Verkehrsteilnehmer bestehen, wurde davon ausgegangen, dass das Verhalten der Pkw-Fahrer repräsentativ für das Verhalten aller motorisierten Verkehrsteilnehmer an BÜ ist.

## Methodik

Eine Untersuchung mittels Fahrsimulator stellt eine günstige Möglichkeit dar, realitätsnahe Ergebnisse zum Fahrverhalten zu erzeugen. Insbesondere besteht hier die Möglichkeit, allen Versuchsteilnehmern neben der baulichen Gestaltung des BÜ auch die gesamte Verkehrssituation konstant darzubieten und so die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu sichern.

Genutzt wurde die Simulationsanlage der Professur für Verkehrspsychologie der TU Dresden. Zu dieser Anlage gehören ein Simulationsfahrzeug mit vorgelagerten Projektionswänden und ein Blickanalysesystem zur Aufzeichnung von Blickbewegungen.

Das Simulationsfahrzeug besteht aus einem 1:1-Modell eines Pkw, das auf das Cockpit samt Vordertüren beschränkt ist (Abb 1). Die Karosserie steht unbeweglich im Raum, so dass eine Übertragung von Flieh- und Beschleunigungskräften auf den Probanden nicht möglich ist.

Zur Bedienung vorgesehen sind neben dem Lenkrad und dem Blinkhebel auch die Pedale für Gas und Bremse, während die Gangschaltung automatisch erfolgt. Außen Spiegel zur Beobachtung des rückwärtigen

Verkehrs sind physisch nicht vorhanden, werden jedoch auf der Leinwand positionsgerecht eingeblendet. Der gleichzeitig sichtbare Betrachtungsausschnitt beträgt ausgehend vom Fahrer beidseitig 90°, so dass sich ein Sichtbereich von 180° ergibt.

Die Simulation wird mit der Software „STISIM Drive“ der amerikanischen Firma Systems Technology Inc. erzeugt. Objekte können dabei in die verschiedenen Ebenen eingebracht und beispielsweise Verkehrszeichen als Markierungen wiederholt werden (Abb. 2).

Beim Blickanalyse-System handelt es sich um das System iViewX HED der Firma Sensor-Motoric Instruments (Abb. 3). Das System kann mit einer Frequenz von 50 Hz die Blickorte im mittleren Gesichtsfeld erfassen und aufzeichnen.

### Versuchsstrecke

Die Strecke sollte eine ausreichende Zahl unterschiedlicher BÜ aufweisen, den Untersuchungsgegenstand jedoch nicht zu offensichtlich hervortreten lassen. Außerdem musste sich die Fahrzeit für die Probanden in einem akzeptablen Rahmen bewegen. Unter diesen Gesichtspunkten wurde eine 28 km lange Strecke programmiert, die in rund 30 Minuten zu absolvieren war. In dieser Strecke befanden sich außerhalb von geschlossenen Ortschaften insgesamt fünf BÜ mit unterschiedlichen Eigenschaften, jedoch ohne ausgewiesene Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Zur Verschleierung des Untersuchungszwecks wurden neben verschiedenartigen Landschaften auch andere Fahrzeuge sowie mehrere Ortschaften mit Fußgängern, Fußgängerüberwegen, Kreuzungen und Lichtsignalanlagen eingefügt. Als Referenzvariante diente die Standardbeschilderung nach StVO in einem geraden Streckenabschnitt. Diese bestand aus Gefahrzeichen mit dreistreifigen Baken rund 240 m vor dem BÜ, zweistreifigen Baken bei 160 m und einstreifigen Baken bei 80 m vor dem BÜ. Direkt am BÜ waren Andreaskreuze angeordnet. Alle Verkehrszeichen waren beiderseits der Fahrbahn aufgestellt. Weiterhin wurden folgende Vergleichsvarianten in die Strecke einbezogen:

- Variation der Sichtverhältnisse durch Kurvenlage (Abb. 4),

Abb. 2: Ebenendefinition im Programm „STISIM Drive“

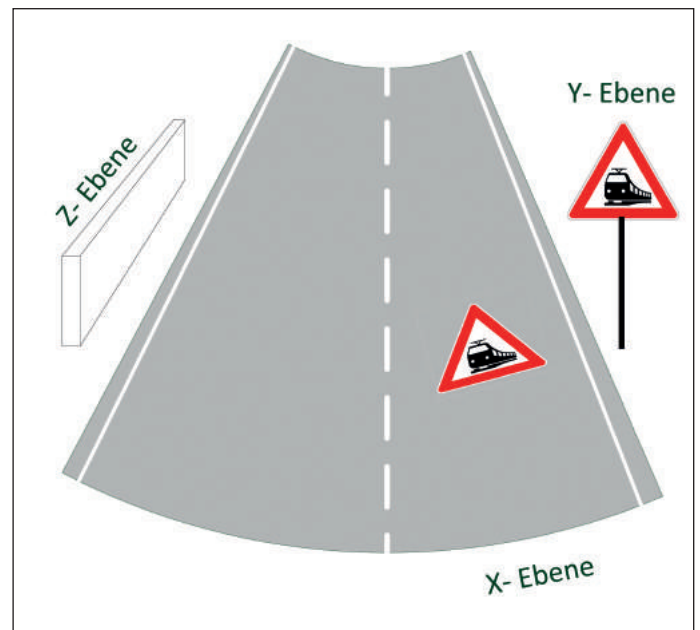


Abb. 3: Blickfassungshelm mit Szenenkamera



Abb. 4: Standardbeschilderung in Kurvenlage



Abb. 5: Variante mit zusätzlicher Markierung des Gefahrzeichens auf der Fahrbahn



Abb. 6: Variante mit zusätzlichen gelben Blinklichtern über den Gefahrzeichen



- zusätzliche Markierung des Gefahrzeichens auf der Fahrbahn (Abb. 5),
- zusätzliche gelbe Blinklichter über den Gefahrzeichen (Abb. 6).

