

Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhalte- und Lenkmaße im Kontext der Fahrsimulation

GWENDOLIN KNAPPE¹, ANDREAS KEINATH¹ & CRISTINA MEINECKE²

¹*BMW Group Forschung und Technik*

²*Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg*

Schlüsselwörter: Fahrsimulation, Spurhalte- und Lenkmaße

1. Einleitung

Die Entwicklung von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen im Automobilbereich findet in einem gewissen Spannungsfeld statt. Auf der einen Seite sollen derartige Systeme den Fahrkomfort erhöhen, auf der anderen Seite muss die eigene Sicherheit und die der anderen Verkehrsteilnehmer gewährleistet sein. Während ihrer Entwicklung ist folglich eine ständige Bewertung dieser Systeme hinsichtlich der oben genannten Anforderungen notwendig.

Dem Entwickler steht für eine solche Bewertung eine breite Methodenpalette zur Verfügung (vgl. Breuer, Bengler, Heinrich & Reichelt, 2003). Die Methoden unterscheiden sich erheblich in Zeit- und Kostenaufwand. Je nach Reifegrad des Systems geben anfangs bereits Cognitive Walkthroughs mit Hilfe von Zeichnungen Aufschluss darüber, ob sich der Entwicklungsprozess in die gewünschte Richtung bewegt. Im weiteren Entwicklungsverlauf bieten sich mehr oder weniger komplexe Fahrsimulatoren für eine solche Bewertung an. Am Ende des Entwicklungsprozesses steht dann der am zeit- und kostenaufwändigste Test – reale Fahrten unter realen Bedingungen oder auf einer Teststrecke.

Im Kontext von Fahrsimulationsuntersuchungen werden für eine objektive Systembewertung unter anderem Spurhalte- und Lenkmaße herangezogen. Für eine gute Interpretierbarkeit der Ergebnisse einer Untersuchung, sowie für eine vergleichende Ergebnisbetrachtung über mehrere Untersuchungen hinweg, ist eine genaue Kenntnis der Aussagekraft und der Grenzen dieser Maße unerlässlich.

2. Untersuchungsmethode Fahrsimulation

Der Fahrsimulator stellt eine Methode dar, die zwischen den Polen Einfachmethoden, wie beispielsweise erste Befragungen anhand von Konzeptzeichnungen, und Realfahrt zur Überprüfung der Bedienfreundlichkeit und Ablenkungswirkung von neuen Systemen steht. Wie hoch der Zeit- und Kostenaufwand einzuschätzen ist, bestimmt sich danach, welche Art von Simulator zum Einsatz kommt. Je nach Fragestellung können die Anforderungen an den Simulator stark variieren. Die folgenden Ausführungen sind an Evans (2004) angelehnt. Simulatoren beginnen bei statischen Aufbauten, die aus einem Computermonitor mit Spielelenkrad, Gas- und Bremspedal und Stuhl bestehen. Die nächste Stufe stellt einen statischen Aufbau dar, der ein wesentlich größeres Sichtfeld beinhaltet und bei dem der Proband bereits in einer sog. Sitzkiste, also einem Auto bzw. Automodell sitzt. Eine genaue Kategorisierung von statischen Fahrsimulatoren ist jedoch schwierig, da die Übergänge fließend sind.

Die aufwändigste und beeindruckendste Variante stellt zweifellos ein dynamischer Simulator dar. Dieser verfügt über eine Sitzkiste und ein großes Sichtfeld. Außerdem ist er in der Lage in gewissen Ausmaßen Flieh- und Beschleunigungskräfte eines Fahrmanövers zu simulieren (vgl. beispielsweise Huesmann, Ehmanns & Wisselmann, 2006).

Der Einsatz von Fahrsimulatoren bringt gewisse Vor- und Nachteile mit sich, die ebenfalls bei der Verwendung der Methode berücksichtigt werden sollten. Zunächst einmal lassen sich potenziell gefährliche Szenarien in einem Fahrsimulator gefahrungsfrei für den Fahrer realisieren. Seltene Ereignisse können problemlos durch Konfiguration entsprechender Verkehrssituationen repliziert werden. Verglichen mit einer Versuchsstrecke ist der Platzbedarf als eher gering einzustufen. Ein ebenfalls wichtiger Punkt aus Versuchsplanungssicht ist die beliebig häufige und exakte Wiederholbarkeit einzelner Verkehrssituationen und die damit verbundene hohe Effizienz der Versuchsdurchführung. Störende Einflussgrößen auf die Versuchsfahrten, wie Wetteränderungen oder Unterschiede hinsichtlich der Lichtverhältnisse aufgrund der Tageszeit müssen bei der Versuchsplanung nicht berücksichtigt werden. Alle Versuchsfahrten zeichnen sich somit durch eine hohe Vergleichbarkeit aus. Auch die Realisierung von stärkerem Fremdverkehrsaufkommen ist im Vergleich zu Fahrten auf Teststrecken weniger aufwändig.

