

# Lkw-Spurwechsel auf mehrspurigen Richtungsfahrbahnen

Von Jan-Dirk Schulze und Manfred Becke\*

**Spurwechselvorgänge von Lkw, insbesondere unter realen, zeitgemäßen Verkehrsbedingungen ermittelte Parameter, sind bisher nur unzureichend bekannt. Daher hat das Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke im Rahmen einer Diplomarbeit Lkw-Spurwechsel auf mehrspurigen Richtungsfahrbahnen untersucht.<sup>1</sup>**

## 1 Einleitung

Ein Spurwechsel ist heutzutage auf den Straßen ein alltäglicher Vorgang. Im Gegensatz zum mehrspurigen Stadtverkehr, bei dem bei mäßigen Geschwindigkeiten kaum Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Fahrspuren auftreten, birgt der Autobahnverkehr deutlich höhere Risiken. Mit einem erhöhten Gefahrenpotenzial verbunden sind vor allem die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Lkw und Pkw.

Für die Analyse der Lkw-Spurwechsel wurden hauptsächlich folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie lange dauert der Lkw-Spurwechsel?
- Welche Querbeschleunigungen entstehen beim Spurwechsel?
- Welche Bahnkurve befährt der Lkw beim Spurwechsel?
- Existiert ein fest definierter Punkt, an dem ein Spurwechsel für den nachfolgenden Verkehr eindeutig als solcher erkennbar ist?

## 2 Vorgehensweise

Aufgrund einer zu erwartenden Verzerrung der realen Bedingungen wurde auf Messungen und Untersuchungen auf abgeschlossenem Testgelände verzichtet und wurden stattdessen ausschließlich die unter

realen Bedingungen im alltäglichen Straßenverkehr durchgeführten Spurwechsel zur Analyse herangezogen. Zum einen wurden Lkw-Spurwechsel beobachtet und gefilmt, zum anderen wurden Spurwechsel mit einer Messeinrichtung innerhalb des Lkw aufgezeichnet.

Für die Filmaufnahmen wurde eine handelsübliche digitale Videokamera verwendet, die Aufnahmen wurden anschließend am PC ausgewertet. Zunächst wurde von einem erhöhten Standort der fließende Au-

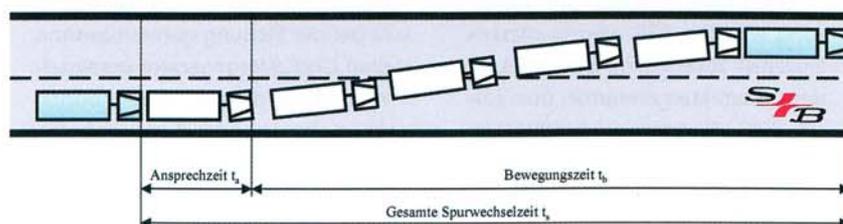
tobahnverkehr gefilmt, **BILD 1**, später wurde auch aus einem im Verkehr fahrenden Fahrzeug heraus gefilmt, wobei stets darauf geachtet wurde, dass die Kamera für andere Verkehrsteilnehmer möglichst verdeckt blieb, um eine unerwünschte Beeinflussung der Lkw-Fahrer zu vermeiden.

Die Messfahrten im Lkw wurden mit einem GPS-unterstützten Datalogger durchgeführt. Mit diesem Gerät konnten Quer- und Längsbeschleunigungen, Geschwindigkeiten, Richtungsänderungen und Spurwechselbahnen aufgezeichnet und später am PC ausgewertet werden.

Die Fahrer der messtechnisch ausgerüsteten Lkw erhielten die Anweisung, sich möglichst normal im Straßenverkehr zu verhalten. Zwi-



**BILD 1:** Spurwechsel von Brücke gefilmt



**BILD 2:** Definition der Spurwechseldauer

<sup>1</sup> Der Aufsatz ist die schriftliche Fassung eines Vortrages des Autors auf der EVU-Jahrestagung in Dresden 2006.

Anordnung auch bewusst schnelle Spurwechsel durch, die später gesondert ausgewertet wurden.

### 3 Spurwechselzeiten

Aufgrund der Uneinheitlichkeit der Literatur in der Beschreibung von Beginn und Ende eines Spurwechsels wird kurz die verwendete Definition der Spurwechseldauer beschrieben.

Eine Gesamspurwechseldauer  $t_s$  ergibt sich aus der Summe von Ansprechzeit  $t_a$  und Bewegungszeit  $t_b$ , **BILD 2**.

Die Ansprechzeit  $t_a$  ist gleichbedeutend mit der von Weiss [2] propagierten Totzeit  $\Delta T$ , die den Zeitraum zwischen dem Beginn der Lenkraddrehung und dem Beginn der Querbewegung umfasst, während die Bewegungszeit  $t_b$  den gesamten Zeitraum umfasst, in dem das Fahrzeug auch eine Querbewegung relativ zur Fahrbahnrichtung ausführt.