Um mögliche Einflüsse der dargebotenen Reihenfolge auf das Verhalten (Lern- und Gewöhnungseffekte) feststellen zu können, wurden zwei Versuchsstrecken mit unterschiedlicher Abfolge der ansonsten identischen Gestaltungsvarianten programmiert. Die Auswahl der jeweils verwendeten Strecke erfolgte zufällig, so dass das Teilnehmerkollektiv je zur Hälfte auf die beiden Varianten aufgeteilt wurde.

Am Beginn der Strecke wurde ein zusätzlicher BÜ eingefügt, bei dem jeweils ein Schienenfahrzeug deutlich erkennbar in sicherer Entfernung vor dem Fahrer über den BÜ fuhr. Damit sollte den Probanden verdeutlicht werden, dass die Gleise quer durch die Szenerie verlaufen und dass dort mit Zugfahrten zu rechnen ist. Somit bestand jede Versuchsstrecke aus einem BÜ mit Zugfahrt und anschließend vier weiteren BÜ ohne Zugfahrt in Außerortslage.

## Untersuchungsablauf

Nach einer kurzen Einweisung in den Versuchsablauf, der Einstellung einer angenehmen Sitzposition sowie der Kalibrierung des Blickanalysesystems befuhr jeder Proband zunächst eine rund 3 km lange Pretest-Strecke. Diese diente dazu, mit dem Fahrverhalten des Simulators vertraut zu werden und sich insbesondere an das Fehlen der beim Autofahren üblicherweise auf den Körper einwirkenden Kräfte zu gewöhnen. Als Abschluss der Vorbereitungsphase wurde jeder Proband zu seiner physischen Verfassung befragt. Danach begann jeweils die eigentliche Versuchsfahrt mit dem Simulator. Während jedes Simulationsdurchlaufs mit jeweils rund 30 Minuten Dauer wurden zur späteren Auswertung permanent die Fahrgeschwindigkeit sowie die Blickbewegungen vom System aufgezeichnet.

Nach dem Ende der Fahrt mussten die Probanden einen Fragebogen beantworten. Neben Personenmerkmalen enthielt dieser unter anderem Fragen zum vermuteten Zweck der Untersuchung und zu möglichen Irri-

tationen durch die einzelnen Gestaltungsvarianten, die zu diesem Zwecke nochmals bildlich wiedergegeben wurden.

## Stichprobenbeschreibung

An der Studie nahmen 50 Probanden teil. Zwei Probanden mussten den Versuch wegen Übelkeit vorzeitig abbrechen (sogenannte „Simulator Sickness“), so dass die Stichprobe letztlich aus 48 Personen bestand. Das Durchschnittsalter betrug 25 Jahre. Ein Drittel der Probanden war weiblich. Alle Versuchsteilnehmer besaßen mindestens den Pkw-Führerschein, die jährliche Fahrleistung lag zwischen 0 km und 40 000 km und betrug durchschnittlich 6 000 km.

Die Verschleierung des Versuchszwecks gelang bei rund 77 % der Probanden, die anderen 23 % vermuteten in der Nachbefragung, dass sich die Untersuchung mit BÜ beschäftigte. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse kaum von der im Verhältnis zur Realität recht hohen Dichte nichttechnisch gesicherter BÜ beeinflusst wurden. Angesichts der zahlreichen eingefügten Fußgängerüberwege vermuteten viele Probanden vielmehr, dass die Untersuchung diese Stellen zum Gegenstand hatte.

## Datenaufbereitung

Zur Auswertung des Geschwindigkeitsverhaltens wurden aus der Fahrt jedes der 48 Probanden jeweils die Streckenabschnitte ab 550 m vor jedem BÜ herangezogen. Für diese Abschnitte wurden querschnittbezogen über alle Versuchsteilnehmer in kleinen Schritten durchschnittliche Geschwindigkeitsverläufe je Entfernungspunkt zum BÜ für die unterschiedlichen Gestaltungsvarianten berechnet. Um auch das individuelle Verhalten deutlicher beschreiben zu können, wurden zusätzlich für jeden Probanden die durchschnittliche Geschwindigkeit im Streckenabschnitt ab 550 m vor BÜ bis zum BÜ sowie Ort und Größe der in diesem Bereich maximal und minimal gefahrenen Geschwindigkeit ermittelt.

Um die Blickzuwendung auf bestimmte Bereiche auswerten zu können, wurden sogenannte „Areas of Interest“ (AOI) definiert. Betrachtet wurden sämtliche Verkehrszei-

chen der BÜ, also Gefahrenzeichen, Baken, Andreaskreuze sowie die zusätzlichen Elemente. Um das aktive Suchen der Probanden nach Zügen feststellen zu können, wurden außerdem die Blicke in die Bereiche entlang der Bahnstrecke jeweils links und rechts eines BÜ ausgewertet (Abb. 7). Innerhalb all dieser AOI wurde jeweils die Häufigkeit als auch Dauer der Blickzuwendung als wichtiger Indikator für die Informationsaufnahme beim Autofahren ermittelt [4].

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu sichern, wurden die Blickdaten nur derjenigen Probanden in die Auswertung aufgenommen, für die fehlerfreie Rohdaten vorlagen. Dies traf auf elf der 48 Personen zu. Bei den anderen Personen konnte die Blickaufzeichnung entweder nicht erfolgen (17 Personen), weil beispielsweise keine stabile Kalibrierung möglich war, oder es lagen partielle Datenlücken zu einzelnen Situationen der Fahrt vor (20 Personen), beispielsweise aufgrund einzelner Blicke mit starker Augendrehung in periphere Bereiche, die vom System nicht erfasst werden können.

