

Kreuzungskollisionen mit Rotlichtverstoß

Dr. rer. nat. Thomas Dembsky

Auslösekriterien von Rückhaltesystemen

Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter

Aktuelle Fahrversuche: Pkw-Spurwechsel mit Richtgeschwindigkeit auf Autobahnen

Dipl.-Phys. Severin Schlottbom

Untersuchung der Verletzungsmöglichkeit bei schief-frontalen Kollisionen

Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff

Kompatible Schäden und trotzdem Betrug

Dipl.-Ing. Thilo Romberg

Crashverhalten im Crashvergleich: der neue Biofidel-Dummy

Dipl.-Phys. Annika Kortmann



FÄLLE. ANALYSEN. ERGEBNISSE.



SCHIMMELPFENNIG + BECKE

SEIT 1978.



Aller guten Dinge sind drei.

Mit Wirkung zum September 2017 wurde die Schimmelpfennig + Becke GbR in die Schimmelpfennig + Becke GmbH & Co. KG überführt. Neben den beiden geschäftsführenden Gesellschaftern Prof. Karl-Heinz Schimmelpfennig und Dr. Manfred Becke wurde Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter zum Geschäftsführer ernannt. „Wir müssen mit der technischen Entwicklung der Fahrzeuge auch in Zukunft mithalten“, meint Prof. Schimmelpfennig. Dr. Becke fügt hinzu: „Mit Herrn Dr. Holtkötter haben wir das perfekte Bindeglied zwischen heute und morgen gefunden“. Dr. Holtkötter: „Es warten interessante Herausforderungen auf uns; neue Fahrzeuge, mehr elektronisch-technische Fragestellungen und nicht zuletzt der Einfluss moderner Fahrassistenten und die zunehmende Ablenkung der Verkehrsteilnehmer“.

INHALT

05 Kreuzungskollisionen mit Rotlichtverstoß
Dr. rer. nat. Thomas Dembsky

09 Auslösekriterien von Rückhaltesystemen
Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter

12 Aktuelle Fahrversuche:
Pkw-Spurwechsel mit Richtgeschwindigkeit auf Autobahnen
Dipl.-Phys. Severin Schlottbom

16 Umfangreiche Studie zur Untersuchung der Verletzungsmöglichkeit
bei schief-frontalen Kollisionen
Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff

19 Kompatible Schäden und trotzdem Betrug
Dipl.-Ing. Thilo Romberg

23 Crashverhalten im Crashvergleich: der neue Biofidel-Dummy
Dipl.-Phys. Annika Kortmann



Dr. rer. nat. Thomas Dembsky



Kreuzungskollisionen mit Rotlichtverstoß

Durch die Vernetzung von Lichtzeichenanlagen zu Verkehrsleitsystemen werden zunehmend auch Daten gespeichert, die einen wichtigen Beitrag zur Rekonstruktion eines Verkehrsunfalles leisten können.

Ereignet sich in einem lichtzeichengeregelten Kreuzungsbereich ein Verkehrsunfall und behauptet jeder der beteiligten Fahrzeugführer, er wäre bei Grünlicht eingefahren, so ließ sich ein Rotlichtverstoß bisher lediglich durch Beobachtungen von Zeugen aufklären. Ein Sachverständiger vermochte ohne die Aussage einer unbeteiligten Person lediglich Plausibilitätsabwägungen vorzunehmen. Hierzu werden üblicherweise die Angaben der Beteiligten bezüglich der von ihnen bemerkten Ampelschaltung und die durch eine Kollisionsanalyse bestimmten Geschwindigkeiten, d.h. ob ein Anfahren aus dem Stand heraus erfolgte oder eine Einfahrt im fließenden Verkehr vorlag, berücksichtigt. Es

gibt jedoch eine weitere, bisher kaum beachtete Möglichkeit der Aufklärung eines Rotlichtverstoßes durch den Sachverständigen, nämlich die Auswertung von Protokollen der Lichtzeichenanlagen, die z.T. auch zeitabhängige Positionsdaten der Fahrzeuge beinhalten.

Bei modernen Lichtzeichenanlagen (LZA) werden lokal Protokolle gespeichert, aus denen die Schaltzustände der Ampelanlage in Abhängigkeit von der Uhrzeit hervorgehen. Diese Daten sind für einen Zeitraum von Stunden bis zu wenigen Tagen – je nach Bauart der Anlage – verfügbar und können somit im Rahmen einer Unfall-

aufnahme gesichert werden. In Großstädten und Ballungsgebieten wird ein Großteil der dortigen Lichtzeichenanlagen von Verkehrsrechnern überwacht und gesteuert. Da die Daten der angeschlossenen Anlagen an den Verkehrsrechner übertragen werden, besteht im Falle eines späteren Prozesses die Möglichkeit, diesen Signalplanmitschrieb vom Betreiber des Verkehrsrechners (i.d.R. ist dies das Tiefbauamt der Stadt) zu erhalten. Die Protokolle werden meist für einen Zeitraum von Jahren archiviert.

Für den seltenen Fall, dass der Unfallzeitpunkt sekundengenau bekannt ist, können die Schaltzustände der Lichtzeichenanlage unmittelbar mit dem Unfallgeschehen verknüpft werden. Für den Fall eines nicht auf Sekunden genau bekannten Unfallzeitpunkts wird ein Nutzen aus der Bauart moderner, bedarfsgeregelter Anlagen gezogen. Um einen optimalen Verkehrsfluss zu generieren, müssen die Fahrzeuge im Nahbereich der LZA erfasst werden. Die heutzutage gängigste Methode hierfür stellt die Erfassung mittels Induktionsschleifendetektoren dar. Diese beruht auf einem einfachen Prinzip. In den Fahrstreifen vor der Lichtzeichenanlage sind stromdurchflossene Drahtschlaufen verlegt. Bewegt sich ein Fahrzeug in den Erfassungsbereich einer solchen Induktionsschleife, bewirkt der Metallanteil im Fahrzeug eine messbare Veränderung des Magnetfeldes.

Die Signale der Induktionsschleifendetektoren werden vom Steuergerät der Lichtzeichenanlage erfasst und gespeichert. Somit sind sie auch Bestandteil des Signalplanmitschriebs. Die exakte Lage der Induktionsschleifen kann aus dem Signallageplan, aus Luftbilddaufnahmen oder durch eine Vermessung vor Ort ermittelt werden. Den Detektorsignalen können Fahr- und Haltevorgänge einzelner Fahrzeuge zugeordnet werden. Für den Fall, dass mehrere Detektoren für ein und denselben Fahrstreifen verbaut sind, kann ebenfalls die Geschwindigkeit unter Berücksichtigung gewisser Toleranzen ermittelt werden.

Die Vorgehensweise bei der Auswertung von Verkehrsrechnerdaten wird im folgenden Abschnitt anhand der Unfallrekonstruktion zu einem Zivilprozess veranschaulicht. Bei dem zu analysierenden Unfallgeschehen kollidierten zwei Fahrzeuge im Querverkehr im Bereich einer Straßeneinmündung. Der Beklagte gab an, dass er bei Grünlicht eingefahren sei und den Einmündungsbereich in Geradeausfahrt passieren wollte. Der Fahrer des von rechts kommenden Klägerfahrzeugs sagte aus, zunächst an der Rotlicht zeigenden Ampel gewartet zu haben. Erst nach Wechsel auf Grünlicht sei er in den Kreuzungsbereich eingefahren. Bei seinem Einbiegevorgang kollidierte er mit dem von links kommenden Beklagtenfahrzeug.

Durch eine Kollisionsanalyse werden die Einfahrtgeschwindigkeiten und die Einfahrrichtungen der unfallbeteiligten Fahrzeuge bestimmt. Setzt man den Kollisionsort in Bezug zur Position der überfahrenen Detektoren, so folgt hieraus ein zeitliches Muster der Detektorauslösungen. Dieses Muster gilt es im Signalplanmitschrieb zu identifizieren, um den exakten Unfallzeitpunkt bestimmen zu können. Hieraus kann dann wiederum die Ampelschaltung zum Zeitpunkt des Einfahrens der Fahrzeuge in den Kreuzungsbereich rekonstruiert werden.