Die von Weiss [2] ermittelte Formel zur Bestimmung der Totzeit beziehungsweise Ansprechzeit, entstand jedoch aus Pkw-Spurwechselversuchen und ist daher möglicherweise nicht für Lkw-Spurwechsel verwendbar. Bezüglich der Dauer der Ansprechzeit  $t_a$  fanden in der vorliegenden Untersuchung keine Messungen statt. Diese Untersuchung beschäftigt sich nur mit der Bestimmung der Bewegungszeit  $t_b$ .

Eine weitere Problematik ergibt sich daraus, dass die Spurwechselbahnen und -zeiten für Zugmaschine und angehängte Module (Anhänger oder Auflieger) unterschiedlich sind. Je nachdem, ob ein Anhänger oder Auflieger angekoppelt ist, ergeben sich für die Bewegung des gezogenen Moduls verschiedene Schleppkurven, die von Fall zu Fall gesondert ermittelt werden sollten. Je nach Durchführung des Spurwechsels kann sich der Wiedergeradeauslauf des geschleppten Anhängers/Aufliegers am Spurwechselende im Normalfall um bis zu 1,0 s verzögern.

Für die Auswertung der Videosequenzen wurde die Querbewegungszeit des gesamten Zuges ermittelt, bei den messtechnisch erfassten

Spurwechseln wurde dagegen nur die Bewegung der Zugmaschine gemessen.

Die Auswertung der Videosequenzen ergab für die bewegte Spurwechselzeit  $t_b$  in etwa eine Normalverteilung der Ergebnisse, **BILD 3**.

Die kürzeste Spurwechseldauer wurde mit  $t_b = 4,6$  s gemessen, der höchste beobachtete Wert liegt bei  $t_b = 18,2$  s.

Ab einer Dauer von  $t_b = 13$  s kann ein Spurwechsel als extrem langsam eingestuft werden. Werte über 13 s treten nur sporadisch und ohne ausgeprägte Häufigkeiten auf und sind als Ausreißer zu bewerten. Sie wurden ausschließlich im Rahmen von übersichtlichen Aus- und Auffahrten beobachtet, wo die Fahrzeugführer lange Zeit hatten, sich auf die Spurwechselsituation einzustellen.

Das arithmetische Mittel der in die Berechnung einbezogenen 146 Spurwechsel liegt bei  $t_b = 8,1$  s, das 50. Perzentil beträgt  $t_b = 7,6$  s. Der 5.-Perzentil-Wert beträgt  $t_b = 5,5$  s, das 95. Perzentil liegt bei  $t_b = 11,8$  s.

Der ermittelte Durchschnittswert von  $t_b = 8,1$  s wird gestützt durch die Auswertung der Messschriebe des Dataloggers. Hier wird für die im normalen Betrieb durchgeführten Spurwechsel eine durchschnittliche Dauer von  $t_b = 7,3$  s ermittelt, die jedoch nur für die Bewegung der Zugmaschine gilt. Da für das Geradeziehen des Aufliegers eine Zeitspanne von bis zu  $t_{DG} = 1$  s entstehen kann, decken sich die auf unterschiedliche Weise gewonnenen Werte ziemlich gut.

Ein üblicher Wert für die gesamte Spurwechseldauer eines Sattelzuges oder Gliederzuges kann daher mit  $t_b = 8$  s angegeben werden. 90 % aller Spurwechsel werden in einem Zeitbereich zwischen  $t_{b,min} = 5,5$  s und  $t_{b,max} = 11,8$  s durchgeführt.

Eine Betrachtung der Spurwechselzeiten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ergab keinen belegbaren Zusammenhang zwischen den Parametern Geschwindigkeit und Spurwechseldauer, wobei dies möglicherweise auf den eingeschränkten Geschwindigkeitsbereich ( $v = 60-90$  km/h) der durchgeführten Spurwechsel zurückzuführen ist.