## Ergebnisse zur Geschwindigkeit

Die individuellen Geschwindigkeiten zeigen eine große Streuung. Bei einzelnen Probanden bzw. einzelnen BÜ-Befahrungen war zu beobachten, dass es zu keiner Geschwindigkeitsreduzierung vor dem BÜ kam. Die große Mehrzahl der Personen zeigte jedoch eine deutliche Verminderung der Geschwindigkeit. So betrug im Bereich ab 550 m vor einem BÜ bis zum BÜ die höchste aufgezeichnete Geschwindigkeit eines Fahrers 105 km/h. Als niedrigste individuelle Geschwindigkeit lagen 8 km/h vor. Im Mittel aller Teilnehmer und aller BÜ wurde die maximale individuelle Geschwindigkeit vor einem BÜ im Abstand von 375 m vor dem BÜ verzeichnet und somit vor Passieren des Gefahrzeichens. Die Stelle der minimalen individuellen Geschwindigkeit lag im Mittel in einem Abstand von 72 m vor dem BÜ. Die mittlere Annäherungsgeschwindigkeit über alle Probanden und alle BÜ-Varianten betrug 70,5 km/h mit Ausprägungen zwischen 40 km/h und 93 km/h.



Abb. 7: Beispiel für „Areas of Interest“ (hier rot umrahmt)

In Abb. 8 ist das mittlere Geschwindigkeitsverhalten über alle Probanden an den BÜ im typischen Verzögerungsbereich ab 300 m vor BÜ dargestellt. Betrachtungsgrundlage hierfür sind die querschnittbezogenen mittleren Geschwindigkeiten, somit diejenigen Werte, die in einem bestimmten Abstand vor einem BÜ im Mittel aller Fahrer auftraten. Die Ausgangsgeschwindigkeiten im Bereich vor dem Passieren der Gefahrenzeichen lagen hier im Mittel zwischen 77 km/h und 81 km/h. Mit Ausnahme der Variante in Kurvenlage haben die Verläufe der sinkenden kollektiven Geschwindigkeiten ähnliche Formen. Da diese Werte durch querschnittbezogene Mittelung der individuellen Geschwindigkeitsverläufe entstanden, finden sie ihre Minima im Mittel rund 30 m vor den BÜ bei 50 km/h (Variante Markierung) bis 53 km/h (Standard-BÜ und Variante Blinklicht). Die Variante in Kurvenlage weist durch umfänglich größere und zeitigere Geschwindigkeitsreduktion einen deutlich abweichenden Verlauf auf. Die geringste kollektive Geschwindigkeit von im Mittel 39 km/h wurde bei dieser Variante etwa 20 m vor dem BÜ erreicht. Bevor die beobachteten Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den BÜ-Varianten

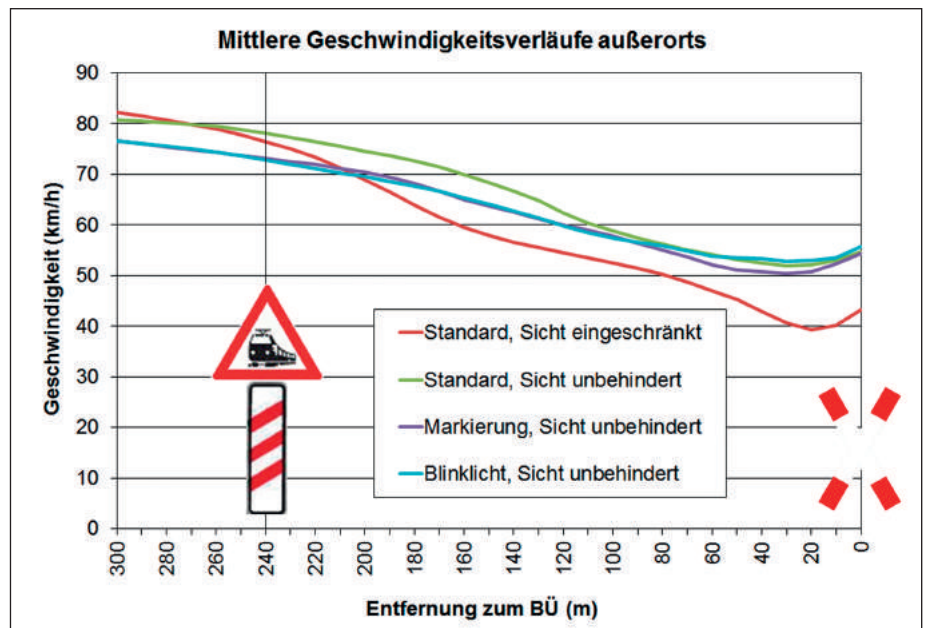


Abb. 8: Querschnittbezogenes Geschwindigkeitsverhalten an den untersuchten BÜ

auf ihre statistische Bedeutsamkeit (Signifikanz) geprüft werden können, ist zunächst die Frage möglicher Reihenfolgeeffekte zwischen den beiden präsentierten Versuchsstrecken zu betrachten. Hierbei zeigt

sich für die mittlere Fahrgeschwindigkeit an den drei Versuchsüberwegen (Kurvenlage, Blinklicht, Markierung) kein signifikanter Unterschied zwischen den Probandengruppen, die diese in unterschiedlicher



**Systeme für eine mobile Welt**

Als Pionier auf dem Gebiet der Verkehrsleit- und Signaltechnik übernehmen wir seit 1872 Verantwortung. Wir stellen uns mit innovativer Sicherheitstechnologie den Herausforderungen des Gefahrenpotentials auf Straße und Schiene.

