

# Fahrerverhalten in Kurven: Ermittlung von Kenngrößen zur Parametrisierung von Kurvenassistenten

Matthias J. Henning, Anna Mikolajetz, Axel Tenzer, Robert Zobel und Josef F. Krems

*Schlüsselwörter: Kurvenassistenten, Natürliches Fahrverhalten, Fahrerleistungsdatenbank*

## Zusammenfassung

Rund ein Viertel aller Unfälle außerhalb des Stadtgebiets ereignet sich in Kurven, wo Assistenzsysteme den Fahrer dabei unterstützen könnten, überhöhte Geschwindigkeiten zu vermeiden. Die vorliegende Studie vertritt die Auffassung, dass das Parametrieren eines Fahrerassistenzsystems mithilfe von Daten realistischen, unkritischen Fahrverhaltens realisiert werden kann, die aus Naturalistic Driving Studies (NDS) gewonnen wurden. Die hier vorgestellte Fahrerleistungsdatenbank stellt ein Instrument zur Beobachtung normales, unkritisches Fahrverhalten dar. Die Datenbank enthält Ergebnisse von Fahrversuchen mit einem instrumentierten Fahrzeug, die auf einer vorgegebenen und genau vermessenen Route im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt wurden. Zusätzlich zu Fahrdaten wurden Daten zur Fahrzeugumgebung sowie physiologische Informationen gesammelt. Mithilfe der Fahrerleistungsdatenbank wird es möglich, unterschiedliche Facetten des Fahrverhaltens auf deskriptive und normative Weise zu beleuchten, was hier am Beispiel der Kurvenbefahrung dargestellt wird.

## Abstract

Approximately one quarter of all accidents outside city limits occur while driving around curves, where assistance systems could prevent the driver from negotiating curves with excessive speed. This study argues that the parameterizing of a Driving Assistant System could be realized with data from realistic, noncritical driving behavior offered by Naturalistic Driving Studies. The Driver Performance Database presented in this study provides a tool for observing normal, noncritical driving behavior. The Database contains results from road tests with an instrumented vehicle that were carried out on public road traffic on a predetermined route, which was precisely measured in advance. In addition to vehicle state parameters, we also collected data concerning the driving environment and physiological information. With the Driver Performance Database it is possible to generate different facets of human driving behavior in a descriptive and normative way, which is illustrated by driver behavior in curve negotiation.

## Einleitung

“Naturalistic Driving Studies“ (NDS) mit instrumentierten Fahrzeugen erzeugen eine Vielzahl von Daten über das Fahrerverhalten in unkritischen und kritischen Verkehrssituationen. Das Verhältnis von unkritischen zu kritischen Verkehrssituationen ist jedoch unausgewogen. In der vom Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) durchgeführten Naturalistic Driving Studie mit 100 Fahrzeugen ergaben sich beispielsweise innerhalb von 12 bis 13 Monaten Datenerhebung und einer Gesamtfahrleistung von 2.000.000 Meilen nur 15 polizeilich gemeldete und 67 nicht polizeilich gemeldete Unfälle. Darunter waren sogenannte „low-g“-Vorfälle wie geschnittene oder überfahrene Bordsteinkanten oder Parkplatzbegrenzungen (einige Fahrzeuge waren in mehrere Unfälle verwickelt), 761 Beinahe-Unfälle und 8295 weitere Zwischenfälle (Dingus et al., 2006). Dies entspricht einer Inzidenzrate von etwa  $4,6 \cdot 10^{-3}$ . Bezieht man die Anzahl der Inzidentien auf die Anzahl der gefahrenen Stunden in dieser Studie ( $H = 42.300$ ), so resultiert daraus das Auftreten eines Ereignisses etwa alle 4,6 Stunden.

