

Objektivierung und Quantifizierung des Lenkgefühls am schweren Nutzfahrzeug

Alisa BOLLER, Enrico WOHLFARTH

*Daimler AG
70546 Stuttgart, Deutschland*

Kurzfassung: Das Lenkgefühl am schweren Nutzfahrzeug kann mithilfe hybrider Lenksysteme immer besser an den Fahrerwunsch angepasst werden. Um dieses Potential optimal zu nutzen, wurden in einem Fahrversuch verschiedene Varianten der Lenkunterstützung in einem Fahrzeug implementiert und von $N = 80$ Fahrern in synthetischen Manövern erprobt. Es sollte überprüft werden, welche Varianten in welchen Situationen am besten beurteilt werden. Erste Analysen zeigen, dass bereits Unterschiede von 0,7 Nm im Lenkradmoment detektiert wurden. Ferner wurden hypothesenkonform leichtgängigere Varianten bei langsamer Fahrt und Varianten mit mittleren Lenkradmomenten bei höheren Geschwindigkeiten favorisiert. Es bleibt jedoch offen, ob diese positiven Beurteilungen auch nach längerer Fahrt repliziert werden können.

Schlüsselwörter: Lenkgefühl, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, User Experience, Nutzfahrzeug, Fahrversuch

1. Motivation

Der Einsatz hybrider Lenksysteme im Lastkraftwagen ermöglicht es, die Lenkkräfteunterstützung spezifisch an die Fahrgeschwindigkeit und somit an die Bedürfnisse des Fahrers anzupassen. So kann durch eine hohe Unterstützung bei niedrigen Geschwindigkeiten ein leichtgängiges Lenken realisiert werden, während die Lenkung dem Fahrer bei hohen Geschwindigkeiten ausreichend Rückmeldung gibt. Um diese Innovation aus ergonomischer Sicht zu optimieren, muss der Fahrer aktiv in den Auslegungsprozess eingebunden werden (ISO 9241-210). Basierend auf einer Literaturrecherche wurde mithilfe mehrerer Interviewstudien ein Fragebogen entwickelt (Boller & Wohlfarth 2014), welcher für Normalfahrer ohne Expertise im Bereich der Querdynamik verständlich ist. Der Fragebogen wurde bereits in zwei Studien mit unterschiedlichen Fahrzeugen erprobt. Der erste Versuch zeigte, dass Normalfahrer durch die persönliche Bevorzugung eines Fahrzeugherstellers stark in ihrem Urteil beeinflusst werden. Der zweite Versuch deckte auf, dass das Potential oben beschriebener Lenkungen heute noch nicht optimal ausgenutzt wird. Deswegen sollen im Rahmen eines Fahrversuchs mehrere Möglichkeiten, die Lenkunterstützung auszulegen, überprüft werden. Die folgenden Hypothesen wurden aufgestellt:

H1: Die objektiv vorhandenen Unterschiede in der Höhe der aufzuwendenden Lenkkraft werden detektiert.

H2: Bei langsamer Fahrt werden Varianten mit niedriger aufzuwendender Lenkkraft bevorzugt.

H3: Bei schneller Fahrt werden Varianten mit sehr niedriger oder sehr hoher aufzuwendender Lenkkraft schlechter bewertet.

2. Methode

2.1 Versuchsdesign & Stichprobe

In einem within-subject design erprobte jeder Proband alle Varianten in allen Fahrmanövern. Insgesamt nahmen $N = 80$ Probanden an dem Versuch teil. Die Probanden waren im Durchschnitt 45,5 Jahre alt ($SD = 10,8$), hatten eine mittlere Fahrerfahrung von 22,1 Jahren ($SD = 11,6$) und eine jährliche Fahrleistung von 72,1 tkm ($SD = 52,0$). Es wurden nur Fahrer zugelassen, die seit mindestens 5 Jahren im Besitz des Führerscheins der Klasse CE waren, mindestens 30 tkm pro Jahr im Lkw zurücklegten und Erfahrung im Führen von Sattelzügen hatten.