Unsere zukunftsorientiert entwickelten Stellwerks- und Bahnübergangssysteme beweisen unsere Kompetenz - zu jeder Zeit.

**SCHIEDT&BACHMANN**

Scheidt & Bachmann GmbH  
 Breite Straße 132  
 41238 Mönchengladbach  
 Germany  
 Phone ++ 49-(0) 21 66/266-0  
 Fax ++ 49-(0) 21 66/266-475  
 Internet [www.scheidt-bachmann.de](http://www.scheidt-bachmann.de)  
 e-mail [signaltechnik@scheidt-bachmann.de](mailto:signaltechnik@scheidt-bachmann.de)

INNOVATIV - ZUVERLÄSSIG - SICHER - WARTUNGSFREI

| Variante          | Mittlere individuelle Abschnittsgeschwindigkeit während Annäherung an BÜ                 | Mittleres individuelles Geschwindigkeitsmaximum während Annäherung an BÜ | Ort des Mittleren individuellen Geschwindigkeitsmaximums während Annäherung an BÜ (relativ zu BÜ) | Mittleres individuelles Geschwindigkeitsminimum während Annäherung an BÜ | Ort des Mittleren individuellen Geschwindigkeitsminimums während Annäherung an BÜ (relativ zu BÜ) |
|-------------------|--|--|---|--|---|
| <b>Standard</b>   | 71,5 km/h  | 83,7 km/h  | 325,0 m   | 47,0 km/h  | 85,4 m  |
|                   | p-Wert des Signifikanztests auf Unterschiede zu Standard-BÜ (t-Test für abhängige Daten) |  |   |  |   |
| <b>Kurvenlage</b> | 71,2 km/h<br>p = 0,405   | 90,0 km/h<br>p < 0,001   | 404,2 m<br>p < 0,001  | 36,6 km/h<br>p < 0,001   | 43,8 m<br>p = 0,014   |
| <b>Blinklicht</b> | 70,0 km/h<br>p = 0,079   | 82,9 km/h<br>p = 0,260   | 407,5 m<br>p < 0,001  | 48,0 km/h<br>p = 0,293   | 83,8 m<br>p = 0,464   |
| <b>Markierung</b> | 69,4 km/h<br>p = 0,021   | 82,5 km/h<br>p = 0,125   | 362,9 m<br>p = 0,010  | 45,6 km/h<br>p = 0,282   | 74,8 m<br>p = 0,293   |

**Tab. 1:** Unterschiede im mittleren individuellen Geschwindigkeitsverhalten zwischen den untersuchten BÜ (Mittel der Kennwerte der individuellen Verläufe von N = 48 Versuchspersonen im Bereich ab 550 m vor BÜ)

Reihenfolge befahren (t-Test, N = 24 je Gruppe,  $p_{\text{Kurve}} = 0,179$ ,  $p_{\text{Blink}} = 0,278$ ,  $p_{\text{Markierung}} = 0,179$ ). Als signifikanzkritisch wird ein Wahrscheinlichkeitswert  $p < 0,05$  angesehen [7]; Grundlage inferenzstatistischer Tests wie hier angewendet sind personenbezogene (individuelle) Werte in Gegenüberstellung von Gruppen bzw. BÜ-Varianten. Im Ergebnis zeigt sich kein Reihenfolgeeffekt. Als Konsequenz daraus können die Geschwindigkeitswerte aller Versuchsteilnehmer bezüglich einer bestimmten BÜ-Variante gemeinsam betrachtet werden. Signifikante Unterschiede im Fahrverhalten zeigen sich zwischen dem Standard-BÜ und den Gestaltungsvarianten (Tab. 1). Wie aus den querschnittbezogenen Verläufen oben bereits zu vermuten ist, liegen die größten Unterschiede zwischen Standard-BÜ und der Variante in Kurvenlage vor. In Letzterer ist die mittlere maximale Geschwindigkeit in Annäherung signifikant höher. Sie wird jedoch im Mittel in signifikant größerer Entfernung zum BÜ erreicht. Das spricht für einen deutlich früheren Verzögerungsbeginn. Die individuellen minimalen Geschwindigkeiten zeigen ein dazu konsistentes Bild defensiverer Fahrweise bei Kurvenlage. Sie sind gegenüber Standard-BÜ im Mittel um

10,4 km/h geringer und werden individuell signifikant früher vor dem BÜ erreicht. Im individuellen Geschwindigkeitsmittel der gesamten Annäherung besteht jedoch kein signifikanter Unterschied (t-Test, N = 48,  $p = 0,405$ ).

Ein signifikanter Unterschied in der mittleren individuellen Abschnittsgeschwindigkeit besteht zwischen Standard-BÜ und der Variante mit Markierung, bei der diese Geschwindigkeit reduziert ist. Gleichzeitig zeigt sich eine signifikante Vorverlagerung des Abschnittsmaximums der Geschwindigkeit in Relation zum BÜ, während sich die Höhe des Maximums sowie Lage und Höhe der minimalen Geschwindigkeit nicht signifikant unterscheiden. Dies belegt einen signifikant früheren Verzögerungsbeginn durch die zusätzliche Markierung. Dieser Effekt tritt ebenfalls hoch signifikant und dabei in noch größerem Maße bei der Variante mit Blinklicht auf. Hier liegen der Ort des Geschwindigkeitsmaximums und damit der mittlere Verzögerungsbeginn noch weiter vom BÜ entfernt. Signifikante Unterschiede in den anderen Geschwindigkeitskennwerten bestehen zwischen der Variante mit Markierung und dem Standard-BÜ nicht.