Ein nicht zu vernachlässigendes Problem beim Einsatz eines Fahrsimulators stellt jedoch der Ausfall von Probanden aufgrund von Simulatorübelkeit dar. Einen guten Überblick über das Themengebiet Simulatorübelkeit findet sich bei Barret (2003). Diese Übelkeit tritt bei statischen Simulatoren auf, wenn die jeweilige Versuchsperson nicht damit zurecht kommt, dass sie ein sich bewegendes Bild betrachtet, das bis zu einem gewissen Grad das Gefühl vermittelt, dass sich die Versuchsperson selbst auch bewegt, wobei sie selbst still sitzt. Auch bei dynamischen Simulatoren kann diese Art der Übelkeit auftreten, wenn das gezeigte Fahrscenario mit dem Bewegungsmuster des Simulators nicht exakt übereinstimmt. Nach eigenen Erfahrungen muss deshalb mit einer Ausfallrate zwischen fünf und zehn Prozent gerechnet werden. Wird eine derartige Ausfallrate von vornherein bei der Versuchsplanung berücksichtigt, lässt sich dieses Problem leicht beheben.

Als Bewertungsgrundlage von Fahrerassistenz- und Informationssystemen im Kontext der Fahrsimulation werden objektiv erfassbare Größen herangezogen, aus denen

sich dann einzelne Spurhalte- bzw. Lenkmaße, wie beispielsweise die Anzahl der Spurüberschreitungen berechnen lassen. Darauf soll im nächsten Abschnitt ausführlicher eingegangen werden. An dieser Stelle ist jedoch festzuhalten, dass sich diese Maße im Simulator im Vergleich zur Realfahrt unterscheiden. Eine Validierungsstudie des eingesetzten Fahrtrainers ist unerlässlich, wenn aufgrund von Fahrtrainersuntersuchungen Prognosen für Realfahrten gemacht werden sollen (vgl. beispielsweise Blana & Golias, 1999; Blana, 1996).

Die Erfassung der relevanten Messgrößen erfordert im Simulator keine so komplizierten Sensoren wie bei Realfahrten. Aus diesem Grund ist die Datenaufzeichnung bei Simulatorversuchen in der Regel robuster als bei Realfahrten, was es ermöglicht, viele verschiedenen Messgrößen genau zu erfassen. Anhand dieser Messgrößen können verschiedene Maße, welche die Spurhaltequalität beschreiben, berechnet und im Zusammenhang analysiert werden.

3. Spurhaltequalität

Die Spurhaltung stellt einen grundlegenden Teil der Fahraufgabe dar. Sie bildet beispielsweise in Michon's hierarchischem Modell (Michon, 1985) die unterste Ebene. Die zur Spurhaltung benötigten motorischen und kognitiven Prozesse laufen weitgehend automatisiert ab. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Spurhalte- und Lenkmaße sensitiv auf verschiedene Arten der Ablenkung, wie zusätzliche Tätigkeiten während der Fahraufgabe reagieren (vgl. beispielsweise Zwahlen, Adams & DeBald, 1988). Somit bieten sie sich auch für die Beurteilung des Grades der Ablenkung des Fahrers durch neue Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme an.

Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich mit einer Auswahl von Spurhaltemaßen. Anhand verschiedener Spurhaltemaße soll aufgezeigt werden, wo die Stärken und Schwächen einzelner Maße liegen und was bei ihrer Verwendung beachtet werden sollte. Diese Übersicht dient damit als Leitfaden für eine ökonomische Auswahl und Betrachtung von Maßen zur Beschreibung der Spurhaltequalität.

Bei den Messgrößen zur Spurhaltequalität kann zwischen Spurhaltemaßen und Lenkmaßen unterschieden werden. Spurhaltemaße beziehen sich auf die Position des Fahrzeugs innerhalb der Fahrbahn bzw. der eigenen Spur. Lenkmaße beschreiben das Lenkverhalten des Fahrers.