Grundsätzlich gilt: Je genauer der Zeitpunkt der Kollision bekannt ist, desto einfacher gelingt die Zuordnung. Vereinfachend wirkt sich ebenfalls eine geringe Anzahl an Fahrvorgängen im zu analysierenden Zeitraum aus. Da die Fahrzeuge nach dem Unfall oftmals Bereiche einer Kreuzung blockieren, kann in einem solchen Fall der Unfallzeitpunkt durch ein nachkollisionäres Ausbleiben von Fahrvorgängen auf der betreffenden Spur ersichtlich werden.

Zur Überprüfung einer Zuordnung oder auch bei unklarer Identifikation der Fahrvorgänge sollten die Aussagen der Beteiligten bzw. die eventuell vorhandenen Aussagen von Zeugen hinsichtlich der Fahrzeugpositionen in Bezug zu weiteren Fahrzeugen und in Bezug zur Ampelschaltung analysiert werden. Hierdurch können in der Regel bereits Fahrvorgänge aus dem Signalplanmitschrieb ausgeschlossen werden. Beispielsweise könnte übereinstimmend beschrieben werden, dass vor und hinter einem unfallbeteiligten Fahrzeug kein weiteres gefahren sei, so dass nur isolierte Detektorsignale in Betracht kommen.

Das Ergebnis der durchgeführten Geschwindigkeitsanalyse war, dass ein Anfahren des Klägerfahrzeugs aus dem Stand aus technischer Sicht plausibel darstellbar ist. Da sich der Unfall im Stadtgebiet von Bochum ereignet hatte und die betreffende Lichtzeichenanlage an den dortigen Verkehrsrechner angeschlossen war, konnte ergänzend der Signalplanmitschrieb ausgewertet werden. Einen Ausschnitt dieser Daten zeigt exemplarisch die **Abb. 1**. Im oberen Bereich sind die uhrzeitabhängigen Schaltzustände der Signalgruppen zu erkennen, während im unteren Bereich die Signale der einzelnen Induktionsschleifendetektoren dargestellt sind.

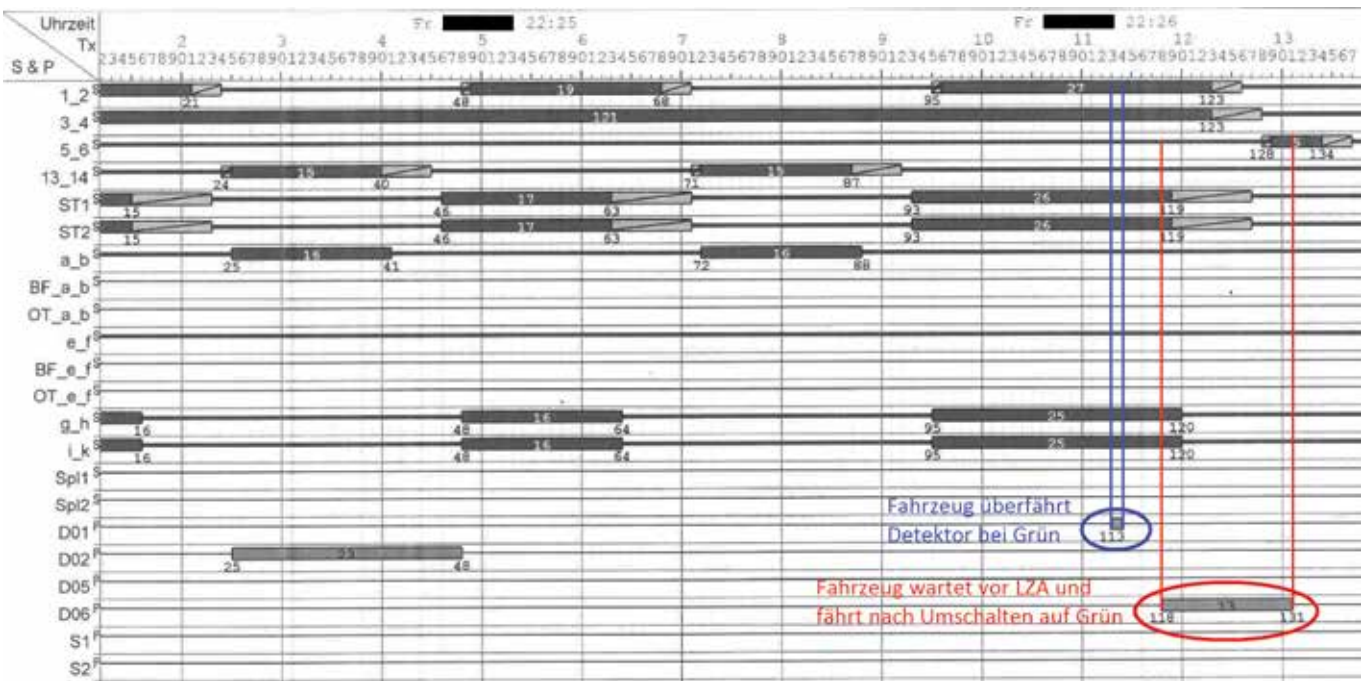


Abb. 1: Signalplanmitschrieb aus dem Verkehrsrechner

in der Verkehrsunfallanzeige angegebenen Uhrzeit überein. Außerdem gab es nach der Kollision keine weiteren Fahrvorgänge auf der Fahrspur des Klägerfahrzeugs, was durch ein Blockieren der Spur durch das verunfallte Fahrzeug erklärt werden kann.

Der Detektor auf der Fahrspur des Klägerfahrzeugs befand sich unmittelbar vor dem dortigen Haltebalken, um ein dort wartendes Fahrzeug erfassen zu können. Die Betrachtung weiterer Fahrvorgänge auf dieser Spur zeigte, dass die Fahrzeuge bei Rot an den Haltebalken gefahren wurden, dort auf Grünlicht warteten, und wenige Sekunden nach dem Umschalten der Ampel den Detektor verlassen hatten. Das Detektorsignal vom Klägerfahrzeug brach jedoch bereits in dem Moment ab, als die für den Fahrer geltende Ampel von Rot auf Gelb umsprang. Demnach wurde das Klägerfahrzeug bereits während der Rotphase angefahren.

Bei der Betrachtung von Fahrvorgängen auf den Fahrspuren mit vorverlagerten Induktionsschleifen fiel auf, dass auch deren bei Rot ausgelöstes Detektorsignal im Signalplanmitschrieb bis zum Zeitpunkt des Umschaltens auf Gelb bestehen blieb. Somit lag die Vermutung nahe, dass ein Auslösen des Detektors bei Rot im Signalplanmitschrieb als eine sogenannte „Anforderung“ dargestellt wird. Es wurde Rücksprache mit dem Tiefbauamt und dem Hersteller der LZA-Steuerung gehalten. Beide konnten jedoch weder mit Sicherheit bestätigen noch verneinen, dass die Signale im Mitschrieb derart dargestellt werden. Zur Überprüfung dieser These wurden Fahrversuche durchgeführt,

bei denen die Detektorsignale direkt am Steuergerät ausgelesen und im Anschluss daran mit den Daten aus dem Verkehrsrechner abgeglichen wurden. Es zeigte sich, dass trotz eines Signalabbruchs des Detektors am Steuergerät das Detektorsignal im Protokoll des Verkehrsrechners bis zur erneuten Freigabe der LZA dargestellt wurde.

Bei der Auswertung von Verkehrsrechnerdaten ist es also im Zweifelsfall wichtig, mit dem Betreiber des Verkehrsrechners und/oder dem Hersteller der Lichtzeichenanlage Rücksprache zu halten und gegebenenfalls Fahrversuche an Ort und Stelle durchzuführen. Wie im vorliegenden Fall kann es mitunter vorkommen, dass die Daten im Signalplanmitschrieb standardmäßig anders dargestellt werden, als sie von der Ampelanlage vor Ort erfasst worden sind.