Man erkennt bereits anhand der Inzidenzrate, dass bei einer reinen Fokussierung auf Fahrerverhalten in kritischen Verkehrssituationen der überwiegende Teil der Daten zu verwerfen ist, da sie unkritisches Fahrerverhalten widerspiegeln. Auf der anderen Seite sind diese Daten jedoch sehr wertvoll, da sie das Fahrerverhalten in unkritischen Situationen im täglichen Straßenverkehr beschreiben. Fahrerassistenz ist im Allgemeinen nur dann zielführend, wenn sie sich an den Grenzen durchschnittlichen Fahrerverhaltens orientiert. Dies stellt sicher, dass die Fahrer weder unter- noch überfordert werden und führt darüber hinaus zu einer breiten Akzeptanz des Systems durch eine große Fahrerpopulation.

Ist man ausschließlich am Fahrerverhalten in kritischen Situationen interessiert, so lässt sich die niedrige Inzidenzrate einer NDS jedoch in einem inversen Ansatz zur Beschreibung kritischen Fahrerverhaltens nutzen. Es wird dabei nicht beschrieben, was kritisch, sondern was unkritisch ist, um eine kritische Situation durch die Abweichung von der unkritischen zu identifizieren.

In der vorliegenden Studie wurde das Fahrerverhalten in Kurven ausgewählt, um den Beitrag der Fahrerleistungsdatenbank zum Design eines Fahrerassistenzsystems zur Kurvenbefahrung (Kurvenassistent) zu bewerten. Laut Statistischem Bundesamt (2007) ereignen sich 26 % der Unfälle auf deutschen Straßen außerhalb des Stadtgebiets in Kurven, oft ausgelöst durch unangemessenes Fahrerverhalten (z. B. überhöhte Geschwindigkeit). Diese Unfälle sind für 36 % der Unfallopfer außerhalb von Städten verantwortlich. Kurven stellen somit im Vergleich zu anderen Unfallorten den höchsten Risikofaktor für Fahrer dar. Auch Fahrer selbst bewerten enge Kurven als die gefährlichsten Elemente im Straßenverkehr (Ellinghaus & Steinbrecher, 2003). Diese Ergebnisse indizieren ein Potential, die Sicherheit durch Implementierung eines Kurvenassistenten zu erhöhen. Ein solcher könnte die Kurvenbefahrung erleichtern, indem er spezifische Empfehlungen bezüglich der Kurvengeschwindigkeit und des Abbremszeitpunktes in Abhängigkeit von der Annäherungsgeschwindigkeit gibt.

## **Methodik**

Zur Erfassung und Auswertung großer Datenmengen im Rahmen von NDS wurde in dem Zeitraum von 2003 bis 2005 in der Konzernforschung der Volkswagen AG eine Fahrerleistungsdatenbank aufgebaut. Sie dient der konsequenten Aufzeichnung der Datenkategorien – Fahrer, Fahrzeug, Umwelt – über die gesamte Versuchsstrecke und deren statistischer sowie analytischer Auswertbarkeit unter verschiedenen, nicht vordefinierten Fragestellungen. Ziel ist es, die aufgezeichneten Daten operationalisierbar zu speichern. Diese Methodik bedient sich dreier Elemente: Einer vermessenen Referenzstrecke, eines instrumentierten Fahrzeugs und einer relationalen Datenbank als intelligentes Speicher- und Auswertemedium der aufgenommenen Daten (Tenzer, 2004).

## **Referenzstrecke**

Mithilfe von differentiellm GPS wurde ein ca. 55 km langer Rundkurs im öffentlichen Straßenverkehr in der Nähe von Wolfsburg vermessen (Niemeier & Thomsen, 2003). Die Vermessung der Referenzstrecke beinhaltet die Aufnahme aller Verkehrsleiteinrichtungen (Leitlinien, Mittellinien, Haltebalken, Sperrflächen) nach Art und Lage und die Vermessung aller Verkehrszeichen nach Position und Ausrichtung zur Fahrbahn. Weiterhin wurden alle Kreuzungsbereiche auf der Referenzstrecke in einer Tiefe von 30-50 m in die kreuzenden Straßen hinein – ebenfalls mit Verkehrsleiteinrichtungen und -zeichen – aufgenommen. Die protokollierten Maße wurden mit hoher Präzision als Gauss-Krüger-Koordinaten in der Datenbank abgelegt.