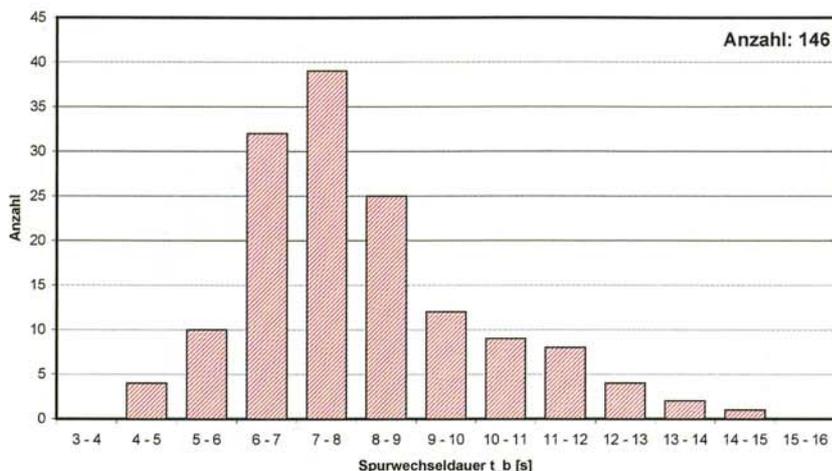


BILD 3: Verteilung der Spurwechselzeiten

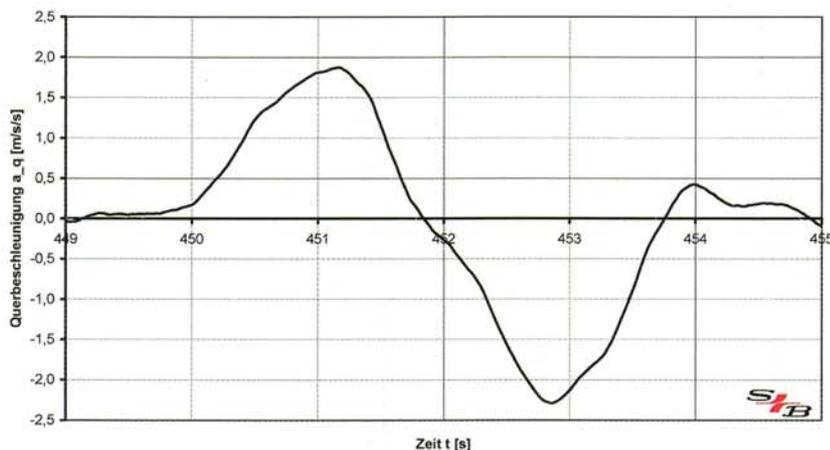


BILD 4: Querbeschleunigungsverlauf, Beispiel 1

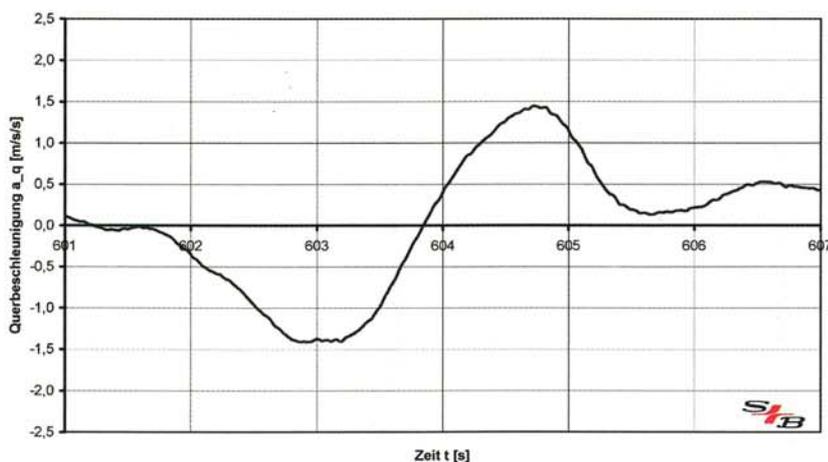


BILD 5: Querbeschleunigungsverlauf, Beispiel 2

Allgemein können aufgrund der Auswertungen weitere Aussagen über Spurwechselzeiten gemacht werden:

Spurwechsel im Rahmen von Überholvorgängen werden schnell-

ler durchgeführt als Spurwechsel an Auf- und Ausfahrten, die Durchschnittswerte liegen bei

$$t_{b, \text{Überhol}} = 7,6 \text{ s}$$

$$t_{b, \text{Auf-/Ausfahrt}} = 9,2 \text{ s}$$

Sattelzüge führen ihre Spurwechsel schneller aus als Gliederzüge, hier liegen die Durchschnittswerte bei

$$t_{b, \text{Sattelzug}} = 8,1 \text{ s}$$

$$t_{b, \text{Gliederzug}} = 8,4 \text{ s}$$

Spurwechsel nach links dauern länger als Spurwechsel nach rechts, im Durchschnitt

$$t_{b, \text{nach Links}} = 8,5 \text{ s}$$

$$t_{b, \text{nach Rechts}} = 7,6 \text{ s}$$

Die bewusst rasant durchgeführten Spurwechsel wurden einer gesonderten Betrachtung unterzogen. Sie wurden allesamt in einer Bewegungszeit  $t_b$  unter 5,0 s durchgeführt, der schnellste Spurwechsel wurde mit  $t_b = 4,6 \text{ s}$  notiert.

#### 4 Querbeschleunigungen

Die Querbeschleunigungswerte bei Lkw-Spurwechseln sind deutlich geringer als bisher angenommen. Üblicherweise beträgt die mittlere Querbeschleunigung während des Spurwechsels  $a_q = 0,2\text{-}0,6 \text{ m/s}^2$ , die maximale Querbeschleunigung beträgt  $a_q = 0,5\text{-}2,0 \text{ m/s}^2$ . Bei einem ruhig durchgeführten Spurwechsel ergibt sich mitunter eine maximale Querbeschleunigung von nur  $a_q = 0,5 \text{ m/s}^2$ , was kaum von den im Fahrbetrieb auftretenden Pendelbewegungen des Fahrzeugs zu unterscheiden ist.

Die höchsten erzielten Querbeschleunigungen wurden wie erwartet bei den bewusst rasant durchgeführten Spurwechseln notiert, hier wurden stets maximale Querbeschleunigungen um  $a_q = 2 \text{ m/s}^2$  verzeichnet, wobei die Spurwechsel gefühlsmäßig an der Grenze zum Unangenehmen empfunden und deutliche Schwankungen des Aufbaus beobachtet wurden. Der Maximalwert bei allen Querbeschleunigungsmessungen betrug  $a_{q, \text{max}} = 2,2 \text{ m/s}^2$ .