Es bleibt festzuhalten, dass dem Fahrer des Klägerfahrzeugs durch die Archivdaten aus dem Verkehrsrechner ein Rotlichtverstoß nachgewiesen werden konnte. Lediglich der exakte Zeitpunkt des Einfahrens in den Kreuzungsbereich konnte in diesem speziellen Fall nicht ohne weiteres ermittelt werden. Als mögliche Reaktionsauslösung kommt gemäß Weg-Zeit-Betrachtung in Anlehnung an die Signalplandaten eine Reaktion auf das Umschalten einer Fußgängerampel im Sichtfeld des Fahrers infrage.

Für eine ausführliche Darstellung des Themas wird auf den Artikel *Haftungsverteilung bei Kreuzungsunfällen und Unfallrekonstruktion durch Auswertung von Verkehrsrechnerdaten* (DAR 12/2017) verwiesen.

Zusammenfassung

Die Auswertung von LZA-Protokollen des Verkehrsrechners stellt eine objektive Methode zum Nachweis eines Rotlichtverstoßes bei einer Kreuzungskollision dar und kann somit einen wichtigen Beitrag zur Unfallaufklärung in Gerichtsprozessen einnehmen. Wenn der Unfallzeitpunkt nicht genau bekannt ist, kann dieser aus den Detektorsignalen bedarfsgesteuerter Anlagen anhand des Bewegungsmusters der Fahrzeuge ermittelt werden.

Dr. rer. nat. Thomas Dembsky

ist seit 2016 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke als Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle tätig.



Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter



Auslösekriterien von Rückhaltesystemen

Die Entscheidung zum Auslösen eines Airbags ist bereits abgeschlossen, wenn die Fahrzeuge noch gar nicht ihre vollständige Deformationstiefe erreicht haben. Damit entsteht eine große Unsicherheit bei der Beurteilung der Auslösekriterien anhand der Fahrzeugschäden.

Ein naheliegender Indikator zur Beurteilung der Schwere einer Fahrzeugkollision ist der Umstand, ob an einem Fahrzeug ein oder mehrere Airbags ausgelöst wurden. Somit ist auch nachvollziehbar, dass die Angabe bestimmter Auslöseschwellen für Airbagsysteme schon seit vielen Jahren insbesondere unter den technischen Sachverständigen diskutiert werden. So wurde beispielsweise im VDI-Bericht 1354 vom AZT München im Jahre 1997 vorgeschlagen, abhängig von den Fahrzeugherstellern Auslöseschwellen für die Airbagsysteme nach EES-Wert, das heißt, entsprechend der Deformationsenergie einer Kollision einzuteilen.

Mit den modernen Airbagsystemen sind mittlerweile viele Fahrzeuge mit einer sogenannten Event-Data-Recorder (EDR)-Funktion ausgestattet, die es erlaubt, nach der Kol-

lision weitere Parameter zur Airbagauslösung auszulesen. Mit Hilfe dieser Daten kann ein tiefer Einblick in die Auslöseschwellen und Auslösestrategien erhalten werden.

Messdaten eines Airbagsteuergerätes

In **Abb. 1** sind Crashdaten aus einer Pkw-Pkw-Frontalkollision gezeigt, die durch die EDR-Funktion des Airbag-Steuergerätes eines der Fahrzeuge aufgezeichnet wurden. Das Diagramm zeigt die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in Abhängigkeit der Zeit. Zusätzlich sind in dem Diagramm die Auslösezeiten, das heißt, die Momente im Verlauf der Kollision, bei denen die einzelnen Rückhalteeinrichtungen gezündet wurden.

Es lässt sich ablesen, dass die Auslösezeiten für Fahrer-/Beifahrer-Airbag und Gurtstraffer sowie für den Fahrerkopf-Airbag etwa bei 10 ms nach Beginn der Aufzeichnung erfolgt sind. Dies ist aus der allgemeinen Technik zur Auslösung von Airbags auch nachvollziehbar, da im Allgemeinen zwischen etwa 10 bis 20 ms nach Beginn der Kollision die Entscheidung zum Auslösen von Airbags getroffen werden muss. Da der Airbag noch rund 30 ms benötigt, sich voll zu entfalten, bleibt vor dem Aufprall des Insassen in den Airbag 50-60 ms nach Kollisionsbeginn keine weitere Zeit zur Verfügung.

Bezogen auf die Analyse der Kollision nach dem Unfallgeschehen anhand der Fahrzeugschäden ergibt sich aber hier das zentrale Problem: Die Airbagauslösung erfolgt innerhalb der ersten 10 bis 20 ms der Kollision, während die Fahrzeugdeformationen über die gesamte Kollisionsdauer von 100 bis 150 ms entstehen. Das heißt, dass der Airbag etwa innerhalb der ersten 10 bis 20 % der Kollision gezündet wird, und damit zu einem Zeitpunkt, an dem noch gar nicht feststeht, wie sich die Kollision tatsächlich weiter entwickelt.

Diese Unsicherheit ist in **Abb. 2** skizziert: während der tatsächliche Verlauf der Kollision bis zum Ende der Kollision bei etwa 100 ms bis zu einer Gesamtgeschwindigkeitsänderung von rund 65 km/h führte, wäre aus dem ersten Verlauf auch eine Geschwindigkeitsänderung von lediglich 35-40 km/h möglich (vgl. rote Linie bzw. grün schraffierter Bereich). Es ist daher für den Auslösealgorithmus im Airbagsteuergerät nicht absehbar, wie schwer sich die Kollision nach den ersten 20 % tatsächlich weiter entwickelt.

Da aber der Unfallanalytiker mit den Schäden nur das Ergebnis der gesamten Kollisionsdauer betrachten kann, sagt das Kriterium einer Airbagauslösung prinzipiell nur etwas über die ersten 10 bis 20 % der Kollision aus. Das heißt, die Information, ob ein Airbag ausgelöst wurde oder nicht, lassen lediglich Rückschlüsse auf die ersten 10 bis 20 % der Deformation zu.

Beispieluntersuchung

Dieser Zusammenhang kann an einem konkreten Beispiel mit einer Versuchsreihe gezeigt werden:

In einem gerichtlichen Gutachten ging es u.a. um die Frage, ob die Auslösung einer sogenannten NECK-Pro-Kopfstütze von Mercedes-Benz eine Aussage über die Intensität einer Heckauffahrkollision bieten kann. Die NECK-Pro-Kopfstütze kann im Falle einer Kollision etwa 10 bis 15 cm nach vorne geklappt

werden, um bei einer Heckauffahrkollision den Kopf des Insassen frühzeitig aufzufangen und die Belastung beim Anprall zu verringern. Zur Untersuchung der Auslöseschwellen für die NECK-Pro-Kopfstützen wurde eine Pendelapparatur verwendet (**Abb. 3**). Mit Hilfe eines Pendels wird ein Schlitten angestoßen, auf dem sich drei NECK-Pro-Sensoren und zur Referenzmessung ein Beschleunigungsmesser befinden. Mit Hilfe verschiedener Auslenkungsweiten des Pendels können so verschiedene Belastungshöhen für die Sensoren nachgestellt werden.

In **Abb. 4** ist ein beispielhafter Beschleunigungsverlauf gezeigt, der durch den Referenzsensor auf dem Schlitten aufgezeichnet wurde. Bei einem entsprechenden Beschleunigungsverlauf (blau) lösen die NECK-Pro-Sensoren etwa 38 ms nach dem Anprall aus (rot). Da die Kollisionsdauer einer typischen Fahrzeug-Fahrzeug-Kollision im Bereich von 100 bis 150 ms liegt, gilt auch für die Kopfstützen, dass die Auslösung bereits im ersten Drittel der Kollision erfolgt.

Damit entscheiden nur die ersten 38 ms über die Auslösung, alles, was durch die Kollision im weiteren Verlauf beschädigt wird, lässt keinen Rückschluss über das Auslösekriterium zu.