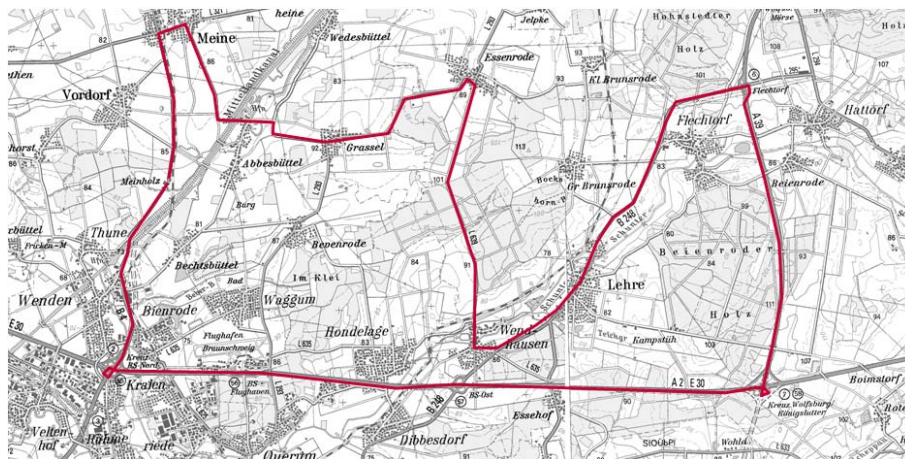


Abb.1: Die Referenzstrecke

### **Instrumentiertes Fahrzeug**

Das Fahrerverhalten wurde mithilfe des ViewCar des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig aufgezeichnet. Eine detaillierte Beschreibung des ViewCar findet sich in Suikat, Rataj, Schäfer und Rollke (2003).

Das Fahrzeug wurde mit einem Ortungssystem ausgestattet. Aufgezeichnet wurden die Aktivitäten des Fahrers (Betätigungsbütel von Bremse und Gaspedal, Steuerung, Blickverhalten), physiologische Daten (z. B. Herzfrequenz) und Parameter zum Fahrzeugzustand (z. B. Geschwindigkeit, Beschleunigung). Dazu wurden mehrere Sensoren sowie der CAN-Bus verwendet.

Die geografische Position des Fahrzeugs wurde mithilfe eines differentiellen globalen Ortungssystems ermittelt. In Gebieten mit schlechtem Empfang (Waldgebiete, hohe Gebäude, Alleen) wurden Positionsdaten durch ein inertiales Navigationssystem angeglichen. Alle aufgezeichneten Daten wurden mit einem Zeitstempel versehen und in der Datenbank gespeichert.

### **Fahrversuche**

Die Fahrversuche wurden mit sechs männlichen und fünf weiblichen Fahrern im Alter von 23 bis 78 Jahren unter unterschiedlichen Verkehrs- und Wetterbedingungen im alltäglichen Betrieb auf der Referenzstrecke durchgeführt. Die bisherige Fahrpraxis der Probanden lag zwischen sechs und 44 Jahren. Jeder der Probanden befuhr die Strecke fünf bis sechs Male an verschiedenen Tagen in den Zeiträumen Juli bis November 2004 und März bis April 2006. Bei jedem Test fuhren die Probanden die Strecke in beide Richtungen. Sie erhielten die Anweisung, in ihrem normalen Stil zu fahren; der Versuchsleiter gab einzig die Instruktion, der Strecke zu folgen. Darüber hinaus wurden keinerlei Anweisungen oder Hinweise gegeben. Die Fahrer hatten keine zusätzlichen Aufgaben zu bewältigen und es wurden keinerlei spezielle Szenarien erstellt. Ziel der Tests war es, Daten „normalen“ Fahrerverhaltens zu sammeln.