Da diese rasanten Spurwechsel das Maximum dessen darstellen, was sich die „Normal“-Lkw-Fahrer zutrauen, kann davon ausgegangen werden, dass für die Querbeschleunigung bei Lkw-Spurwechseln im üblichen Geschwindigkeitsbereich der Bereich zwischen  $a_q = 2,0 \text{ m/s}^2$

und  $a_q = 2,5 \text{ m/s}^2$  eine Sicherheitsgrenze darstellt.

Diese Grenze liegt deutlich unterhalb jeglicher kritischen Marken, so dass kein signifikantes Verrutschen von Ladung oder gar ein Kippen des Lastzuges zu erwarten ist.

Interessanterweise wurden in engen Kurven bei Auf- und Abfahrten und Autobahnkreuzen bei den zwangsläufig geringeren Geschwindigkeiten deutlich höhere Querbeschleunigungen verzeichnet – im normalen Fahrbetrieb bis zu  $a_q = 4 \text{ m/s}^2$ . Dies deckt sich wiederum mit den Untersuchungen im Pkw-Bereich von Schimmelpfennig/Nackenhorst [3].

In den **BILDERN 4 BIS 8** sind einige Beispiele für Querbeschleunigungsverläufe im Rahmen von Spurwechselfvorgängen dargestellt.

Auffällig ist bei den schnellen Spurwechseln der symmetrische und gleichmäßige Sinusverlauf, während bei den langsameren Spurwechseln der Sinusverlauf von Schwankungen überlagert wird.

## 5 Spurwechselbahn

Aus den Querbeschleunigungsverläufen ist bereits erkennbar, dass die Spurwechselbahn beim Lkw-Spurwechsel relativ symmetrisch abläuft. Diese Feststellung stellt einen Gegensatz zu den von Sporrer et al. [4] beobachteten Pkw-Spurwechseln dar, die für den Pkw-Spurwechsel eine deutliche Asymmetrie feststellten.

Die Spurwechselbahnen, die für die messtechnisch erfassten Spurwechsel erstellt wurden, zeigen mehrheitlich eine gute Übereinstimmung mit der von Spindler [5] propagierten schrägen Sinuslinie, die somit als geeignete Beschreibungsmöglichkeit der realen Spurwechselbahn empfohlen werden kann.

In den nachfolgenden Abbildungen werden beispielhaft einige reale Spurwechselbahnen mit einer angepassten schrägen Sinuskurve verglichen, **BILDER 9 BIS 13**.