## Ergebnisse zum Blickverhalten

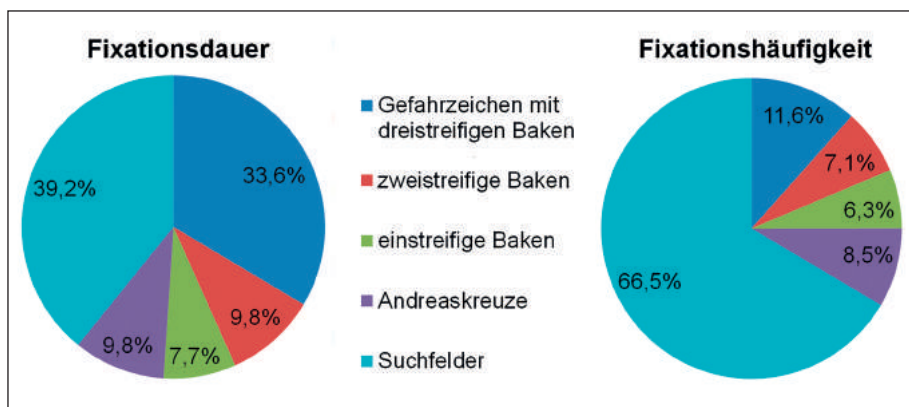
Für die Auswertungen zum Blickverhalten standen die vollständigen Blickdaten der Simulatorfahrten von elf Versuchspersonen zur Verfügung. Im Sichtbarkeitsbereich der vier betrachteten BÜ hat die Datengrundlage dabei den Umfang von 978 Fixationen – d.h. diskreten Blickzuwendungen – auf BÜ-Elemente mit einer Gesamtbetrachtungsdauer von 471 Sekunden. Damit erfolgten im Mittel pro Versuchsperson und BÜ etwa 22 Blickzuwendungen mit einer Gesamtdauer von ca. 10,7 Sekunden.

Die Elemente der BÜ wurden im Mittel unterschiedlich intensiv betrachtet (Abb. 9), die mögliche Gefahr des vollständigen Übersehens eines BÜ kann zumindest für die Untersuchungssituation ausgeschlossen werden. Alle Versuchspersonen haben bei jedem BÜ mehrere BÜ-Elemente angesehen.

Abb. 9 zeigt, dass vor allem der erste Hinweis auf den BÜ – Gefahrzeichen mit dreistreifigen Baken – einen recht großen Anteil der Gesamtbetrachtungsdauer aller BÜ-Elemente einnimmt (linkes Diagramm), wobei diese Betrachtung in wenigen Blicken erfolgt (rechtes Diagramm). Die Betrachtung der nachfolgenden BÜ-Verkehrszeichen erfolgt deutlich reduziert sowohl in Häufigkeit als auch Dauer. Der absolut und relativ größte Teil der Aufmerksamkeit wird während der Annäherung den Suchfeldern entlang der Bahnstrecke links und rechts der Fahrbahn gewidmet. Dieses Aufmerksamkeitsverhalten deckt sich gut mit dem bestehenden Informationsbedarf der Fahrer: Während nach grundsätzlichem Erkennen der BÜ-Situation anhand der Gefahrzeichen mit dreistreifigen Baken offensichtlich kaum ein Informationszuwachs aus den nachfolgenden Zeichen zu erwarten ist (Charakter von „Kontrollblicken“), besteht die größte Unsicherheit um den Umstand einer Zugfahrt.

Insgesamt für alle BÜ-Elemente gleichermaßen zeigt sich eine starke Dominanz der Blickzuwendungen zu den Bereichen rechts der Fahrbahn. Etwa zwei Drittel der Blicke als auch der Blickdauer treffen die Verkehrszeichen und Suchfelder auf der rechten Seite.

Vor der inferenzstatistischen Bewertung der Unterschiede zwischen BÜ-Varianten muss auch im Rahmen der Blickdaten die Frage möglicher Reihenfolgeunterschiede beantwortet werden, damit alle Versuchspersonen gemeinsam betrachtet werden dürfen. Die diesbezügliche statistische Prüfung ergab ein ablehnendes und damit positives Ergebnis, d.h. es kam nicht zu häufigeren Blickzuwendungen auf eine BÜ-Variante in einer der beiden Befahrungsreihenfolgen (Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon [8]: N = 5,  $x \leq 1$ ,  $p = 0,188$ ).



**Abb. 9:** Relative Verteilung des Blickverhaltens auf die BÜ-Elemente

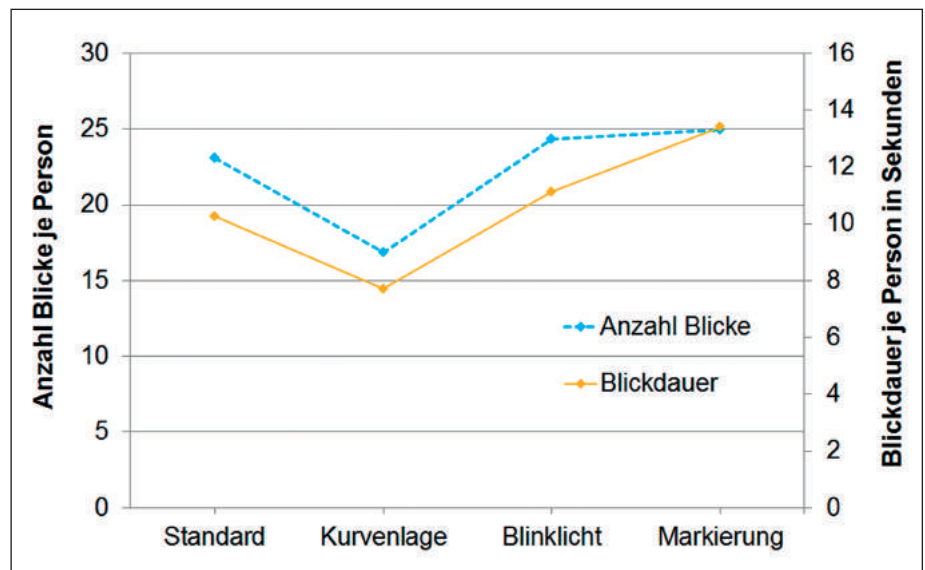


Die Betrachtungen zum Geschwindigkeitsverhalten hatten Unterschiede zwischen den untersuchten BÜ-Varianten gezeigt (siehe oben). Auch in der Blickzuwendung sind Unterschiede vorhanden, wie aus Abb. 10 hervorgeht.