### **Fahrerleistungsdatenbank**

Bei der Fahrerleistungsdatenbank handelt es sich um eine relationale Datenbank, die offen konzipiert ist und durch eine unbegrenzte Datenkapazität eine Erweiterung für künftige Aufgaben ermöglicht. Im Rahmen der Datenbankentwicklung wurde entsprechend der Anforderungen der Referenzstrecke und der Fahrversuche ein Datenmodell errichtet. Alle Sensordaten aus dem instrumentierten Fahrzeug erhielten einen Zeitstempel. Sensordaten sowie Daten von der Referenzstrecke wurden durch die geografische Position des Fahrzeugs (d. h. Rechtswert und Hochwert) miteinander verknüpft. Das Ergebnis ist eine Datenbank, in der Daten als Indikatoren für das Fahrerverhalten nicht nur nach ihren Charakteristika, sondern darüber hinaus auch in ihrem situationalen Kontext gespeichert werden.

## Datenanalyse am Beispiel der Kurvenbefahrung

Um das Abbremsverhalten vor Kurven und die Geschwindigkeit in solchen zu analysieren, wurden fünf Kurven in Landstraßen ausgewählt. Da die Probanden die Strecke in beide Richtungen befuhren, war jede Biegung sowohl als Rechts- als auch als Linkskurve angelegt. Die Eigenschaften der Kurven sind in Tabelle 1 aufgelistet. Kurve 3 (rechts) und Kurve 4 (rechts) wurden von der Analyse ausgenommen. Jeweils kurz vor diesen Kurven befindet sich eine Stadt, so dass hier geringe Geschwindigkeiten und somit kein Abbremsen vor den Kurven zu erwartet wurden.

Tab1: Eigenschaften der Kurven

Kurve	Radius (m)	Länge (m)	Analysierte Richtung	Beschilderung
1	± 80	52	links/rechts	Kurvenwarnung (nur für die Linkskurve)
2	± 70	41	links/rechts	Geschwindigkeitsbegrenzung: 60 km/h (nur für die Linkskurve)
3	± 79	111	Links	-
4	± 54	38	Links	-
5	± 27	38	links/rechts	Kurvenwarnung (nur für die Rechtskurve)

Abbildung 2 zeigt exemplarisch ein Datenset, das während einer Kurvenbefahrung analysiert wurde. Im Vorfeld der Kurve nimmt der Fahrer den Fuß vom Gaspedal, um die Geschwindigkeit zu verringern, anschließend folgt die Betätigung des Bremspedals und somit eine noch stärkere Verlangsamung des Fahrzeugs. Abbildung 2 bildet auch die Werte zu Geschwindigkeit, Gas- und Bremspedal ab, die ermittelt wurden, um das Fahrverhalten in Kurven zu charakterisieren. Entsprechend der Definition der charakteristischen Kurvengeschwindigkeit nach Lippold (1997) wurde die minimale Kurvengeschwindigkeit ausgewählt, um die im Zusammenhang mit den Kurveneigenschaften mögliche Geschwindigkeit zu beschreiben. Es wurden jeweils die Differenzen zwischen der Geschwindigkeit zu Beginn der Verlangsamung sowie zum Zeitpunkt des Abbremsens und der minimalen Geschwindigkeit in der Kurve berechnet. Der Abgleich der Fahrzeugpositionsdaten mit der geeichten Strecke ermöglichte eine präzise Bestimmung der Entfernung des Fahrzeugs von der Kurve zum Zeitpunkt des Abbremsens.

Nur ein Teil der Daten war zum Zeitpunkt der Analyse verfügbar. Von den verwertbaren 379 Kurvenbefahrungen wurden nur diejenigen ausgewählt, die auf trockener Fahrbahn durchgeführt wurden. Somit wurden insgesamt 337 Kurvenbefahrungen ausgewertet.