Analog zu den beobachteten Querbeschleunigungen überlagern sich

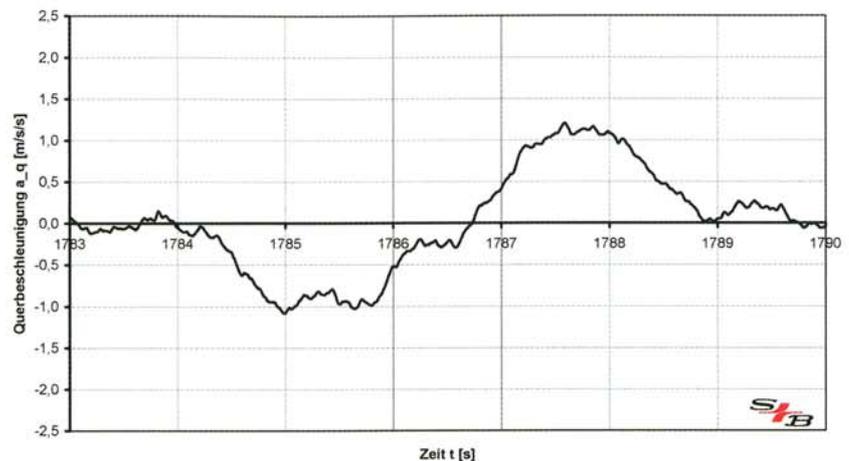


BILD 6: Querbeschleunigungsverlauf, Beispiel 3

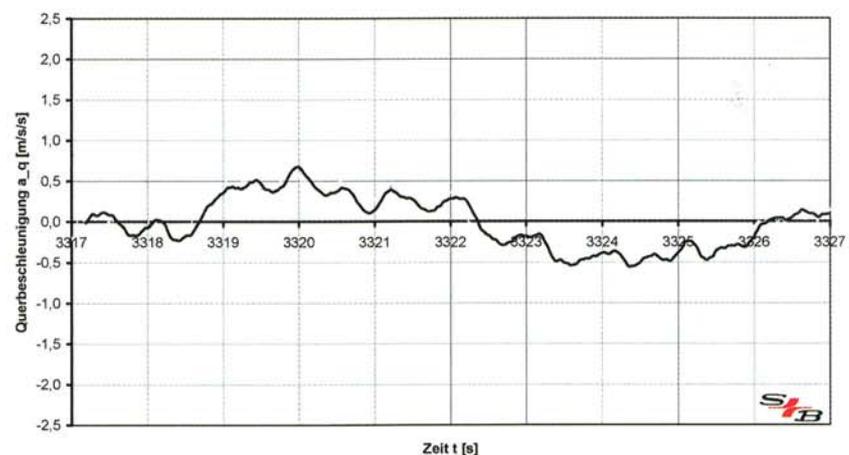


BILD 7: Querbeschleunigungsverlauf, Beispiel 4

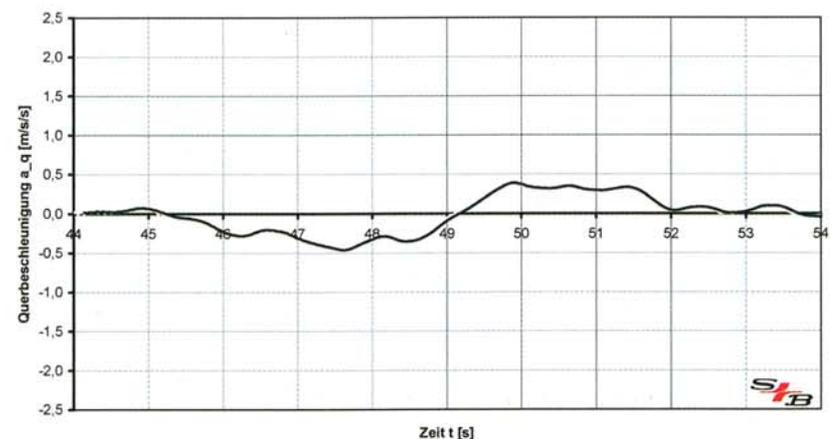


BILD 8: Querbeschleunigungsverlauf, Beispiel 5

bei geringeren Spurwechselzeiten reale Spurwechselbahn und schräge Sinuslinie deutlich besser als bei langsameren Spurwechseln. Bei zügigen Spurwechseln ist weiterhin

eine Tendenz erkennbar, dass nach einer heftigen Querbewegung ein Gegenlenken notwendig ist, um das Fahrzeug mittig in die Spur zu bringen, Bild 7.