Die deutlich geringere Blickzuwendung bei der Variante in Kurvenlage ist sowohl hinsichtlich Blickdauer als auch Häufigkeit signifikant (Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon [8]:  $N = 11$ ,  $p = 0,032$  bzw.  $p = 0,007$ ). Sie kann zweifelsfrei durch die geringere Sichtbarkeitsdauer der BÜ-Elemente erklärt werden und belegt damit die Wirksamkeit dieser experimentellen Variation im Simulator. In den beiden anderen Varianten zeigt sich bei geometrisch identischen Bedingungen deskriptiv eine leicht intensivere generelle Blickzuwendung auf alle BÜ-Elemente verglichen zum Standard-BÜ. Von den Unterschieden unterschreitet jedoch einzig die längere Blickdauer der Markierungsvariante die Signifikanzschwelle (Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon:  $N = 11$ ,  $p = 0,016$ ). Die Signifikanz des Unterschiedes verschwindet, wenn die Blickzuwendung auf die bei den anderen BÜ-Varianten nicht vorhandene Markierung ausgeklammert wird. Im Mittel wurde die Markierung auf der Fahrbahn von den Probanden mit ein bis zwei Blicken angeschaut. Somit kann auf Basis der gesamten Blickzuwendung zu allen BÜ-Elementen nicht von einer signifikanten generellen Aufmerksamkeitssteigerung durch die präsentierten Varianten mit zusätzlichen Elementen gesprochen werden.

In einem weiteren Schritt wurde die Aufmerksamkeit auf einzelne BÜ-Elemente genauer betrachtet. Für die Sicherheit am nichttechnisch gesicherten BÜ ist das Blickverhalten bezüglich der Suchfelder von besonderer Bedeutung. Dabei zeigt sich der Aufmerksamkeitseffekt der Markierungsvariante ebenfalls. Während am Standard-BÜ im Mittel 15 Blicke mit einer Dauer von 3,6 Sekunden den Suchfeldern zuzuordnen waren, stiegen diese Zahlen beim BÜ mit Zusatzmarkierung signifikant auf 17 Blicke und 4,6 Sekunden (Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon:  $N = 11$ ,  $p = 0,049$ ). Die Blickzuwendung zum ersten BÜ-Element – Gefahrzeichen mit dreistreifigen Baken – zeigt Tab. 2.

Zunächst ist ein gegenüber den Suchfeldern anderes Blickverhalten an den ersten Baken ersichtlich. Während sich beispielsweise am Standard-BÜ die Betrachtungsdauern zwischen Suchfeldern und erster Bake nicht unterscheiden (jeweils 3,6 Sekunden), sind in dieser Zeitspanne im Mittel etwa drei bis vier Blicke auf die Bake, jedoch 15 Blicke in den Suchfeldern enthalten. Hierin zeigt sich der objektiv vorhandene Größenunterschied zwischen



Abbi. 10: Durchschnittliche summierte Häufigkeit und Dauer der Blickzuwendung je Person auf alle BÜ-Elemente einschließlich Suchfelder

| BÜ-Variante                    | Standard | Kurvenlage           | Blinklicht           | Markierung           |
|--------------------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Blickhäufigkeit (Mittelwert)   | 3,3      | 1,4<br>$p < 0,001$   | 3,7<br>$p = 0,289$   | 1,6<br>$p = 0,005$   |
| Betrachtungsdauer (Mittelwert) | 3,6 s    | 2,6 s<br>$p = 0,032$ | 4,6 s<br>$p = 0,293$ | 2,2 s<br>$p = 0,036$ |

Tab. 2: Blickzuwendung zum ersten BÜ-Element (Gefahrzeichen mit dreistreifigen Baken) und Testergebnisse auf Unterschied zum Standard-BÜ (Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon,  $N = 11$ )

weit ausgedehnten Suchfeldern und eng umrissenen Verkehrszeichen. Während es beim Verkehrszeichen eher um die Erkennbarkeit des Inhaltes auf größere Entfernungen geht und die Blickzuwendung eher einem Lesen ähnelt, ist das Aufmerksamkeitsziel im Suchfeld das Detektieren einer vermuteten Zugfahrt. Dafür werden viel mehr Blicke deutlich kürzerer Dauer an unterschiedlichen Orten benötigt.

Auf das eher lesende Blickverhalten bezüglich des ersten BÜ-Elements haben die Gestaltungsvarianten umfangreichen Einfluss. So sind sowohl Blickhäufigkeit als auch Blickdauer bei den Varianten in Kurvenlage und mit Markierung signifikant gegenüber dem Standard-BÜ verringert. Bei der Kurvenlage könnten die geometrisch bedingt kürzere Sichtbarkeitsdauer sowie die gegenüber der Geradeausstrecke erhöhte Anforderung der Spurhaltung diese Wirkung erklären. Bei der Markierung könnte es sich um einen Effekt konkurrierender Aufmerksamkeits-elemente handeln. Diejenige Blickzuwendungszeit, die der Markierung gewidmet wurde, ging offensichtlich von der Betrachtungszeit der Gefahrzeichen und Baken ab. Rein inhaltlich handelt es sich um mehr oder weniger redundante Informationen, so dass daraus kaum ein Sicherheitsnachteil erwachsen dürfte.