2.2 Fahrmanöver

Die Erprobung fand auf einem Prüfgelände anhand synthetischer Manöver statt. Durch die Nutzung des Tempomats war die Fahrgeschwindigkeit über alle Probanden hinweg konstant. Weiterhin wurde durch die Vorgabe der Fahrspur mit Pylonen die individuelle Fahrweise der Probanden weitgehend vereinheitlicht. Die Erprobung fand in fünf Manövern statt, welche in Tabelle 1 vorgestellt werden. Die Manöver orientierten sich an ISO-Fahrmanövern. Da sie für im querdynamischen Grenzbereich unerfahrene Normalfahrer geeignet sein mussten, wurden sie jedoch hinsichtlich der Querbeschleunigung stark entschärft.

Tabelle 1: Beschreibung der Fahrmanöver unter Angabe der Fahrgeschwindigkeit v , des maximalen Lenkwinkels δ und der maximalen Querbeschleunigung a_y .

Manöver	Beschreibung	v [km/h]	δ [°]	a_y [m/s ²]
Geradeausfahrt	Länge 500 m	60	15°	0,3
Slalom	6 Zyklen, Pylonenabstand 42 m	45	100°	2,7
Doppelter Spurwechsel	3 Zyklen, Abstand zwischen Gassen 42 m, Gassenlänge 25 m	45	60°	1,7
Oval	Länge 65 m, Breite 30 m	15	550°	2,2
Rangieren	Rückwärts versetzen in 35 m langen Korridor	5	500°	0,3

2.3 Varianten der Lenkunterstützung

Um das Gesamtfahrzeugverhalten konstant zu halten, wurden verschiedene Parametrierungen der Lenkung mithilfe einer hybriden Lenkung in einem einzigen Fahrzeug implementiert. Die fünf Varianten unterschieden sich hinsichtlich des Lenkmomentniveaus, des Lenkmomentgradienten und des Rückstellverhaltens. Variante 3 diente als Referenz (siehe Absatz 2.4) und wies ein maximales Lenkmoment von 3,2 Nm auf. Die Unterschiede im Lenkmoment betragen bei den Varianten -1,7 Nm (Variante 1), -0,7 Nm (Variante 2), +0,7 Nm (Variante 4) und +1,2 Nm (Variante 5) bezogen auf die Referenz. Die Unterschiede des maximalen

Lenkmomentniveaus wurden von in der Literatur genannten JNDs von 0,8 Nm abgeleitet (Neukum et al. 2009).

2.4 Befragungsmethode

Die subjektive Bewertung des Lenkgefühls erfolgte mithilfe von sieben Kriterien (siehe Tabelle 2). Aus dem bestehenden Fragebogen zum Lenkgefühl wurden lediglich solche Kriterien ausgewählt, die vom Lenkradmoment abhängig sind. Die Kriterien wurden in Abstimmung mit Fahrdynamikexperten den oben genannten Fahrmanövern zugeordnet.

Die Beurteilung wurde in eine Niveau- und Gefallensbewertung aufgeteilt (Zschocke 2009; Harrer 2007). Zuerst sollten die Probanden angeben, wie stark eine gewisse Eigenschaft bei der Variante im Vergleich zur Referenz ausgeprägt ist (Niveau-Bewertung). Im zweiten Schritt wurde bewertet, inwiefern diese Ausprägung gefällt (Gefallens-Bewertung). Diese Unterscheidung war von Bedeutung, da beispielsweise eine höhere aufzubringende Lenkkraft je nach persönlicher Präferenz besser oder schlechter gefallen kann. Zur Bewertung wurde eine 7-stufige Likert-Skala von -3 bis +3 (*sehr viel weniger / viel weniger / etwas weniger / kein Unterschied / etwas mehr / viel mehr / sehr viel mehr*) herangezogen. Die Probanden sollten ihre Bewertung dabei stets auf die Referenz beziehen.