In **Abb. 5** ist der Zusammenhang anhand der kollisionsbedingten

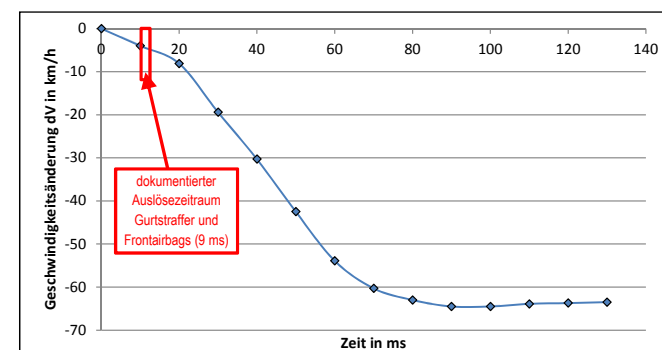


Abb. 1: Aufgezeichnete Daten im Airbagsteuergerät mit Auslösezeitpunkt der Rückhaltesysteme.

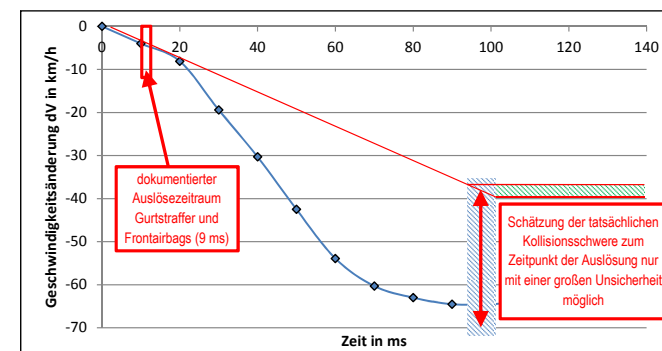


Abb. 2: Zum Auslösezeitpunkt kann nur mit großer Ungenauigkeit geschätzt werden, wie die Kollision weiter verläuft.

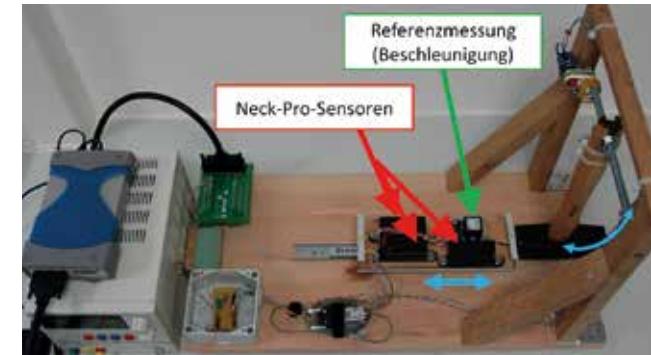


Abb. 3: Messaufbau mit Pendel und Sensorschlitten



Abb. 4: Beschleunigungsverlauf (blau) und Auslösesignal (rot)

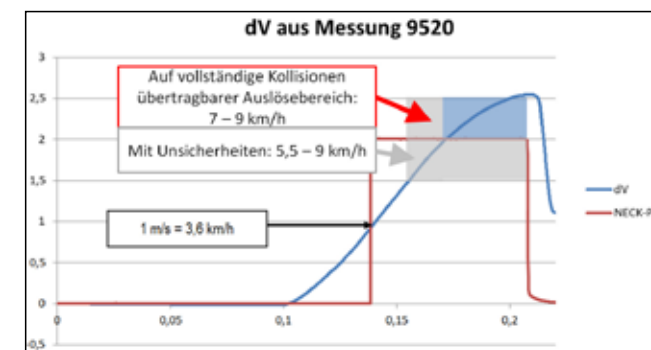


Abb. 5: Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (blau) und Auslösesignal (rot)

Geschwindigkeitsänderung aufgezeichnet. Es zeigt sich bei einer Kollisionsdauer von etwa 100 ms und einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von rund 9 km/h, dass zum Zeitpunkt der Auslösung der Kopfstützen nur ein Wert von 3,6 km/h erreicht wurde. Da eine Fahrzeug-Kollision jedoch nicht nach 38 ms abrupt endet, sondern von einer Kollisionsdauer von mindestens 80 ms auszugehen ist, ergibt sich damit ein möglicher „Auslösebereich“ für die NECK-Pro-Kopfstützen zwischen 7 und 9 km/h. Durch die Unsicherheiten bei dem Beschleunigungsanstieg innerhalb des ersten Drittels der Beschleunigung ist bei einer tatsächlichen Fahrzeug-Fahrzeug-Kollision mit einem Auslösebereich der NECK-Pro-Kopfstützen von rund 5,5 bis 9 km/h Delta v zu rechnen.

Zusammenfassung

Nach einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kollision liegt es zunächst nahe, den leicht erkennbaren Anknüpfungspunkt einer Airbagauslösung als Indikator für die Intensität der Kollision oder für das Geschwindigkeitsniveau heranzuziehen. Eine entsprechende technische Analyse der Auslösemechanismen von Airbagsystemen zeigt jedoch auf, dass die Entscheidung zum Auslösen der Rückhaltesysteme innerhalb des ersten Drittels der Kollision getroffen werden müssen. Dadurch kann prinzipiell für die Technik nicht mehr beurteilt werden, wie sich die Kollision nach dem ersten Drittel fortentwickelt.

Nach einer Kollision zeigt sich mit den Schäden an den Fahrzeugen aber nur das Endergebnis des Kollisionsverlaufes. Die Schäden entstehen aber zum Großteil nach der Auslösung im ersten Drittel der Kollision, wodurch eine große Unsicherheit für den Zusammenhang Auslösung und Schäden entsteht. Schließlich lässt sich prinzipiell kein sicherer Zusammenhang aus den Schäden an den Fahrzeugen und einer möglichen Airbagauslösung zusammenstellen, der über eine pauschale Aussage kleine Kollisionen - keine Auslösung und schwerere Kollisionen - Auslösung der Airbags hinausgeht.

Das Beispiel der aktiven Mercedes-Benz-Kopfstützen NECK-Pro führt zu einer „Auslöseschwelle“ der Kopfstützen bei einer Heckkollision mit einem Delta v von mindestens 5,5 bis 9 km/h.

Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter

ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Geschäftsführer der Schimmelpfennig + Becke GmbH & Co. KG. Zu seinen Schwerpunkten gehören das Auslesen und die Analyse von elektronischen Steuergeräten.



Dipl.-Phys. Severin Schlottbom



Pkw-Spurwechsel mit Richtgeschwindigkeit auf Autobahnen

Bei Autobahnkollisionen im Rahmen von Spurwechseln ist insbesondere unter dem Aspekt der Vermeidbarkeit die Spurwechseldauer eines Pkw von besonderer Relevanz, liefert diese bei bekanntem Kollisionsort und eng eingegrenzten Geschwindigkeiten der Unfallgegner doch Anhaltspunkte zum Reaktionsverhalten der beteiligten Fahrzeugführer. Hierzu wurden Pkw-Fahrversuche mit Richtgeschwindigkeit unter eng definierten Rahmenbedingungen durchgeführt. Im Ergebnis wurden überwiegend Spurwechsel mit symmetrischem Verlauf und einem Zeitbedarf von rund 5 s gemessen.

Für die Berechnung des Zeitbedarfs und der erforderlichen Strecke eines realen Pkw-Spurwechsels existieren in der Unfallrekonstruktion verschiedene Ansätze, die auf der Spurwechselbreite, der Querbewegung und einem bestimmten Spurwechselfaktor je nach Modell beruhen. Die doppelte Scheitelklothoide beansprucht eine hohe Deckungsgleichheit mit tatsächlichen Spurwechseln von Pkw im Straßenverkehr, wird in der täglichen gutachterlichen Praxis zumeist jedoch mit dem vereinfachten Modell der schrägen Sinuslinie angenähert. Aus existierenden

Studien mit Testfahrten und mit Auswertungen des Realverkehrs ist zu schlussfolgern, dass die tolerierte maximale Querbewegung beim Ein- und Ausscheren als Rekonstruktionsparameter ungeeignet ist, da keine eindeutige Korrelation mit der Länge oder der Dauer des Spurwechsels festgestellt werden konnte. Zudem weisen die Literaturangaben hierzu eine große Streuung auf.