Schließlich ist die Blickzuwendung auf die Gefahrzeichen mit Baken und zusätzlichem

Blinklicht interessant. Hierbei kam es im Mittel zu einer Intensivierung der Blickzuwendung sowohl in Häufigkeit als auch Dauer. Diese Unterschiede wiesen im Test jedoch beide keine Signifikanz auf. Dies kam vor allem deshalb zustande, weil drei der elf Versuchspersonen praktisch gar nicht auf die Baken mit Blinklicht schauten, während die übrigen acht Personen diese deutlich intensiver als beim Standard-BÜ betrachteten. Eine inhaltliche Erklärung zumindest für das bei den meisten Personen intensivere Betrachten des Blinklichtes ergibt sich aus den Ergebnissen der Nachbefragung. Dabei zeigte sich, dass rund 55% der Probanden von der Gestaltungsvariante mit Blinklicht irritiert waren, weil sie einen Zug erwarteten. Bei den anderen Varianten wurde dies hingegen von höchstens 4% der Probanden angegeben.

### Diskussion

Zunächst ist festzuhalten, dass sämtliche Gestaltungsvarianten im Vorfeld der BÜ zu einer deutlichen Verringerung der mittleren Geschwindigkeit und einer sehr intensiven Blickzuwendung auf die Elemente des BÜ, insbesondere auf die ersten Gefahrzeichen mit Baken und die Suchfelder, führten. Dies muss auf die ankündigenden Verkehrszeichen im Zusammenhang mit der Erwartung einer Zugfahrt zurückzuführen gewesen sein, da die BÜ aus der betreffenden Entfernung selbst noch nicht erkennbar waren

und die Probanden weder den Streckenverlauf kannten noch über Erfahrungen zur Auftretenswahrscheinlichkeit von Zugfahrten verfügten.

Die beiden Gestaltungsvarianten Blinklicht und Markierung erzielten sowohl in Geschwindigkeitsverhalten als auch Blickzuwendung moderate Auswirkungen, die sich vor allem auf den Beginn der Verzögerung und die Aufmerksamkeitslenkung zum Ort ihrer Positionierung bezogen. In abgeschwächtem Maße zeigten sich Wirkungen hinsichtlich des Suchverhaltens. Wesentlich stärker als die verkehrstechnische Gestaltung wirkten sich allerdings die Trassierung (Kurvenlage) und damit einhergehende Sichtverhältnisse sowohl auf das Geschwindigkeitsverhalten als auch die Blickparameter aus. Bei entsprechender eingeschränkter Sicht auf die Bahnstrecke zeigten praktisch alle Geschwindigkeitsparameter ein defensiveres Fahren als bei unbehinderter Sicht; der Umfang der Blickzuwendung ist dabei hoch signifikant reduziert. Dieser Effekt ist bereits aus anderen Studien bekannt und wird mit einer Strategie der Risikokompensation der Fahrer erklärt: Bei spät zu erlangender Sicht auf die Bahnstrecke wird langsamer gefahren, damit gegebenenfalls noch angehalten werden kann [5, 6].

Eine über den vorliegenden Untersuchungsgegenstand hinausgehende Bedeutung haben möglicherweise die beiden übergreifenden Befunde zur Aufmerksamkeitszuwendung auf BÜ-Elemente. Die starke Beachtensdominanz der Elemente auf der rechten Seite könnte ein untersuchungstechnisches Artefakt sein, da der zur Illustration eingesetzte Zug am ersten BÜ diesen von rechts nach links befuhr. Die große Konstanz der eventuell teilweise darauf gründenden Blick- und Suchtendenz könnte jedoch auch Anlass zu Überlegungen hinsichtlich typischer Erwartungshaltungen von Fahrern über die Richtung von Zugfahrten an bestimmten ihnen vermeintlich bekannten BÜ sein. Für beidseitig aufgestellte Verkehrszeichen ist in erster Näherung kein relevanter Sicherheitsnachteil der vermehrten Betrachtung der rechts aufgestellten Zeichen abzuleiten.

Schließlich geben die Ergebnisse zum durchschnittlichen Blickverhalten auf die verschiedenen BÜ-Elemente Anlass für weitergehende Überlegungen. Insbesondere legen sie eine stärker informationsbezogene Sichtweise aus der Perspektive des Kraftfahrzeugführers und seiner Fahraufgabe nahe. Die in der Untersuchung relativ zu anderen Elementen sehr geringe Aufmerksamkeitszuwendung zu den zwei- und einstreifigen Baken sowie zu den Andreaskreuzen bedeutet möglicherweise eine weniger offensichtliche, dabei aber keineswegs abwesende Bedeutsamkeit dieser Elemente. Der über

alle BÜ-Varianten und die meisten Fahrer recht ähnliche abnehmende Geschwindigkeitsverlauf während der Annäherung an den BÜ dürfte durchaus bedeutsam vom Vorhandensein sichtbarer Hinweise abhängig sein.

Weiterführend wäre möglicherweise eine verstärkte Fokussierung auf das im Einzelfall einer bestimmten BÜ-Gestaltung notwendige Geschwindigkeits- und Aufmerksamkeitsverhalten aussichtsreich. So etwa die Frage, anhand welcher Ankündigungs- und Ausstattungsvarianten nichttechnisch gesicherter BÜ den Fahrern sicheres Verhalten am besten nahegebracht werden kann, ohne dabei unnötige Reaktanz, d.h. Abwehrreaktion, zu erzeugen. Dabei könnte es etwa um die Art der sicheren und rechtzeitigen Vermittlung von Informationen über Sichtverhältnisse oder auch – wie oben angesprochen – die beidseitige Erwartung von Zugfahrten gehen.