Tabelle 2: Subjektive Bewertungskriterien mit dazugehörigen Fahrmanövern.

Kriterium	Beschreibung	Fahrmanöver
Anlenkmoment	Bitte achten Sie darauf, wie viel Kraft Sie zum Anlenken aus der Mitte benötigen.	Doppelter Spurwechsel
Fahrbahnkontakt	Bitte achten Sie darauf, wie gut Sie sich über die Lenkung mit der Fahrbahn verbunden fühlen (Negativbeispiel: Gabelstapler, Fahrsimulator, Glatteis, Nässe).	Slalom
Lenkpräzision	Bitte achten Sie darauf, wie genau das Fahrzeug auf Ihre Lenkeingaben reagiert. Orientieren Sie sich daran, wie exakt Sie die vorgegebene Pylonengasse durchfahren.	Doppelter Spurwechsel
Haltemoment	Bitte achten Sie darauf, wie viel Kraft Sie zum Halten des Lenkrads in Kurven benötigen (Fokus auf eingelenktem Zustand).	Oval
Lenkkraft	Bitte achten Sie darauf, wie viel Kraft Sie beim Lenken benötigen.	Rangieren Slalom
Mittenzentrierung	Bitte achten Sie darauf, wie deutlich die Geradeausstellung des Lenkrads spürbar ist.	Geradeausfahrt
Rückstellverhalten	Bitte achten Sie darauf, wie die Lenkung Sie beim Rücklenken unterstützt.	Oval

2.5 Versuchsablauf

Die Reihenfolge der Manöver, der Kriterien und der Varianten wurde randomisiert. Jedes Manövers wurde zu Beginn einmal in Wunsch- und einmal in Zielgeschwindigkeit durchfahren, damit sich der Proband mit dem Parcours vertraut machen konnte. Im Folgenden wird der weitere Ablauf zur Bewertung des Anlenkmoments im Doppelten Spurwechsel skizziert: Zuerst fuhr der Proband die drei doppelten Spurwechsel in der Referenz und achtete auf das von ihm benötigte Anlenkmoment. In den folgenden Fahrten wurde jeweils nach dem ersten doppelten Spurwechsel in eine der Varianten umgeschaltet, sodass diese für die übrigen zwei doppelten Spurwechsel erprobt werden konnte. Die möglicherweise auftretende Veränderung im Anlenkmoment wurde anhand der Skala quantifiziert.

3. Ergebnisse

Zur Auswertung mithilfe von IBM SPSS Statistics 21 wurden ANOVAs mit Messwiederholung berechnet. Eine Analyse der ersten $N = 53$ Fahrer ergab die folgenden Ergebnisse:

H1: Die objektiv vorhandenen Unterschiede in der Höhe der aufzuwendenden Lenkkraft werden detektiert.

In den vier Kriterien Lenkkraft (Slalom), Lenkkraft (Rangieren), Anlenkmoment und Haltemoment wurden die fünf Varianten hinsichtlich der Höhe der aufzuwendenden Lenkkraft (Niveau-Bewertung) höchst signifikant unterschiedlich beurteilt (Haupteffekt $p < .001$). Einzelvergleiche zeigten, dass die Einschätzung der Probanden bezüglich der Höhe der aufzuwendenden Lenkkräfte den objektiv messbaren Lenkkräften bis auf eine Ausnahme beim Haltemoment entsprach.

Somit kann Hypothese 1 für die anderen Kriterien beibehalten werden.

H2: Bei langsamer Fahrt werden Varianten mit niedriger aufzuwendender Lenkkraft bevorzugt.

Beim Rangieren wurde die leichtgängigste Variante 1 hinsichtlich der aufzuwendenden Lenkkraft am besten bewertet ($p_{13} < .001$, $p_{14} < .001$, $p_{15} < .001$). Variante 2 schnitt ebenfalls besser als die Varianten 3-5 ab ($p_{23} = .014$, $p_{24} < .001$, $p_{25} < .001$).