Daher wird in der Regel direkt auf empirisch ermittelte Werte für

die Spurwechseldauer zurückgegriffen und mit der Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs dessen Spurwechsel rekonstruiert. Insbesondere zu Überhol- und Einschervorgängen von Pkw bei Autobahnfahrten sind bislang wenig Untersuchungen bekannt. *Sporrer et. al.* (VKU 1998, 69 ff.) gab hierzu nach Videoauswertung von insgesamt 100 Spurwechseln im fließenden Autobahnverkehr eine benötigte Zeitdauer zwischen rund 3,5 bis 6,5 s an. Da es sich aber um Realspurwechsel zufällig vorbeifahrender Pkw handelte, waren die Randbedingungen nicht genauer definiert. So lag eine große Geschwindigkeitsbandbreite von 69 bis 185 km/h und eine wechselnde Verkehrsdichte vor. Unter Einbeziehung von Spurwechseln im Stadtverkehr und auf Landstraßen mit überwiegend ähnlichem Zeitbedarf schlossen die Autoren auf eine Unabhängigkeit der Spurwechseldauer von der Geschwindigkeit. Hingegen ist die erforderliche Zeit im Wesentlichen davon abhängig (und folglich je nach Situation nä-

her einzugrenzen), ob ein freies Wechslen oder ein Spurwechsel zum Überholen durchgeführt wird, sowie von der herrschenden Verkehrsdichte. Die angegebene Spanne der Spurwechseldauer basiert also auf Testergebnissen über einen großen Geschwindigkeitsbereich und insbesondere bei verschiedenen Voraussetzungen zum Spurwechsel. Man liegt in der Rekonstruktion eines Verkehrsunfalls sicherlich nicht falsch, folgt man diesen Studien und setzt für einen Pkw-Spurwechsel auf der Autobahn rund 3,5 bis 6,5 s an – wobei der Zeitbedarf eines normalen Spurwechsels mit Richtgeschwindigkeit, ohne näher bestimmte Voraussetzungen, gemäß der Statistik in der Mitte des Wertebereiches zu erwarten ist, also bei rund 5 s.

Da eine große Bandbreite wenig praktikabel ist, wurde diese Arbeitshypothese über neue Fahrversuche mit einem aktuellen Pkw unter enger gefassten Rahmenbedingungen überprüft. Für die Eingrenzung der Dauer eines normalen Pkw-Spurwechsels bei einer Autobahnfahrt mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h wurden konkret 30 Überhol- und Einschervorgänge durchgeführt und messtechnisch erfasst. Hierbei wurden ebenfalls ausschließlich Werte im alltäglichen Straßenverkehr auf der Autobahn und nicht auf einem abgeschlossenen Testgelände generiert. Die Geschwindigkeit wurde mit einem Tempomat konstant gehalten, das bedeutet, die Spurwechselänge ist proportional zur Dauer. Vorgabe war es weiter, auf der zweispurigen Autobahn möglichst gleichmäßige Spurwechsel im Verkehrsfluss zu vollziehen und knappes Aus- und Einscheren vor anderen Fahrzeugen zu meiden, um den Zeitbedarf eines normalen Spurwechsels nicht über die Maße durch etwaige hohe Geschwindigkeitsdifferenzen im engen räumlichen oder zeitlichen Zusammenhang mit dem Nachfolgeverkehr zu verzerren. Zudem sollte auch durch aufmerksame Beobachtung und Abwägung der Faktor Verkehrsdichte als Einflussgröße minimiert werden.

Im Innenraum des Versuchsfahrzeugs waren zwei Kameras installiert, die zum einen die Sicht des Fahrzeugführers auf den Verkehrsraum vor dem Pkw und zum anderen dessen Lenkbewegungen dokumentierten. Die Videobilder waren dabei mit der kontinuierlichen Messung eines Beschleunigungssensors, der fest stabilisiert mit dem Fahrzeug verbunden war, in Längs- und Querrichtung synchronisiert (**Abb. 1**). Die Momentangeschwindigkeit des Pkw wurde GPS-gestützt ebenfalls mit dem Datalogger aufgezeichnet. Die Spurwechsel waren anhand der Videobilder visuell nachvollziehbar, eine detaillierte Auswertung erfolgte aber nicht, da der Messaufschrieb des Dataloggers eine höhere Genauigkeit aufwies. Eine Verifizierung der Ergebnisse ist so gegebenenfalls später aber möglich. Die Spurwechsel zeigen sich, je nach Richtung, in den positiven wie negativen Ausschlägen