## Schlussfolgerungen

Die Art der Ankündigung von BÜ beeinflusst das Geschwindigkeits- und Blickverhalten der Kraftfahrer. Hinsichtlich der konkreten verkehrstechnischen Gestaltung lassen die Ergebnisse allerdings noch keine klare Empfehlung zu. Sowohl zusätzliche gelbe Blinklichter über den Gefahrzeichen als auch die zusätzliche Markierung des Gefahrzeichens auf der Fahrbahn zeigten in einigen Bereichen signifikant günstige Wirkungen. Zu beiden Varianten sollten deshalb weitere Studien als Simulations- und Feldversuche durchgeführt werden. Zu berücksichtigen wird dabei neben dem starken Einfluss der Sichtverhältnisse am BÜ auch die mit dem Blinklicht möglicherweise vorhandene Zusatzbedeutung als aktives Element sein, das im subjektiven Verständnis einiger Fahrer offensichtlich in Verbindung mit der erwarteten Annäherung einer Zugfahrt steht.

Aus methodischer Sicht zeigte die Studie, dass sich der verwendete Fahr Simulator grundsätzlich zur Untersuchung des Geschwindigkeits- und Blickverhaltens an BÜ eignet. Trotz einer angesetzten Fahrdauer von nur 30 Minuten konnten ausreichend BÜ für Variantenvergleiche simuliert werden. Die dabei erzielten Ergebnisse waren weitgehend plausibel, wenn auch die Absolutwerte nicht im gleichen Umfang belastbar sein dürften wie die relativen Unterschiede. Da sich Langzeitstudien im Fahr Simulator mit vertretbarem Aufwand allerdings kaum realisieren lassen und Gewöhnungseffekte somit nicht betrachtet werden können, empfiehlt sich der Einsatz in erster Linie für Vorstudien zur Identifikation potenziell geeigneter Maßnahmen.

## LITERATUR

- [1] Transportation Research Board – National Research Council (Herausgeber): Traffic-Control Devices for Passive Railroad-Highway Grade Crossings, Washington D.C., 2002
- [2] Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367)
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung vom 26. Januar 2001 (BAnz. S. 1419, 5206), zuletzt geändert am 17.07.2009 (BAnz. Nr. 110, S. 2598)
- [4] Schulz, R.: Blickverhalten und Orientierung von Kraftfahrern auf Landstraßen, Dissertation, TU Dresden, 2012
- [5] Ward, N. J.; Wilde, G. J. S.: Driver approach behaviour at an unprotected railway crossing before and after enhancement of lateral sight distances, in: Safety Science 22 (1996), S. 63–75
- [6] Schöne, E.; Buder, J.: Einsatz von Stoppschildern an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen, in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 03/2011, S. 25–29
- [7] Schäfer, Th.: Inferenzstatistik, Wiesbaden, 2011
- [8] Bortz, J.; Liernert, G. A.: Kurzgefasste Statistik für die Klinische Forschung, Heidelberg, 3. Auflage 2008



**Dr.-Ing. Eric J. Schöne**

Leiter des Eisenbahnbetriebslabors TU Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“  
eric.schoene@tu-dresden.de



**Dipl.-Psych. Dipl.-Ing. Christoph Schulze**

wissenschaftlicher Mitarbeiter, TU Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Professur für Verkehrspsychologie  
christoph.schulze@tu-dresden.de



**Dipl.-Ing. Maxim F. Wöllmann**

Verkehrsbauplaner  
PlanIQ GmbH, Dresden  
maxim.woellmann@planiq.de

## Summary

### Speed and concentration at railway level crossings without technical protection

A recent study made by Dresden Technical University has investigated the driving behaviour of road users at railway level crossings that have no technical protection. A driving simulator reproducing four different design alternatives for the announcement of level crossings on a 28 km test road was used. Registered parameters were the speed diagram and the gaze behaviour. As a result it could be established that as well an additional marking on the road as an additional flashing light above the announcing traffic signs are promising approaches which should be further investigated. Furthermore the driving simulator proved to be an appropriate solution to analyse the driving behaviour at different railway level crossing layouts.



# Transportlösungen

Immer wenn es darauf ankommt, hat Thales die richtige Antwort

**ZUFRIEDENE FAHRGÄSTE**  
Reiseinformationen in Echtzeit  
und höchste Fahrgastsicherheit

**BETRIEBSEFFIZIENZ**  
Gewährleistung eines optimalen  
Netzwerkmanagements mit minimalen Investitionen

**SICHERER BETRIEB**  
Automatisierung von Entscheidungsprozessen  
zur Vermeidung menschlicher Fehler

**NETZAUSLASTUNG**  
Optimierte betriebliche Abläufe durch  
automatisierte Leit- und Sicherungstechnik

**NAHTLOSES REISEN**  
Einheitliche Fahrkartensysteme  
für alle Transportmittel

**GESICHERTE EINNAHMEN**  
Innovative Lösungen für  
Ticketing-Management

Im Bereich Transport werden jeden Tag Millionen von kritischen Entscheidungen getroffen. Die Fähigkeit, Netzwerke sicher und effizient zu betreiben, ist entscheidend für wirtschaftliches Wachstum und Lebensqualität. Thales steht dabei im Mittelpunkt. Wir entwerfen, entwickeln und liefern Anlagen, Systeme und Services und stellen damit Komplettlösungen bereit. Unsere integrierten, intelligenten Technologien geben Entscheidungsträgern die Informationen und die Kontrolle, die sie brauchen, um in kritischen Umgebungen effektiver zu reagieren. Überall und gemeinsam mit unseren Kunden machen wir den Unterschied.



**THALES**  
Together • Safer • Everywhere