Gegenstand dieses Artikels sind auf Seiten der Spurhaltemaße die „Mittlere Laterale Position“, die „Standardabweichung der Lateralen Position“, die „Time to Line Crossing“, sowie die „Spurüberschreitungen“. An Lenkmaßen werden die „Standardabweichung des Lenkwinkels“, die „Nulldurchgänge des Lenkwinkels“, die „Steering Wheel Reversal Rate“ und der „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ betrachtet. Abgesehen von den „Nulldurchgängen des Lenkwinkels“ und dem „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ sind alle Maße gemäß DIN EN ISO 17287 (2003) relevant für die Beurteilung von Fahrerablenkung hervorgerufen durch Fahrereinforma-tions- und -assistenzsysteme.

3.1 Spurhaltemaße

3.1.1 Mittlere Laterale Position (MLP)

Die MLP bestimmt sich aus dem Mittelwert aller gemessenen Abstände eines fixen Bezugspunktes des Fahrzeugs vom linken oder rechten Spurrand. Bei dem Bezugspunkt kann es sich um den Fahrzeugmittelpunkt handeln, genauso gut ist aber auch das rechte oder linke Vorderrad möglich. Bei bekannter Spurbreite und Fahrzeugbreite ist es ein Leichtes, dieses Maß auf den jeweiligen anderen Bezugspunkt umzurechnen, falls es notwendig sein sollte, einen Vergleich über mehrere Untersuchungen mit unterschiedlichen Bezugspunkten vorzunehmen. Die MLP verfügt über eine gewisse Sonderstellung innerhalb der betrachteten Maße, da sie als einzige Auskunft über die generelle Fahrstrategie des Fahrers gibt und nicht so sehr den Schwerpunkt auf Fahrfehler und Unsicherheiten bei der Spurhaltung legt. Bei de Waard, Steyvers und Brookhuis (2004) finden sich zudem Hinweise, dass die MLP auch von der Fahrgeschwindigkeit abhängt.

Die Frage bei der Interpretation von MLP-Werten im Kontext eines Experiments bezieht sich folglich erst einmal darauf, ob ein neues System eine Strategieänderung bewirkt. Handelt es sich bei dieser Änderung beispielsweise auf der rechten Fahrspur um eine stärkere Ausrichtung zum rechten Fahrbahnrand hin, spricht das zunächst einmal für eine eher unkritische Reaktion auf ein System. Erst wenn aufgrund der Einführung eines neuen Systems extreme Werte auftreten, beispielsweise eine zu nahe Ausrichtung an einer Spurmarkierung, kann die MLP direkt im Sinne eines Fahrfehlers interpretiert werden. Eine solche Strategie bedeutet, dass sich die Auftretenswahrscheinlichkeit für bestimmte andere Fahrfehler erhöht.

Zusätzlich muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass größere interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Fahrstrategie auftreten können. Deshalb würde sich für dieses Maß auch eine Betrachtung im Sinne der Steering Entropy anbieten (vgl. Nakayama, Futami, Nakamura & Boer, 1999). Hier steht ebenfalls keine absolute Fehlerbetrachtung im Vordergrund. Vielmehr wird die durch Fahrerinformations- und -assistenzsysteme hervorgerufene Veränderung der Messwerte im Vergleich zu einer Basisfahrt für die Berechnung des Maßes herangezogen.

Für einen Fahrer, der sich lediglich auf die eigentliche Fahraufgabe konzentriert und sich dabei schon sehr nah am rechten oder auch linken Spurrand orientiert, ist eine weitere Ausrichtung nach rechts durch Bedienung während des Fahrens sicherlich kritischer als für jemanden, der ohne Bedienung absolut mittig fährt. Für die Beurteilung neuer Systeme könnten somit gerade Fahrer mit einer stärkeren Ausrichtung an einer der beiden Spurmarkierungen interessant sein, da für diesen Personenkreis Ablenkungen von der eigentlichen Fahraufgabe schneller zu einer Spurüberschreitung und damit zu einer kritischen Fahrsituation führen können.

3.1.2 Standardabweichung der Lateralen Position (SDLP)

Die SDLP bestimmt sich aus der Standardabweichung aller gemessenen Abstände vom Mittelpunkt des Fahrzeugs zum linken oder rechten Spurrand. Da in die Berechnung der Standardabweichung der Mittelwert und die quadrierten Abweichungen von diesem Mittelwert eingehen, ist es für einen Vergleich von Untersuchungen mit wechselnden Bezugspunkten nicht von Bedeutung, ob der linke oder rechte Spurrand als Bezugspunkt gewählt werden. Selbst wenn der Fahrzeugsbezugspunkt nicht die