Beim Haltemoment im Oval wurden die beiden leichtgängigen Varianten 1 ($p_{13} = .062$, $p_{14} < .001$, $p_{15} < .001$) und 2 ($p_{23} < .001$, $p_{24} < .001$, $p_{25} < .001$) weitestgehend besser bewertet als die übrigen drei Varianten. Die Standardabweichung der Variante 1 war jedoch bis zu zwei Mal so groß wie die der anderen Varianten. Hierin zeigt sich, dass diese niedrigen Lenkkräfte von den Probanden hinsichtlich des Gefallens sehr unterschiedlich beurteilt wurden.

Dennoch kann Hypothese 2 beibehalten werden.

H3: Bei schneller Fahrt werden Varianten mit sehr niedriger oder sehr hoher aufzuwendender Lenkkraft schlechter bewertet.

Im Slalom wurde die leichtgängigste Variante 1 signifikant schlechter bewertet als die Varianten 2-4 ($p_{12} < .001$, $p_{13} < .001$, $p_{14} = .027$). Die schwergängigste Variante 5

wurde auch signifikant schlechter bewertet als die Varianten 2-4 ($p_{52} < .001$, $p_{53} < .001$, $p_{54} = .001$).

Die Gefallens-Bewertung des Anlenkmoments im Spurwechsel war bei der leichtgängigsten Variante 1 signifikant schlechter als bei den Varianten 2-4 ($p_{12} < .001$, $p_{13} < .001$, $p_{14} = .036$). Die schwergängigste Variante 5 wurde ebenso signifikant schlechter bewertet als die Varianten 2-4 ($p_{52} < .001$, $p_{53} < .001$, $p_{54} = .001$).

Zusammenfassend kann Hypothese 3 beibehalten werden.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der ersten $N = 53$ Probanden dieses Realfahrversuch zeigen, dass die quasi-objektive Einschätzung der aufzuwendenden Lenkkraft der objektiv messbaren Kraft entspricht. Somit sind die Probanden in der Lage, Unterschiede in der Lenkkraft von +/- 0,7 Nm im Vergleich zu einer vorgegebenen Referenz zu entdecken. Beim Rangieren und dem an Kreisfahrten angelehnten Oval wurden die leichtgängigen Varianten mit einem maximalen Lenkradmoment von 1,5 bzw. 2,5 Nm bevorzugt. Bei den Manövern Spurwechsel und Slalom wurden die Varianten mit einem Lenkradmoment von 2,5 Nm, 3,2 Nm und 3,9 Nm am besten bewertet. Daraus lassen sich Auslegungsempfehlungen zur Parametrierung einer hybriden Lenkung im schweren Nutzfahrzeug ableiten. Da die einzelnen Varianten jedoch nur sehr kurz erprobt wurden, sollten die beiden favorisierten Varianten in einem Dauerlauf erneut beurteilt werden.

5. Literatur

- Boller A, Wohlfarth E (2014) Assessing Steering Feel in Truck Drivers: Evaluation Criteria and Rating Scale. Proceedings of the 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences. Volume 5:3286–3292
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2010) DIN EN ISO 9241: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme.
- Harrer M (2007) Characterisation of Steering Feel. University of Bath, Dissertation.
- Neukum A, Paulig J, Frömmig L, Henze R (2009) Untersuchung zur Wahrnehmung von Lenkmomenten bei Pkw. FAT-Schriftenreihe Nr. 222.
- Zschocke A (2009) Ein Beitrag zur Objektivierung und subjektiven Evaluierung des Lenkkomforts von Kraftfahrzeugen. Universität Karlsruhe: Institut für Produktentwicklung, Dissertation.

Danksagung: Herzlicher Dank geht an die zahlreichen Lkw-Fahrer, die unsere Forschung erst möglich gemacht haben. Ferner danken wir Frieda Preuß, Karolin Striegel, Sabrina Heinrich, Konrad Deuschle und Christopher Merkel für die Unterstützung.