Abb. 1: Messtechnik im Versuchsfahrzeug

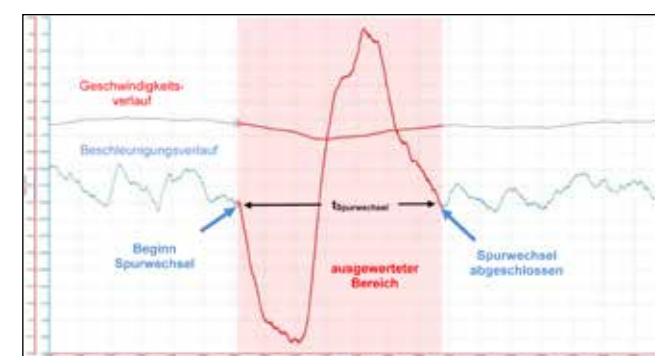


Abb. 2: Exemplarischer Datalogger Aufschrieb eines Spurwechsels

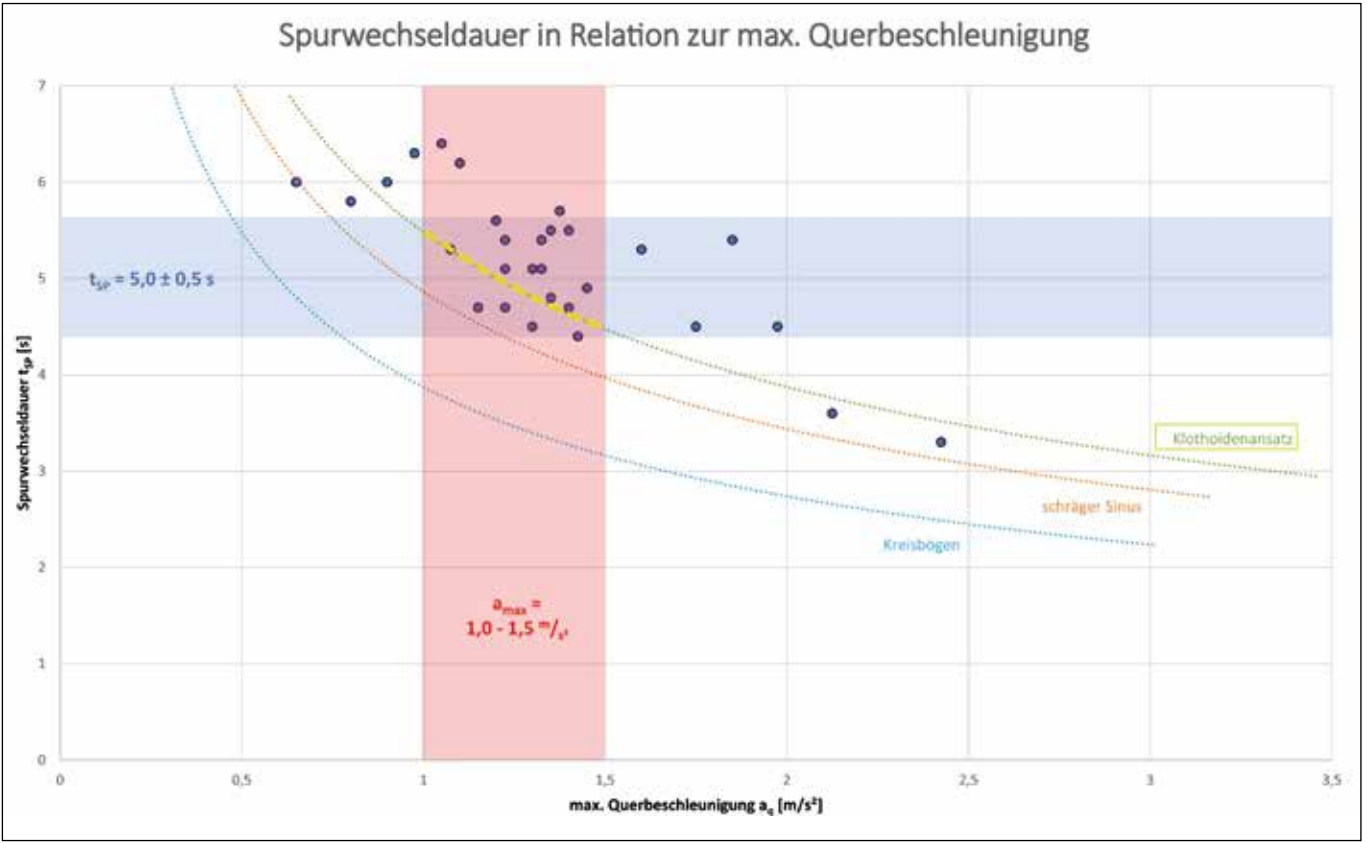


Abb. 3: Versuchsergebnisse im Vergleich mit den theoretischen Berechnungsansätzen

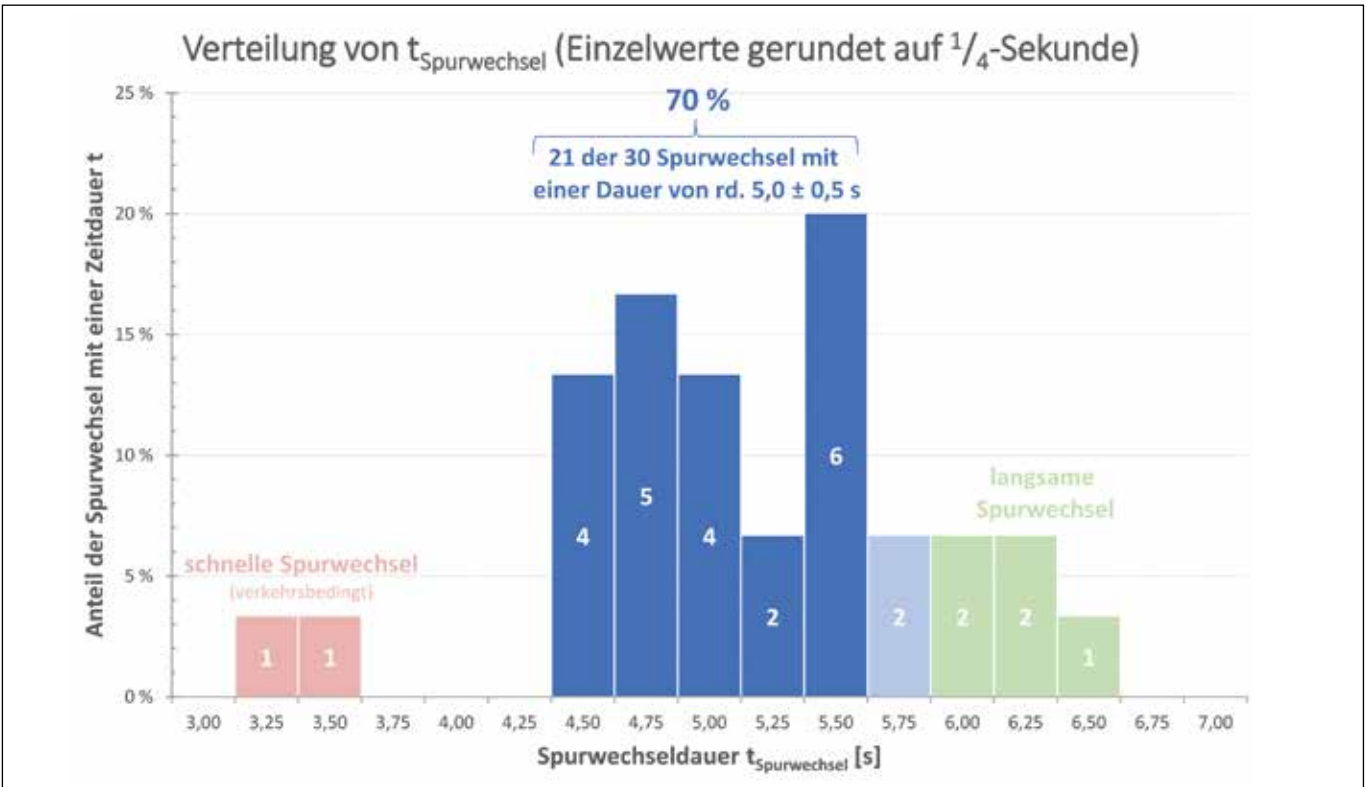


Abb. 4: Zusammenfassung der Spurwechseldauern (Einzelwerte auf $1/4$ -Sekunde gerundet)

in der Querbearleunigung über die Zeit. Diese kennzeichnen das initiierende Ein- und finale Gegenlenken zur abschließenden Ausrichtung des Pkw im Zielfahrstreifen. Auf diese Weise konnte die Spurwechseldauer als Zeitspanne zwischen den querdynamisch neutralen Fahrzuständen ermittelt werden. Zudem ist der Geschwindigkeitsverlauf als horizontale Linie gezeigt. Die am Tempomat eingestellte Richtgeschwindigkeit resultierte in eine GPS-Geschwindigkeit von rd. 125 km/h aufgrund der Tachountgenauigkeit.

Der in **Abb. 2** exemplarisch dargestellte Spurwechsel ist im Diagramm klar als sinusartige Schwingung in der Querbearleunigung zu erkennen. Ein ausgeprägter asymmetrischer Verlauf, wie er von *Sporrer et. al.* als üblich für Pkw beschrieben wird, konnte nur selten beobachtet werden. Die Versuchsfahrten zeigen vielmehr, dass grundsätzlich auch für Pkw der Ansatz harmonischer Spurwechselbahnen gültig ist. Folglich waren auch die maximalen Beschleunigungen in Fahrzeugquerrichtung während der gegensätzlichen Lenkbewegungen zumeist ähnlich groß. Diese lagen zwischen rund 0,6 und 2,5 m/s². Im Mittel wurde Wert von etwa 1,3 m/s² detektiert. Es ist festzuhalten, dass mit steigender Querbearleunigung die Spurwechseldauer tendenziell abnimmt. Eine eindeutige Korrelation aller Einzelwerte ist allerdings nicht gegeben. So wurden bspw. auch Spurwechsel mit gleicher maximaler Querbearleunigung, aber ca. 1,5 s unterschiedlicher Dauer aufgezeichnet. Im Vergleich zu dem Klothoidenverfahren und dem Ansatz der schrägen Sinuslinie lagen in der Praxis eher längere Spurwechselzeitdauern vor. Um den arithmetischen Mittelwert der detektierten Querbearleunigungen herum ($a_q = 1,0$ bis 1,5 m/s²) ist jedoch eine geringe Streuung der Spurwechselzeitdauern um rund 4,5 bis 5,5 s zu beobachten, was genau den Theoriewerten zur Spurwechseldauer nach dem Klothoidenverfahren mit dieser Querbearleunigung und der Fahrbahnbreite von Autobahnen (3,75 m) entspricht (**Abb. 3**).