Mitte des Fahrzeugs sein sollte, sondern beispielsweise das rechte Vorderrad, lässt sich dieses Maß auch noch über Versuche hinweg vergleichen. Anders als die MLP lässt die SDLP direkt Rückschlüsse auf Fahrerablenkung zu. Je größer dieses Maß ausfällt, desto größer sind die Abweichungen von der selbst gewählten „Ideallinie“ - repräsentiert durch die MLP. Nimmt die SDLP sehr hohe Werte an, steigt auch die Wahrscheinlichkeit für eine Spurüberschreitung (siehe nächster Abschnitt). Vor diesem Hintergrund ist der Ansatz, Fehler in Abhängigkeit der Höhe der SDLP zu definieren, durchaus erfolgsversprechend. Aufgrund der Tatsache, dass sich die SDLP sehr einfach berechnen lässt und an keine großen technischen Voraussetzungen gebunden ist, wird sie in vielen Untersuchungen eingesetzt. Bei einem Vergleich absoluter Werte ist die Vergleichbarkeit der Versuchsszenarien entscheidend. Nur wenn gefahrene Geschwindigkeit und Kurvigkeit der Strecke annähernd vergleichbar sind, lässt sich sicherstellen, dass gefundene Unterschiede in der SDLP tatsächlich auf unterschiedliche Grade der Ablenkung durch die untersuchten Systeme zurückzuführen sind.

3.1.3 Spurüberschreitungen (LANEX)

Eine Spurüberschreitung liegt dann vor, wenn ein definierter Teil des Fahrzeugs die eigene Spur verlässt. Hier finden sich eine Reihe von mehr oder weniger strengen Kriterien in der Literatur. Eine sehr strenge Definition zählt es bereits als Spurüberschreitung, wenn die Außenseite des linken oder rechten Reifens die linke oder rechte Spurmarkierung berührt (vgl. Östlund, Nilsson, Carsten, Merat et. al., 2004). Eine sehr lockere Definition sieht erst dann das Vorliegen einer Spurüberschreitung, wenn sich mehr als die Hälfte des Fahrzeugs auf der angrenzenden Spur befindet (vgl. Liu, Schreiner & Dingus, 1999). Ob sich Ergebnisse, die sich auf dieses Maß beziehen, über Untersuchungen hinweg vergleichen lassen, hängt somit sehr stark von der gewählten Definition ab. Ein nachträgliches Umrechnen auf den jeweils anderen Bezugspunkt ist nur möglich, wenn die Messreihen und die Spurgeometrie vorliegen. Selbst dann ist eine Umrechnung jedoch mit Aufwand verbunden. In der Regel können also nur Untersuchungen verglichen werden, bei denen die gewählten Bezugspunkte und die Spurbreite annähernd übereinstimmen. Dieses Maß besitzt eine hohe Augenscheinvalidität, da es leicht nachvollziehbar zeigt, wie zu starke Fahrerablenkung zu einer tatsächlichen Gefährdungssituation werden kann.

Wenn eine einzelne Untersuchung im Mittelpunkt der Betrachtung steht, reicht bereits die absolute Anzahl an Spurüberschreitungen zur Ableitung der nächsten Handlungsschritte aus. Jede Spurüberschreitung bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Kontakt mit anderen Verkehrsteilnehmern oder ein Rutschen in den Straßenrinnen bzw. in die Bankette stark erhöht ist.

Ein Vergleich von Spurüberschreitungen über mehrere Untersuchungen hinweg wird anhand von drei Berechnungsvarianten möglich, die im Folgenden vorgestellt werden. Ein Ansatz ist es, die Anzahl pro gefahrenen Kilometer anzugeben. Je nach Vorgaben bzgl. der zu fahrenden Geschwindigkeit, sind die beiden nächsten Berechnungsvarianten redundant oder aber jeder für sich zusätzlich informativ. Eine Variante, die eine Einordnung einzelner Spurüberschreitungen hinsichtlich ihrer Schwere ermöglicht, ist die Betrachtung von Metern, die außerhalb der Spur gefahren wurden. Die andere Variante umfasst die Analyse der Dauer einer Spurüberschreitung. Unter der Voraussetzung, dass mit zunehmender Länge einer Spurüberschreitung die

Wahrscheinlichkeit für einen Unfall weiter steigt, geben diese beiden Berechnungsvarianten Auskunft über die Schwere der vorliegenden Spurüberschreitungen.