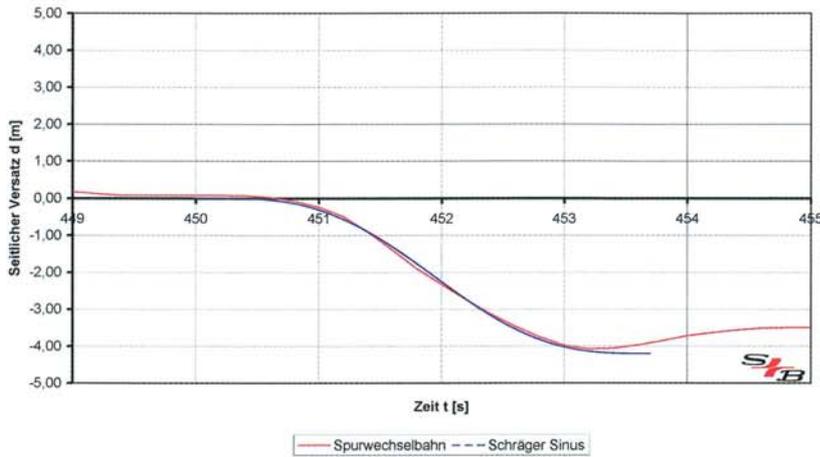


BILD 9: Spurwechselbahn, Beispiel 1

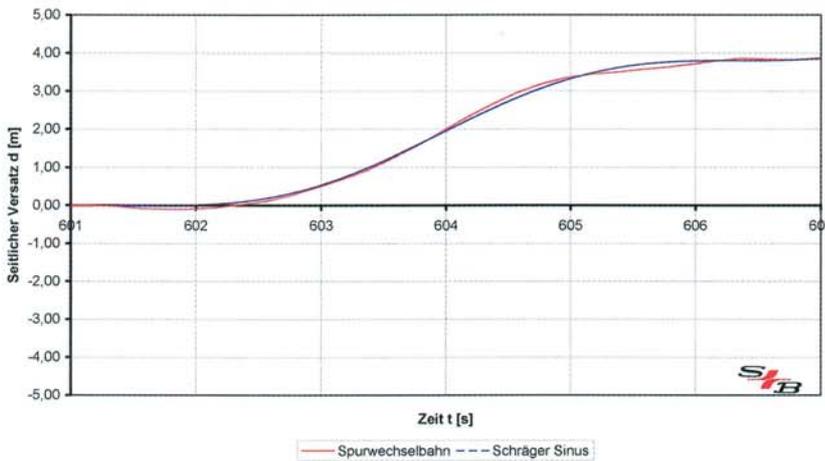


BILD 10: Spurwechselbahn, Beispiel 2

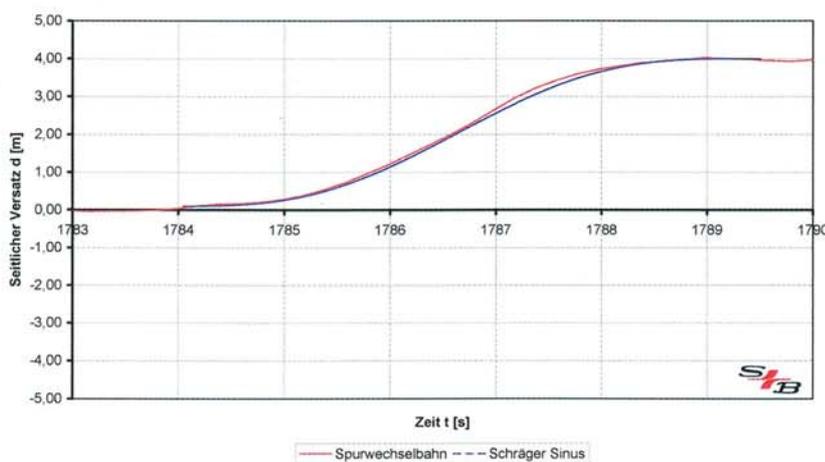


BILD 11: Spurwechselbahn, Beispiel 3

### 6 Erkennbarkeit des Spurwechselbeginns

In der Sachverständigenpraxis ist häufig von entscheidender Bedeu-

tung, ab welchem Zeitpunkt der Spurwechsel für den Beobachter, meistens ein von hinten heran-nahender Pkw-Fahrer, erkennbar ist. Hierbei soll vom Blinksignal als

Signalgeber für den einzuleitenden Spurwechsel einmal abgesehen werden.

Auf den Rechenweg von Sporrer et al. [4] soll für den Lkw-Bereich nicht zurückgegriffen werden, da diese Methode für den asymmetrisch verlaufenden Pkw-Spurwechsel konzipiert wurde.

Es zeigte sich in dieser Untersuchung, dass es keinen ausgewiesenen Punkt gibt, ab dem der Spurwechsel eindeutig als solcher zu erkennen ist. Die Vermutung, dass sich anhand des Radeinschlags oder der Schrägstellung des Zuges zur Fahrtrichtung eine Spurwechselabsicht ableiten lässt, erwies sich als nicht haltbar. Der Radeinschlag ist praktisch nicht erkennbar und die Schrägstellung des Zuges höchstens als untergeordnetes Erkennungsmerkmal zu bewerten. Nur selten ist die Schrägstellung so deutlich zu beobachten, wie es in BILD 14 der Fall ist.

Problematisch ist vor allem die Tatsache, dass das Fahrzeug innerhalb der Fahrspur ständige Pendelbewegungen ausführt, die in ihrer Amplitude durchaus mit einem echten Spurwechselbeginn verwechselt werden können. Es gilt also festzustellen, ab welchem Zeitpunkt eine Querbewegung über das übliche Maß der Pendelbewegung hinausgeht, und somit im Sinne der Gefahrenabwendung vom nachfolgenden Verkehr zwangsläufig als Spurwechselbeginn interpretiert werden muss.

In BILD 15 sind übereinander für die Spurwechselbahn nach der schrägen Sinuslinie die Querbewegung  $s_q$ , die zugehörige Spurwechselgeschwindigkeit  $v_q$  und die zugehörige Querbeschleunigung  $a_q$  über der Bewegungszeit  $t_b$  aufgetragen. Nimmt man die schräge Sinuslinie als gute Näherung für die reale Spurwechselbahn, dürfte im Bereich zwischen 0-15 % der Bewegungszeit  $t_b$  ein Spurwechselbeginn unter normalen Bedingungen im Straßenverkehr nicht erkennbar sein, da der seitliche Versatz bis zu diesem Punkt nur etwa 2%, also ca. 8 cm beträgt.

Etwa ab diesem Zeitpunkt wird die Querbewegung deutlich ver-

stärkt. Damit einhergehend bewegt sich auch die Querschleunigung auf einem hohen Niveau. Die Bewegungs-, Geschwindigkeits- und Querschleunigungskurven beginnen nun, sich von den im Fahrbetrieb unvermeidbaren Pendelbewegungen des Fahrzeugs in der Fahrspur zu unterscheiden.

Bei 25 % der Bewegungszeit ist das höchste Niveau der Querschleunigung erreicht. Der seitliche Versatz der Querbewegung beträgt zu diesem Zeitpunkt 10 % oder 38 cm. Eine konstante bis beschleunigte Bewegung über fast 40 cm quer zur Fahrtrichtung sollte unter normalen Bedingungen dem Fahrer eines nachfolgenden Fahrzeugs eine Spurwechselabsicht zu erkennen geben oder zumindest vermuten lassen und, wenn nötig, zu notwendigen Abwehrmaßnahmen veranlassen.

Ausgehend von einer mittigen Anordnung des Lkw in der Fahrspur überschreitet der Lkw bei 30 % der Bewegungszeit mit seinem ersten Vorderrad die Spurbegrenzungslinie, wobei der seitliche Versatz nun schon 15 % beziehungsweise 60 cm beträgt. Die Spurbegrenzungslinie stellt beim Spurwechsel den einzigen Fixpunkt dar, an dem sich ein Beobachter orientieren kann. Es darf generell davon ausgegangen werden, dass ein Spurwechsel spätestens mit dem Überschreiten der Spurbegrenzungslinie als solcher eindeutig erkannt werden kann.