Insgesamt benötigten die ausgewerteten Spurwechsel in der Testfahrt zwischen 3,3 und 6,4 s. Nur zwei Spurwechsel wurden schneller als 4,5 s durchgeführt. Das 90. Perzentil liegt bei einer Zeitdauer von 6,1 s. Die Ergebnisse stimmen also grundsätzlich mit dem Zeitbedarf gemäß *Sporrer et. al.* überein, fassen diesen bei den zugrundeliegenden Rahmenbedingungen (Spurwechsel mit konstanter Richtgeschwindigkeit im möglichst gleichmäßigen Verkehrsfluss) aber mit 80 % aller Spurwechsel zwischen 4,5 und rund 6 s etwas enger ein. Zwischen dem Ausscheren des Pkw zum Überholen auf die linke Fahrspur und dem anschließenden Wiedereinscheren nach rechts sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Allenfalls ist ein Trend zum schnelleren Spurwechsel beim

Ausscheren aufzuzeigen. Die Dauer eines Spurwechsels auf die linke Fahrbahn war mit im Mittel 5,0 s etwas kürzer als der Zeitbedarf zum Wiedereinscheren nach rechts mit im Mittel 5,2 s. Dies lässt sich damit erklären, dass beim Ausscheren zum Überholen eine Einordnung in den Verkehrsfluss mit i.d.R. höherem Geschwindigkeitsniveau erfolgt, so dass der Fahrzeugführer, trotz konstanter Geschwindigkeit im Fahrversuch, instinktiv geneigt ist, den Spurwechsel etwas schneller abzuschließen.

Das arithmetische Mittel aller 30 Spurwechsel liegt bei 5,1 s. Betrachtet man die Verteilung der Einzelwerte nach Rundung auf $1/4$ -Sekunde, ist eine deutliche Häufung im Bereich von sogar nur $5,0 \pm 0,5$ s gegeben (**Abb. 4**), wie er sich auch mit dem Ansatz einer doppelten Scheitellklothode für Spurwechsel auf der Autobahn aus dem Mittelwert der detektierten maximalen Querbearleunigungen in etwa berechnet. Die vorab aufgestellte Hypothese zur Spurwechseldauer eines Pkw bei Autobahnfahrten auf Grundlage der Studien von *Sporrer et. al.* ist folglich zu bestätigen. Die Begrenzung der Variablen auf die konstante Richtgeschwindigkeit und auf eine beständige Verkehrsdichte führt zu einer engeren Fassung des Zeitbedarfes für einen Spurwechsel von rund 5 s. Es wurden 30 Autobahn-Spurwechsel eines Pkw mit Richtgeschwindigkeit messtechnisch erfasst. Die Versuchsfahrten ergaben, dass grundsätzlich der Ansatz harmonischer Spurwechselbahnen gültig ist. Die maximalen Querbearleunigungen lagen zwischen rund 0,5 und 2,5 m/s², mit einer Häufung im Bereich von rund 1,0 bis 1,5 m/s². Tendenziell nimmt mit steigender maximaler Querbearleunigung die Spurwechseldauer ab, eine eindeutige Korrelation aller Einzelwerte konnte aber nicht festgestellt werden. Für die Mehrheit der Spurwechsel wurde ein Zeitbedarf von rund $5,0 \pm 0,5$ s benötigt. Dabei lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Richtungen des Fahrstreifenwechsels (Ein- oder Ausscheren beim Überholvorgang) vor. Im Mittel bildet der Klothoidenansatz zur theoretischen Berechnung eines Spurwechsels die Realspurwechsel am besten ab.

Dipl.-Phys. Severin Schlottbom
ist seit 2013 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke als Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle tätig.



Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff



Untersuchung der Verletzungsmöglichkeit bei schief-frontalen Kollisionen

Verletzungen an der Halswirbelsäule werden nicht nur nach Heckauffahrkollisionen vorgetragen, sondern auch nach schief-frontalen Kollisionen. Der vorliegende Artikel beschreibt die Durchführung und Auswertung einer aktuellen Studie zur Untersuchung der Insassenbewegung bei derartigen Anstößen. Hierbei wurden 450 Crashtests mit 67 Freiwilligen und 2 Dummies durchgeführt. Zur Messung der Insassenbewegung kam ein hochmodernes 3D-Kamerasystem zum Einsatz. Des Weiteren wurden die Muskelaktivitäten der Probanden aufgezeichnet. Erste Analysen weisen bereits auf deutliche Unterschiede der Insassenbewegung in Abhängigkeit der Versuchsparameter hin.

Neben Heckauffahrkollisionen werden auch bei Seitenkollisionen Verletzungen der Halswirbelsäule vorgetragen. Ein häufiger Kollisionstyp ist die schief-frontale Seitenkollision, die z.B. bei Kreuzungskollisionen auftritt. Zur Untersuchung der Insassenbewegung bei solchen Kollisionen wird derzeit eine interdiszi-

plinäre Studie in einem bisher noch nicht dagewesenen Umfang durchgeführt. Von technischer Seite wird die Untersuchung vom Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke betreut. Die Durchführung der Versuche erfolgte durch die crashtest-service.com GmbH. Die Analyse der Insassenbewegung geschieht durch den

Arbeitsbereich Bewegungswissenschaft des Instituts für Sportwissenschaft der Wilhelms-Universität Münster. Von medizinischer Seite wird das Projekt vom Orthopädischen Forschungsinstitut Münster betreut. Das Zentrum für HNO Münster Greven führte Untersuchungen der Probanden zur Schwindel-Diagnostik durch. Die Berufsgenossenschaft Verkehr in Hamburg fördert die Untersuchung.

Im Rahmen dieser Studie wurden Crashversuche durchgeführt. Hierzu wurde ein Pendel mit einer Schwungmasse an einen Lkw montiert. Der Lkw zog einen Versuchs-Pkw (Smart Fortwo), in welchem sich Probanden befanden. Die Masse des Pkw wurde durch Entfernen von für den Versuch unnötigen Baugruppen wie z.B. Motor, Getriebe etc. reduziert. Auch das Dach und die vorderen Karosseriesäulen wurden entfernt.

Zur Simulation einer Kollision beschleunigte der Lkw mit dem Pkw auf etwa 30 km/h. Bei Erreichen der Geschwindigkeit wurde die Verbindung zwischen den Fahrzeugen getrennt und das Pendel schlug gegen den am Pkw installierten Prallkörper. Hierdurch wurde der Stoß zentrisch in das Versuchsfahrzeug eingeleitet. Durch die fest einstellbare Pendelauslenkung war eine reproduzierbarer Stoß gewährleistet.

Die Fahrgastzellenbeschleunigung und damit die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des Pkw als Maß für die Insassenbelastung wurden mit einem Unfalldatenspeicher (UDS) gemessen. Die Erfassung der Insassenbewegung erfolgte durch am Fahrzeug angebrachte 3D-Kameras (Qualisys). Hierzu wurden an den Probanden, an dem Fahrzeug und auch an dem Pendel retroreflektierende Marker angebracht. Im Bereich des Kollisionsortes nahmen von außen feststehende weitere Kameras die Bewegung des Fahrzeugs auf. Zusätzliche, onboard verbaute Videokameras (Gopro) filmten mit 240 Bildern pro Sekunde die Insassen als Realbild. Die Synchronisierung der Systeme erfolgte über einen Crashblitz, der bei Auftreffen des Pendels auf das Fahrzeug aktiviert wurde. An den Probanden waren im Halsbereich EMG-Elektroden zur Messung der Muskelaktivität angebracht.

Es wurden insgesamt **450 Versuche mit 67 Probanden und 2 Dummies** durchgeführt. Die kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderungen betrugen 3 und 6 km/h sowie bei einigen Versuchen knapp 8 km/h. Die Versuche erfolgten mit angespannter und nicht angespannter Körperhaltung der Probanden. Fahrer und Beifahrer tauschten im Rahmen der Durchführung ihre Plätze. Schließlich wurden auch Versuche mit nicht angeschnallten Probanden im Vergleich zu angeschnallten Probanden durchgeführt.