Einen großen Nachteil dieses Maßes stellt die Auftretenswahrscheinlichkeit des Ereignisses während einer Versuchsfahrt dar. In Abhängigkeit von gewählter Versuchsstrecke und Versuchsbedingung handelt es sich um ein mehr oder weniger seltenes Ereignis, weshalb eine rein quantitative Betrachtung zu starken Verzerrungen führen kann. Eigene Erfahrungen zeigen gerade bei diesem Maß große interindividuelle Unterschiede im Fahrsimulator. Tritt dieses Maß insgesamt zu häufig auf, ist es ein starker Indikator dafür, dass ein Fahrerassistenz- oder Fahrerinformationssystem modifiziert werden sollte. Darüber hinaus sollte eine zusätzliche qualitative Analyse einzelner Spurüberschreitungsereignisse in Erwägung gezogen werden, damit die eigentliche Ursache für die Spurüberschreitung möglichst genau bestimmt werden kann.

3.1.4 Time to Line Crossing (TLC)

Dieses Maß geht auf Godthelp, Milgram & Blaauw (1984) zurück. Die TLC gibt für einen gegebenen Zeitpunkt an, in welcher Zeit das Fahrzeug mit dem linken bzw. rechten Vorderrad bei gedachtem gleichem Kurs und der aktuellen Geschwindigkeit die Spurmarkierung erreichen wird.

Die TLC wird üblicherweise in Sekunden angegeben. Je geringer die Werte ausfallen, desto wahrscheinlicher wird eine Spurüberschreitung. Wird auf einer geraden Spur ein exakter Parallelkurs eingeschlagen, geht der Wert für dieses Maß gegen unendlich. Für die erfassten TLC Werte existieren verschiedene Berechnungsvarianten. Beispielhaft seien hier zwei dieser Maße erläutert.

Östlund et. al. (2004) schlagen vor, den Mittelwert der Minimumswerte im TLC - Signal zu berechnen. Ein Minimumswert wird dabei nur gezählt, wenn das zugehörige Wellental länger als eine Sekunde dauert. TLC - Werte größer als 20 Sekunden werden vollständig ignoriert. Eine andere, ebenfalls von Östlund et al. (2004) vorgeschlagene Möglichkeit, ist die Bestimmung des Anteils der Minima kleiner gleich einer Sekunde an der Gesamtzahl aller Minima. Die Werte kleiner gleich einer Sekunde werden deshalb als besonders kritisch angesehen, da dem Fahrer praktisch keine Zeit mehr für Lenkkorrekturen bleibt.

Ein Minimumswert im TLC - Signal tritt dann auf, wenn der Fahrer auf eine der beiden Spurbegrenzungen zufährt und anschließend eine Lenkkorrektur vornimmt, um eine Spurüberschreitung zu vermeiden. Je kleiner der Wert dieses Minimums ist, desto näher war das Fahrzeug davor die eigene Spur zu verlassen. Bei einem Vergleich der beiden oben genannten Berechnungsverfahren fällt auf, dass diese nach unterschiedlichen Berechnungsverfahren gewonnenen Maße auch unterschiedliche Schwerpunkte haben.

Der Anteil der Minimumswerte kleiner gleich einer Sekunde kann je nach gewählter Strecke und Aufgabe recht klein sein und kann damit, ähnlich wie die Spurüberschreitungen, zu einem eher seltenen Ereignis werden. Der Mittelwert der TLC - Minima wird hingegen über alle Minima berechnet. Kleinere Werte in diesem Maß deuten dabei auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für kritische Fahrsituationen hin. Es werden jedoch keine Aussagen über die Häufigkeit der kritischen Situationen getroffen.

3.2 Lenkmaße

3.2.1 Standardabweichung des Lenkwinkels (SDST)

Für die Bestimmung dieses Maßes wird über alle aufgezeichneten Lenkwinkel die Standardabweichung berechnet (vgl. beispielsweise Liu, Schreiner & Dingus, 1999). Die Geradeausstellung des Lenkrades entspricht dabei einem Lenkwinkel von 0°. Dieses Maß ist extrem abhängig von der Kurvigkeit der gefahrenen Strecke und somit kaum über verschiedene Untersuchungen hinweg vergleichbar. Innerhalb ein und derselben Strecke, vor allem auf geraden Streckenabschnitten, gibt dieses Maß Aufschluss über die Größenordnung der Lenkbewegungen im betrachteten Streckenabschnitt. Im Zweifelsfall sollte dieses Maß mit Vorsicht interpretiert werden, damit nicht anstelle eines neuen Systems spezifische Charakteristiken der gefahrenen Versuchsstrecke in den Mittelpunkt der Betrachtung geraten. Eine Möglichkeit, diese Fehlerquelle zu minimieren, stellt ein Vergleich der Standardabweichung des Lenkwinkels während der Fahrt mit dem System mit der einer Basisfahrt dar. Von reinen Absolutbetrachtungen wird abgeraten, da sie mehr Auskunft über die Strecke als über das jeweilige System geben.