Ein nicht angekündigter Spurwechsel dürfte also frühestens ab 15 % der Spurwechseldauer erkennbar sein. Spätestens und gleichzeitig am wahrscheinlichsten wird er im Bereich von etwa 25 % der Bewegungsdauer  $t_b$  für einen nachfolgenden Verkehrsteilnehmer deutlich werden, wenngleich diesem Wert in der Praxis aufgrund der sehr subjektiven Wahrnehmung verschiedener Verkehrsteilnehmer und fehlender Möglichkeiten zur Bestimmung eines früheren Fixpunktes sicherlich eine Toleranz bis zu einem Maximum von 30 % von  $t_b$  eingeräumt werden muss.

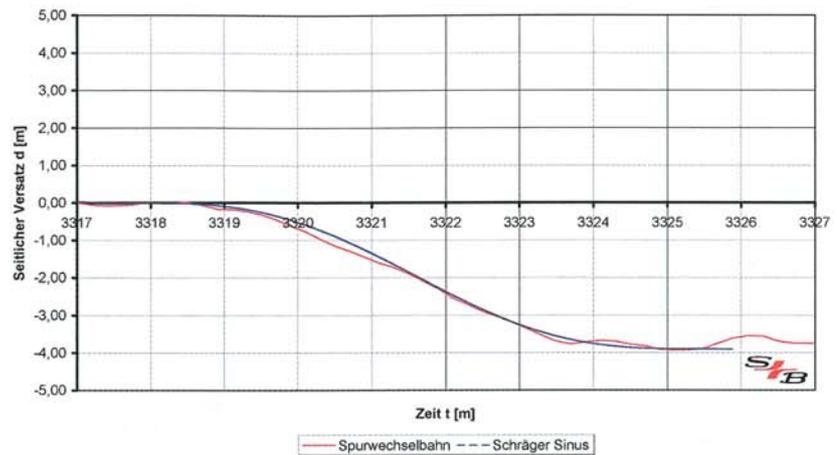


BILD 12: Spurwechselbahn, Beispiel 4

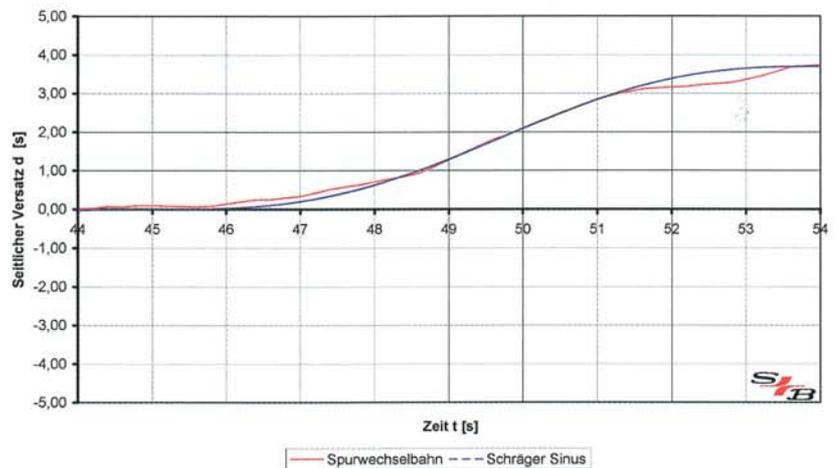


BILD 13: Spurwechselbahn, Beispiel 5



BILD 14: Schrägstellung während des Spurwechsels

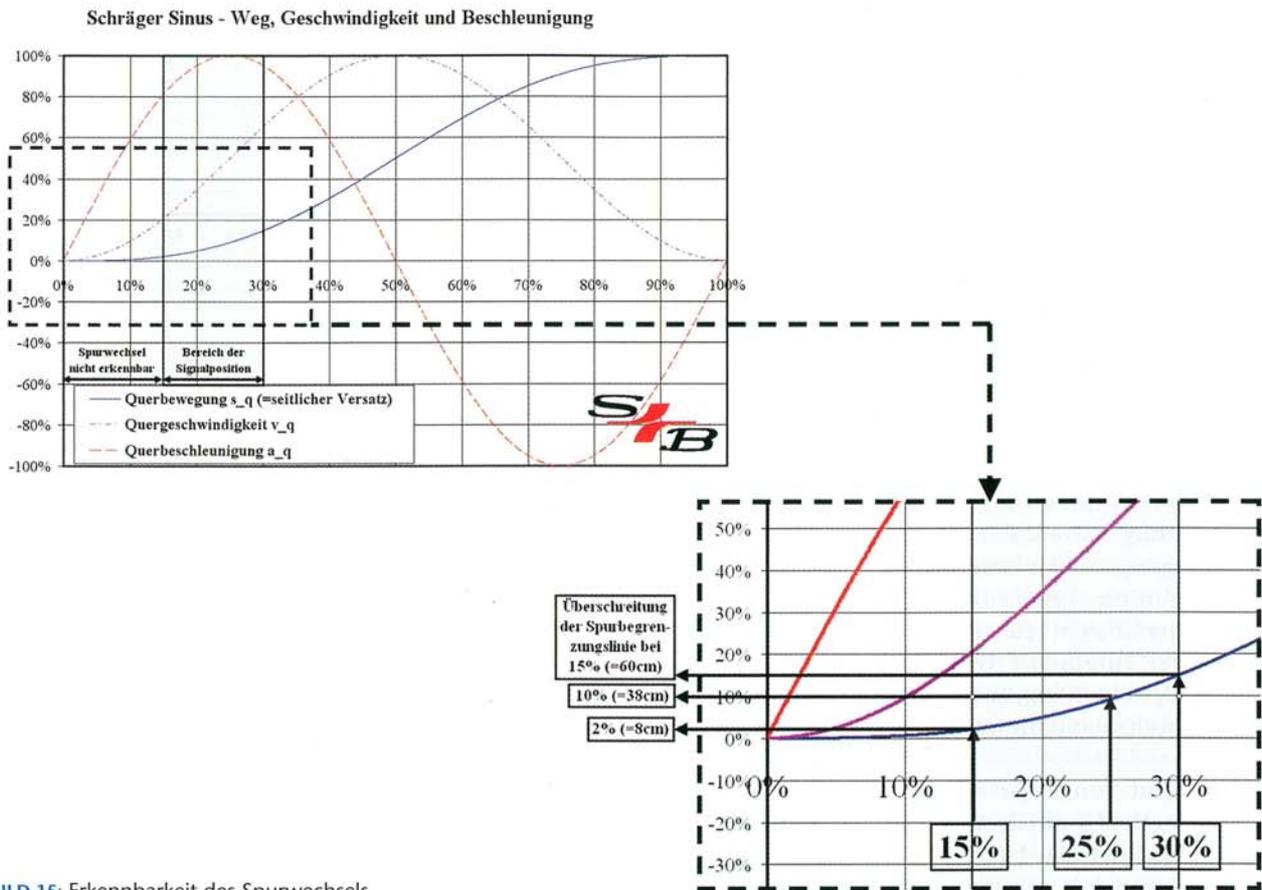


BILD 15: Erkennbarkeit des Spurwechsels

7 Zusammenfassung

Die im Verlaufe der Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse beweisen, dass zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Spurwechselvorgängen von Pkw und denen von Lkw existieren. Es zeigt sich, dass Lkw-Spurwechsel im Normalfall deutlich vorsichtiger und sanfter ausgeführt werden als Pkw-Spurwechsel und daher die für den Pkw-Bereich verwendeten Werte nicht auf den Lkw-Bereich übertragbar sind.

Im Pkw-Bereich werden Werte zwischen  $t_b = 3,1-6,5$  s genannt, während für Lkw-Spurwechsel eine Bandbreite von  $t_b = 5-11,8$  s angenommen werden kann.

Einzig die schräge Sinuslinie zur stellvertretenden Darstellung der Spurwechselbahn des Zugfahrzeugs kann aus dem Pkw-Bereich übernommen werden.

Lkw-Spurwechsel auf mehrspurigen Richtungsfahrbahnen werden grundsätzlich in einem sehr eingeschränkten Geschwindigkeitsfen-