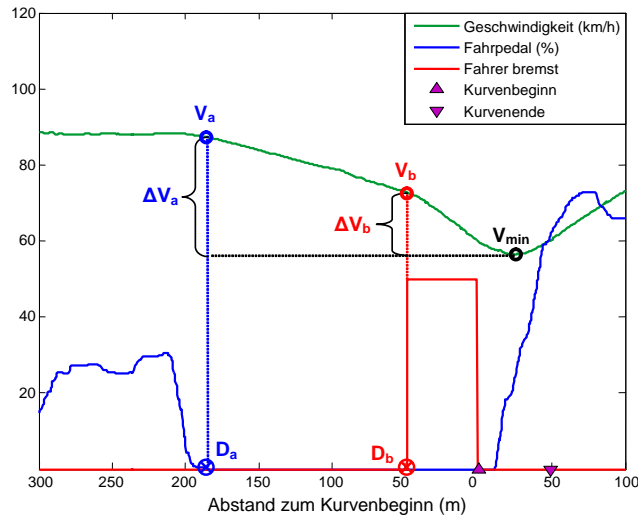


Abb.2: Bewertung von Geschwindigkeit (V), Entfernung zur Kurve (D), Geschwindigkeitsunterschied ( $\Delta V$ ) zwischen dem Beginn des Bremsvorgangs (a) und dem Bremsen (b) und Minimalgeschwindigkeit innerhalb der Kurve ( $V_{min}$ )

### Ergebnisse

Die Ergebnisse bezüglich der minimalen Kurvengeschwindigkeit sind in Abbildung 3a dargestellt. Aus den Durchschnittswerten der minimalen Geschwindigkeit wurden für jeden Fahrer individuelle Geschwindigkeitsprofile als Funktion der Kurvencharakteristika ermittelt. Diese zeigen für die einzelnen Probanden ein durchweg höheres bzw. niedrigeres Tempo im Vergleich zur durchschnittlichen Geschwindigkeit in unterschiedlichen Kurven. Je stärker die Kurve dabei einen Richtungswechsel verlangt, desto geringer sind die beobachteten Geschwindigkeiten sowie deren Variation.

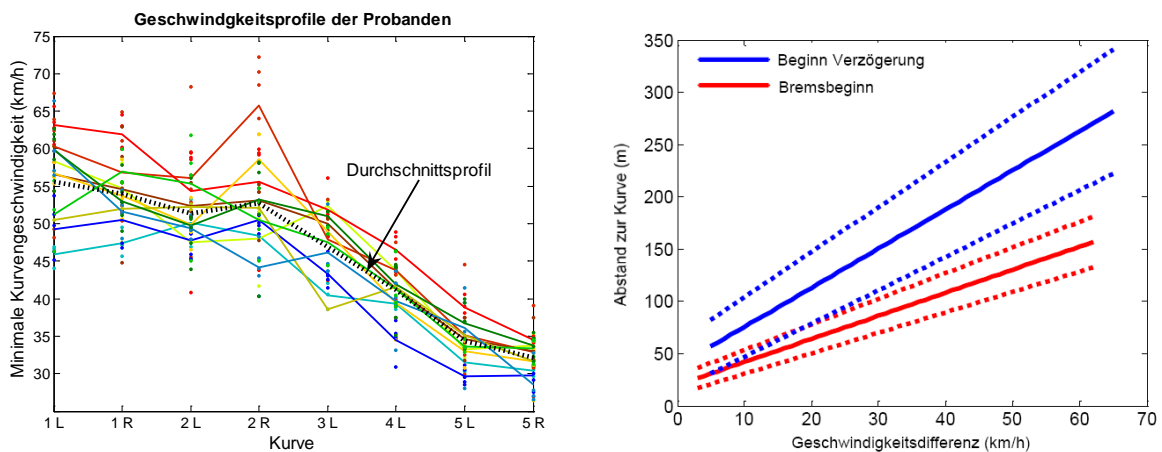


Abbildung 3: Individuelle Geschwindigkeitsprofile als Funktion der Kurvencharakteristika (links; vgl. Tabelle 1); Aus der Geschwindigkeitsdifferenz errechnete Distanz zur Kurve zu Beginn der Verzögerung und des Abbremsens (rechts; durchgezogene Linien zeigen die Regression, gestrichelte Linien die Grenzen des 95 % Konfidenzintervalls)