3.2.2 Nulldurchgänge des Lenkwinkels (ZERO)

Bei diesem Maß wird gezählt, wie oft der aufgezeichnete Lenkwinkel sein Vorzeichen ändert, also wie oft das Lenkrad über die Geradeausstellung hinweg bewegt wird. Höhere Werte bei diesem Maß können durch ein unruhigeres Lenkverhalten aufgrund von Fahrerablenkung zustande kommen. Allerdings fließt auch der gewählte Streckenverlauf in das Ergebnis mit ein. Dies erschwert eine inhaltliche Interpretation des Wertes. (vgl. auch Roskam, Brookhuis, de Waard, Carsten et al., 2002). Im Zweifelsfall sollte auch bei diesem Maß für die Beurteilung eine Basisfahrt als Vergleichsgröße gewählt werden. Beim Vergleich von unterschiedlich langen Strecken muss dieses Zählmaß unbedingt an der Länge der gefahrenen Strecke oder der gefahrenen Zeit relativiert werden.

3.2.3 Steering Wheel Reversal Rate (SRR)

Die Bestimmung der zuletzt besprochenen Lenkwinkelmaße zeichnet sich durch eine gewisse Einfachheit aus. Für die Berechnung dieses von McLean und Hoffmann (1975) vorgeschlagenen Maßes, ist jedoch ein größerer mathematischer Aufwand nötig. Dieses Maß zählt alle Umkehrungen ab einer gewissen Winkeldifferenz im Lenkwinkelsignal, der so genannten Abstandsgröße (engl. *gap size*). Die absolute Anzahl wird dann in Beziehung zu der gefahrenen Zeit gesetzt. Dazu ist es nötig alle absoluten Minima und Maxima innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls im Signal ausfindig zu machen. Eine Umkehrung wird dann gezählt, wenn die Winkeldifferenz zwischen zwei angrenzenden Extrempunkten größer oder gleich der Abstandsgröße ist. Typische Abstandsgrößen liegen bei diesem Maß zwischen einem und sieben Grad. Damit diese Punkte leichter ausfindig gemacht werden können, wird das Signal mit einem Tiefpassfilter gefiltert, um hohe Frequenzen bzw. das Rauschen aus dem Signal zu eliminieren (vgl. Östlund et al., 2004).

Je nach gewählter Abstandsgröße zeigt dieses Maß also bezogen auf die Zeit die Anzahl von entsprechend großen Lenkkorrekturen an. Je größer die Abstandsgröße gewählt wird, desto größere Lenkkorrekturen werden erfasst. Wird die Abstandsgröße im Gegensatz dazu sehr klein gewählt, korreliert das Maß stärker mit der HFC (siehe

unten). Über die optimale Abstandsgröße besteht noch keine Einigkeit. Oft werden im Rahmen einer Untersuchung verschiedene Abstandsgrößen berechnet und die geeignetste anhand der größten Effektstärke bestimmt.

Vorteilhaft an diesem Maß ist, dass es nicht so stark streckenabhängig wie beispielsweise die SDST ist. Auf Grund der Ermittlung der Extrempunkte in einem bestimmten Zeitintervall wird die Streckenabhängigkeit dieses Maßes verringert. Bei einem Vergleich über mehrere Untersuchungen hinweg, muss natürlich sichergestellt sein, dass den Berechnungen eine identische Abstandsgröße zu Grunde liegt.

3.2.4 Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels (HFC)

Auch dieses Maß geht auf McLean und Hoffman (1971) zurück. Sie fanden heraus, dass hochfrequente Lenkbewegungen im Bereich von 0,35 bis 0,6 Hz sensitiv für Zweitaufgabenbearbeitung sind. Zur Berechnung des mathematisch anspruchsvollen Maßes existieren mehrere Berechnungsmöglichkeiten. Bei Östlund et al. (2004) wird das Gesamtsignal mit einem Tiefpassfilter (Butterworth 2nd, cut-off 0,6 Hz) gefiltert. Durch diese Filterung ergibt sich das so genannte Gesamtlensignal (engl. *all steering activity signal*). Eine weitere Filterung mit einem Hochpassfilter (Butterworth 2nd, cut-off 0,3 Hz) liefert das interessierende Frequenzband. Das Verhältnis der Energien von Frequenzband zum Gesamtlensignal ergibt den Hochfrequenzanteil des Lenkwinkels.