ter durchgeführt und weisen immer den mehr oder weniger gleichen Seitenversatz auf. Daher hängt die Beschreibung des Spurwechsels nur von wenigen freien Parametern (Querbeschleunigung, Dauer, Strecke) ab, die noch dazu recht gut eingrenzbar sind und in einen direkten Zusammenhang gebracht werden können. Die Geschwindigkeit des spurwechselnden Lkw hat keinen erkennbaren Einfluss auf das Spurwechselverhalten.

Normal durchgeführte Lkw-Spurwechsel sind vom Aspekt der Rutsch- und Kippsicherheit als absolut unbedenklich einzustufen und selbst kontrolliert schnell durchgeführte Spurwechsel weisen Querbeschleunigungen auf, die weit unterhalb jeglicher kritischer Grenzen liegen.

Literaturhinweise

[1] Schulze, J.D.: Lkw-Spurwechsel auf mehrspurigen Richtungsfahrbahnen. Diplomarbeit, FH München, 2006  
 [2] Weiss, E.: Untersuchung und Rekonstruktion von Ausweich- und Fahr-

spurwechselvorgängen. Dissertation, TU München, 1987

[3] Schimmelpfennig, K.H.; Nackenhorst, U.: Bedeutung der Querbeschleunigung in der Verkehrsunfallrekonstruktion - Sicherheitsgrenze des Normalfahrers. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 4, 1985  
 [4] Sporrer, A.; Prell, G.; Buck, J.; Schaible, S.: Realsimulation von Fahrspurwechselvorgängen im Straßenverkehr, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 3, 1998  
 [5] Spindler, W.: Wege, Querbeschleunigungen und die Wahl der Überholwege bei der Kurvenfahrt von Kraftfahrzeugen, Dissertation, TU München, 1963

\* Autoren

Dipl.-Ing. Jan-Dirk Schulze ist Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster.  
 Dipl.-Ing. Manfred Becke ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Kfz-Technik und Straßenverkehrsunfälle im eigenen Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster. ::