Unterschiedliche Geschwindigkeiten sowie die Entfernung zur Kurve wurden in eine Regressionsanalyse einbezogen, um so Prognosen darüber zu ermöglichen, in welcher Entfernung zu einer Kurve Fahrer anfangen, die Geschwindigkeit zu verringern und abzubremesen. Abbildung 3b zeigt die Steigung der Regression zu Beginn der Geschwindigkeitsabnahme

( $D_a = 3,75 \Delta V_a + 37,79$ ) mit den dazugehörigen Grenzen des 95% Konfidenzintervalls (Obergrenze:  $D_a = 4,31 \Delta V_a + 60,79$ ; Untergrenze:  $D_a = 3,19 \Delta V_a + 14,80$ ), sowie die Steigung der Regression zu Beginn des tatsächlichen Bremsvorgangs ( $D_b = 2,21 \Delta V_b + 19,73$ ), ebenfalls mit den dazugehörigen Grenzen des 95 % Konfidenzintervalls (Obergrenze:  $D_b = 2,46 \Delta V_b + 28,53$ , Untergrenze:  $D_b = 1,96 \Delta V_b + 10,92$ ).

## Zusammenfassung

Unkritisches Fahrverhalten stellt eine Datenquelle dar, mithilfe derer Fahrerassistenzsysteme parametrisiert werden können. In den meisten Fällen werden Assistenzsysteme dann aktiviert, wenn die Fahrer vorgegebene Grenzen überschreiten. Diese Grenzen können aus „normalem“, unkritischem Verhalten einer großen Anzahl von Fahrern innerhalb einer NDS abgeleitet werden. Die hier vorgestellte Methodologie erlaubt die Beschreibung des Fahrerverhaltens mithilfe der Fahrerleistungsdatenbank, wie am Beispiel des Verhaltens von Autofahrern in Kurven gezeigt wurde. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass während der Befahrung von Kurven eine Bandbreite an unkritischem Fahrverhalten an den Tag gelegt wird. Dieses Fahrverhalten kann mittels mathematischer Gleichungen beschrieben werden, in unserem Fall durch eine Regressionsformel. An den Grenzen dieses „Verhaltensbandes“ könnte die Unterstützung des Fahrers beginnen. Diese Grenzen sollten jedoch durch Daten weiterer Studien zu unkritischem Fahrverhalten und kritischen Situationen validiert werden. Eine ergiebige Datenquelle bietet die 100-Car Studie von Dingus et al. (2006), deren Datensatz von anderen Forschungseinrichtungen genutzt werden darf.

## Danksagung

Die Untersuchung wurde von der Volkswagen AG Wolfsburg finanziert und mit Unterstützung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig durchgeführt.

## Literatur

- Dingus, T. A., Klauer, S. G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S. E., Sudweeks, J., et al. (2006). *The 100-Car Naturalistic Driving Study, Phase II (Results of the 100-Car Field Experiment)*. (DOT HS 810 593). National Highway Traffic Safety Administration.
- Ellinghaus, D., & Steinbrecher, J. (2003). *Fahren auf Landstraßen. Traum oder Albtraum? Untersuchung zum Fahrverhalten und Fahrvergnügen von Pkw-Fahrern auf Landstraßen*. Köln/Hannover: UNIROYAL-Verkehrsuntersuchung (28).
- Lippold, C. (1997). *Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen*. Unveröffentlichte Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.
- Niemeier, W., & Thomsen, S. (2003). GPS in der Unfallforschung. *Tagungsband der DGON-Symposium Positionierung und Navigation POSNAV*. Dresden, Germany.
- Statistisches Bundesamt (2007). *Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2006*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Suikat, R., Rataj, J., Schäfer, H., & Rollke, R. (2003). *ViewCar - den Fahrer verstehen*. *Tagungsband der Konferenz Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Tenzer, A. (2004). Die Fahrerleistungsdatenbank der Volkswagen AG als Werkzeug zur Beobachtung von Fahrerverhalten. *Tagungsband der 21. VW/VDI-Gemeinschaftstagung „Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme“*. Wolfsburg, Germany.