Mit dieser Vorgehensweise soll erreicht werden, dass nur Lenkkorrekturen, die im hochfrequenten Bereich angesiedelt sind, in die Betrachtung eingehen. Damit ist das Maß unabhängig vom Streckenverlauf. Da in der Praxis jedoch auch verschiedene Verfahrensweisen, insbesondere bei der Art der verwendeten Filter und der Frequenzbandgrenzen, zur Bestimmung des Maßes angewendet werden, ist für einen eindeutigen Vergleich die Kenntnis der genauen Berechnungsverfahren notwendig.

4. Zusammenfassung & Diskussion

In der Tabelle 1 findet sich eine zusammenfassende Darstellung der beschriebenen Maße.

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der beschriebenen Maße

Maß	Streckenabhängigkeit	Bedeutung	Berechnungsaufwand	Literatur
MLP	Gering	Fahrstrategie	Gering	Östlund et. al 2004
SDLP	Moderat	Stabilität der Lenktätigkeit	Gering	DIN EN ISO 17287 (2003)
LANEX	Moderat	Fahrfehler	Moderat	DIN EN ISO 17287 (2003)
TLC	Moderat	Sicherheitsabstand für die Querführung	Moderat/Hoch	Östlund et. al. 2004
SDST		Lenkkorrekturen	Gering	Liu et. al. 1999
ZERO	Hoch	Häufigkeit von Lenkkorrekturen	Moderat	Roskam et. al. 2002
SRR	Gering /Moderat	Häufigkeit von Lenkkorrekturen	Hoch	McLean & Hoffmann 1975
HFC	Gering	Mikrolenkkorrekturen	Hoch	McLean & Hoffmann 1971

Die Beurteilung des Berechnungsaufwandes ist dabei abhängig von der Messwertbereitstellung des jeweils eingesetzten Fahrsimulators. Liefert ein Simulator bereits TLC-Werte, ist die Bestimmung der Minima sicherlich einfacher und schneller möglich, als wenn in einem ersten Schritt zunächst die TLC-Werte selbst berechnet werden müssen. Sobald ein entsprechendes Programm zur Berechnung der SRR oder der HFC vorhanden ist, kann der Berechnungsaufwand auch als moderat eingestuft werden.

Generell ist es immer sinnvoll, die Ergebnisse einer Zweitaufgabenfahrt mit denen einer Basisfahrt zu kontrastieren. Ist dies aus Versuchsumfangsgründen nicht möglich, sollten die Maße, bei denen in Abschnitt 3 eine Basisfahrt empfohlen wurde, mit Vorsicht interpretiert werden.

In der Literatur finden sich Belege dafür, dass die beschriebenen Maße gut geeignet sind, die Ablenkungswirkung von visueller und motorischer Beanspruchung aufzuzeigen (vgl. beispielsweise Östlund et al., 2004). Die daraus resultierende beeinträchtigte Kursverfolgung zeigt sich dabei sowohl anhand einer Zunahme der Lenkaktivität als auch einer Zunahme der Variabilität in der Querführung. Im Vergleich zu einer Basisfahrt sollten, abgesehen vom Mittelwert der TLC-Werte im Lenksignal, die Werte aller Maße für eine Zweitaufgabenfahrt höher ausfallen. Beim Mittelwert der TLC-Werte im Lenksignal sind kleinere Werte zu erwarten.

Im Hinblick auf die Ablenkungswirkung von kognitiver Beanspruchung berichten Engström, Johansson & Östlund, (2005) von einer Stabilisierung im Spurhaltemaß SDLP. In den Lenkwinkelmaßen fanden sie, wie bei der visuellen Beanspruchung, eine Zunahme der Lenkaktivität. Insgesamt fehlt aber noch ein umfassendes Verständnis für die Auswirkungen dieser Form der Ablenkung auf die Spurhaltegröße.

Einzelne Maße erfassen somit durchaus verschiedene Aspekte der Spurhaltegröße und reagieren damit unterschiedlich im Hinblick auf unterschiedliche Formen der Fahrerablenkung. Gerade die Lenkmaße können darüber hinaus zu einem nicht unerheblichen Teil durch Unterschiede in der Lenkstrategie beeinflusst werden (vgl. beispielsweise Godthelp et al., 1984).

Diese Ausführungen verdeutlichen, dass von einer isolierten Betrachtung einzelner Spurhalte- und Lenkmaße bei der Bewertung von Fahrerinformations- und -assistenzsystemen abzuraten ist. Vielmehr stellt erst eine integrierte Betrachtungsweise sicher, dass das gefundene Ausmaß an Fahrerablenkung wirklich auf das System zurückzuführen ist und keine Artefakte, wie beispielsweise der Streckenverlauf, interpretiert werden. Bei zu kurvigen Versuchsszenarien sollte aber in jedem Fall von einer Verwendung der Maße SDST und ZERO abgesehen werden.

Darüber hinaus weisen die Ausführungen zu den Maßen der Fahrzeugquerregelung auf zwei Problembereiche hin. Zum einen ist es notwendig, die Erfassung und Berechnung der Spurhaltegröße weiter zu standardisieren, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Untersuchungen zu gewährleisten. Da einige Berechnungsvarianten nach wie vor einen stark pragmatischen Ansatz aufweisen, ist zum anderen weiterführende Forschung auf diesem Gebiet nötig, um diese Berechnungsvarianten noch stärker mit theoretischen Inhalten verbinden zu können.

5. Literatur

- Barret, J. (2003). *Side effects of virtual environments: A review of the literature*. Tech.-Report DSTO-TR-1419. Edinburgh South Australia: DSTO.
- Blana, E. (1996). *Driving Simulator Validation Studies: A literature review*. Working Paper 480, Leeds Institute of Transportation Studies.
- Blana, E., Golias, J. (1999). Behavioural Validation of a Fixed-Base Driving Simulator. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris, France, 1999*, 227-240.
- Breuer, J., Bengler, K., Heinrich, C., & Reichelt, W. (2003). Development of advanced driver attention metrics (ADAM). In H. Strasser, K. Kluth, H. Rausch, & H. Bubb (Eds.). *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future. Proceedings of the 50th – Anniversary Conference of the GfA and the XVII Annual ISOES Conference in Munich, 2003* (S. 37-40). Stuttgart: Ergonomia.
- de Waard, D., Steyvers, F. J. J. M., & Brookhuis, K. A. (2004). How much visual road information is needed to drive safely and comfortably. *Safety Science*, 42, 639-655.
- DIN EN ISO 17287 (2003). Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und assistenzsystemen – Verfahren zur Bewertung von Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs.
- Engström, J., Johansson, E., & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F*, 8, 97-120.
- Evans, L. (2004). *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science Serving Society.
- Godthelp, H., Milgram, P., & Blaauw, G. J. (1984). The development of a time-related measure to describe driving strategy. *Human Factors*, 26 (3), 257-268.
- Huesmann, A., Ehmanns, D., & Wisselmann, D. (2006). Development of ADAS by Means of Driving Simulation. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris, France, 2006*, 131-141.
- Liu, Y.-C., Schreiner, C.S., & Dingus, T.S. (1999). Development of human factors guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operation (CVO): Human Factors Evaluation of the Effectiveness of Multimodality Displays in ATIS. NHTSA FHWA-RD-96-150.
- McLean, J.R., Hoffman, E.R. (1971). Analysis of Drivers Control Movements. *Human Factors*, 13(5), 407-418.
- McLean, J.R., Hoffman, E.R. (1975). Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. *Human Factors*, 17, 248-256.
- Michon, J.A. (1985). A critical review of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R.C. Schwing (Hrsg.). *Human Behavior and Traffic Safety*, 485-521. New York: Plenum Press.

- Nakayama, O., Futami, T., Nakamura, T., & Boer, E.R. (1999). *Development of a Steering Entropy Method for Evaluating Driver Workload*. Technical Paper Series: 1999-01-0892, Detroit, Michigan: SAE.
- Östlund, J., Nilsson, L., Carsten, O., Merat, N., Jamson, H, Jamson, S., Mouta, S., Carvalhais, J., Santos, J., Anttila, V., Sandberg, H., Luoma, J., de Waard, D., Brookhuis, K., Johansson, E., Engström, J., Victor, T., Harbluk, J., Janssen, W., & Brouwer, R. (2004) *Deliverable 2 - HMI and Safety-Related Driver Performance*. Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe. Project GRD1/2000/25361 S12.319626.
- Roskam, A.J., Brookhuis, K.A., de Waard, D., Carsten, O.M.J., Read, L., Jamson, S., Ostlund, J., Bolling, A., Nilsson, L., Anttila, V., Hoedemaeker, M., Janssen, W.H., Harbluk, J., Johansson, E., Tevell, M., Santos, J., Fowkes, M., Engström, J. & Victor, T.(2002). *Deliverable 1 – Development of Experimental Protocol*. Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe (HASTE) Project GRD1/2000/25361 S12.319626.
- Zwahlen, H.T., Adams, C.C., & DeBald, D.P. (1988). Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. In A. G. Gale, et al. (Hrsg.), *Vision in Vehicles II*, 335-344. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.