Abb. 1: Prinzipieller Versuchsaufbau



Abb. 2: Versuchs-Pkw Smart Fortwo mit Kameras



Abb. 3: Kamera-Installation außerhalb



Abb. 4: Probanden

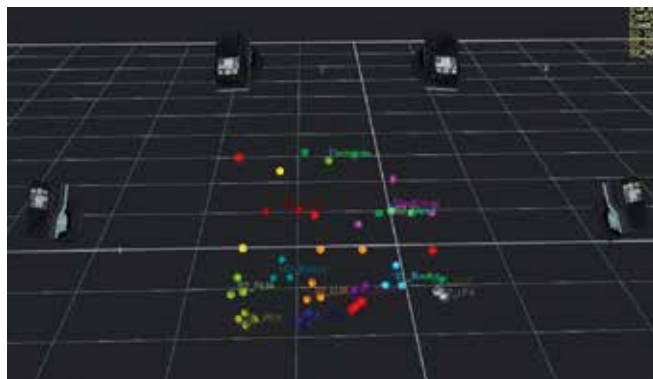


Abb. 5: Marker der Probanden (aus Sicht der Onboard-Kameras)

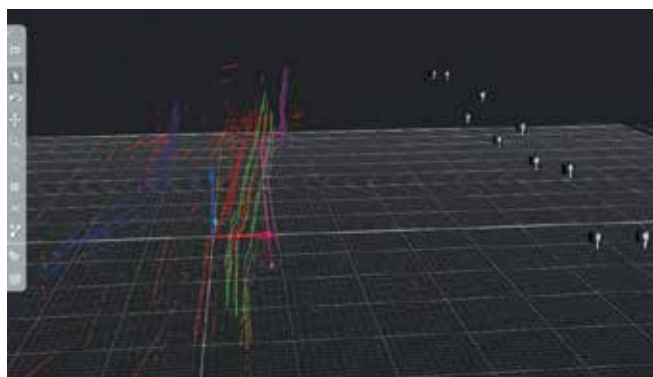


Abb. 6: Bewegungstrajektorien des Fahrzeugs (aus Sicht der Außen-Kameras)

Die aufgrund der vielen Versuche und des komplexen Versuchsaufbaus enormen Datenmengen werden zur Zeit ausgewertet. Die ersten Analysen zeigen bereits auf diesem geringen Geschwindigkeitsniveau deutliche Unterschiede der Insassenbewegung in Abhängigkeit der Versuchsparameter. Ferner zeichnet sich bei den Versuchen analog zu im Vorfeld der Studie durchgeführten Versuchen ab, dass die Insassenbewegung in der Sekundärphase, d.h. beim Zurückschwingen in Richtung Sitz, durchaus ausgeprägt und folglich nicht zu vernachlässigen ist.

Die in dieser Studie aufgenommenen Messwerte dienen im Weiteren zur computergestützten Modellierung des Bewegungsablaufes eines Insassen im Fahrzeug. Darauf aufbauend kann die biomechanische Belastung bei anderen Unfällen berechnet werden. Die Ergebnisse können schließlich zur medizinischen Diagnose herangezogen werden.

Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff

ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und seit 1997 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke tätig. Zu seinen Schwerpunkten zählt die Analyse von Insassenbelastungen.



Dipl.-Ing. Thilo Romberg



Kompatible Schäden und trotzdem Betrug



Bei der Analyse von Verkehrsunfällen mit Manipulationsverdacht muss auch berücksichtigt werden, ob ansonsten plausible Schäden aus einem realistischen Fahrvorgang heraus entstehen können.

Bei der Analyse eines manipulationsverdächtigen Unfallgeschehens kommt es immer wieder darauf an, nicht nur die Kompatibilität der vermeintlich entstandenen Schäden zu überprüfen, sondern ebenso sorgfältig den Hergang zu rekonstruieren und mit einem Unfall aus dem Verkehrsfluss zu vergleichen. Häufig genug sind die Schäden an den Fahrzeugen kompatibel und mit dem vorgetragenen Anstoß plausibel zu erklären. Erst nach der vollständigen Rekonstruktion des übergeordneten Unfallgeschehens erkennt man durch die Zusammenhänge der Einzelheiten entscheidende Unstimmigkeiten zwischen dem tatsächlichen

Geschehen und dem vorgetragenen Angaben zum Hergang. An welchen Stellen solche Unstimmigkeiten vorzufinden sind, ist im Vorlauf nicht zu erkennen, da es sich meist um Details handelt, die für sich genommen nicht weiter ungewöhnlich erscheinen. Es ist also entscheidend für die Analyse eines manipulationsverdächtigen Unfalls entgegen des ersten Anscheins den Unfallhergang so vollständig wie möglich zu rekonstruieren um solche meist kleinen, aber dennoch entscheidenden Zusammenhänge nicht zu übersehen.

Im Folgenden werden beispielhaft zwei reale Fälle vorgestellt, bei denen die Schäden aus dem vorgetragenen Anstoß vollständig erklärbar waren. Entgegen des ersten Eindrucks ließ sich das rekonstruierte Unfallgeschehen jedoch nicht durch ein praxisnahes Verhalten der Fahrer erklären.

Fall 1: Endstellungen

In diesem Fall fuhr ein Honda eine geradlinig verlaufende Straße entlang. Der Fahrer eines VWs Golf beabsichtigte, aus einer am rechten Straßenrand gelegene Parklücke auszufahren. Dabei kam es zum Zusammenstoß der Fahrzeuge. Die ausführliche Analyse der Schadenbilder an beiden Fahrzeugen zeigte, dass trotz einiger Auffälligkeiten sämtliche Schäden der Fahrzeuge miteinander kompatibel waren und sich durch den vorgetragenen Anstoß vollständig erklären ließen (siehe **Abb. 1**). In diesem Fall hatten sich die Zierleisten des Hondas gelöst und ein unregelmäßiges Spurenbild hinterlassen. Sogar die Beschädigung an der B-Säule des Hondas konnte erklärt werden, da sich bei diesem Fahrzeug auf der Türinnenseite ein Anstoßstutzen

ge bekannt. Zudem fand der Unfall bei Tag und starkem Regen statt. Über die Beiziehung von Fahrzeugversuchen konnten die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge hinreichend genau ermittelt werden.

Der Honda kollidiert, wie von den Parteien vorgetragen, mit etwa 50 km/h. Der VW fuhr mit einer geringen Geschwindigkeit passend zu einem Ausparkvorgang. Bringt man nun die Kollisionssituation weg-zeit-technisch in die Örtlichkeit, wird deutlich, dass die Endstellung des Hondas ungewöhnlich nahe am Kollisionsort liegt. Die Strecke vom Anstoß bis in die Endstellung ist kürzer als der physikalisch mögliche Auslaufweg mit Vollbremsung bei starkem Regen. Zudem muss der Honda-Fahrer, zusätzlich zur Vollbremsung, einen Spurwechsel an den Fahrbahnrand durchgeführt haben. Dies ist bereits in der Praxis so nicht anzutreffen.

Des Weiteren wurde untersucht, zu welchem Zeitpunkt die Reaktion spätestens stattgefunden haben muss, um den Honda noch in der Endstellung zum Stillstand zu bringen. Dabei ergab sich, dass der letztmögliche Reaktionszeitpunkt ca. 0,5 s vor dem Unfallgeschehen lag. Zu diesem Zeitpunkt hatte der VW



Abb. 1: Schadenzuordnung

befindet (siehe **Abb. 2**). Dieser kann bei einer Streifkollision in die B-Säule gedrückt werden und eine entsprechende Kerbe hinterlassen. Insofern sind die Schäden durch die bisherige Analyse als kompatibel und plausibel anzusehen.

Wie die Rekonstruktion des Unfallhergangs jedoch zeigen wird, genügt dies nicht, um die Plausibilität vollständig zu überprüfen. Im vorliegenden Fall waren die Endstellungen der Fahrzeu-

den Parkstreifen aber noch nicht verlassen. Folglich kann die zu frühe Reaktion des Honda-Fahrers auch nicht mit einem Fahrvorgang des VWs erklärt werden (siehe **Abb. 3**).

Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass es sich in diesem Fall, obwohl die Analyse der Schäden den Manipulationsverdacht nicht erhärtet, um keinen praxisnahen Unfall aus dem Verkehrsfluss handelte.



Abb. 2: Schaden an der B-Säule durch den Stutzen in der Tür

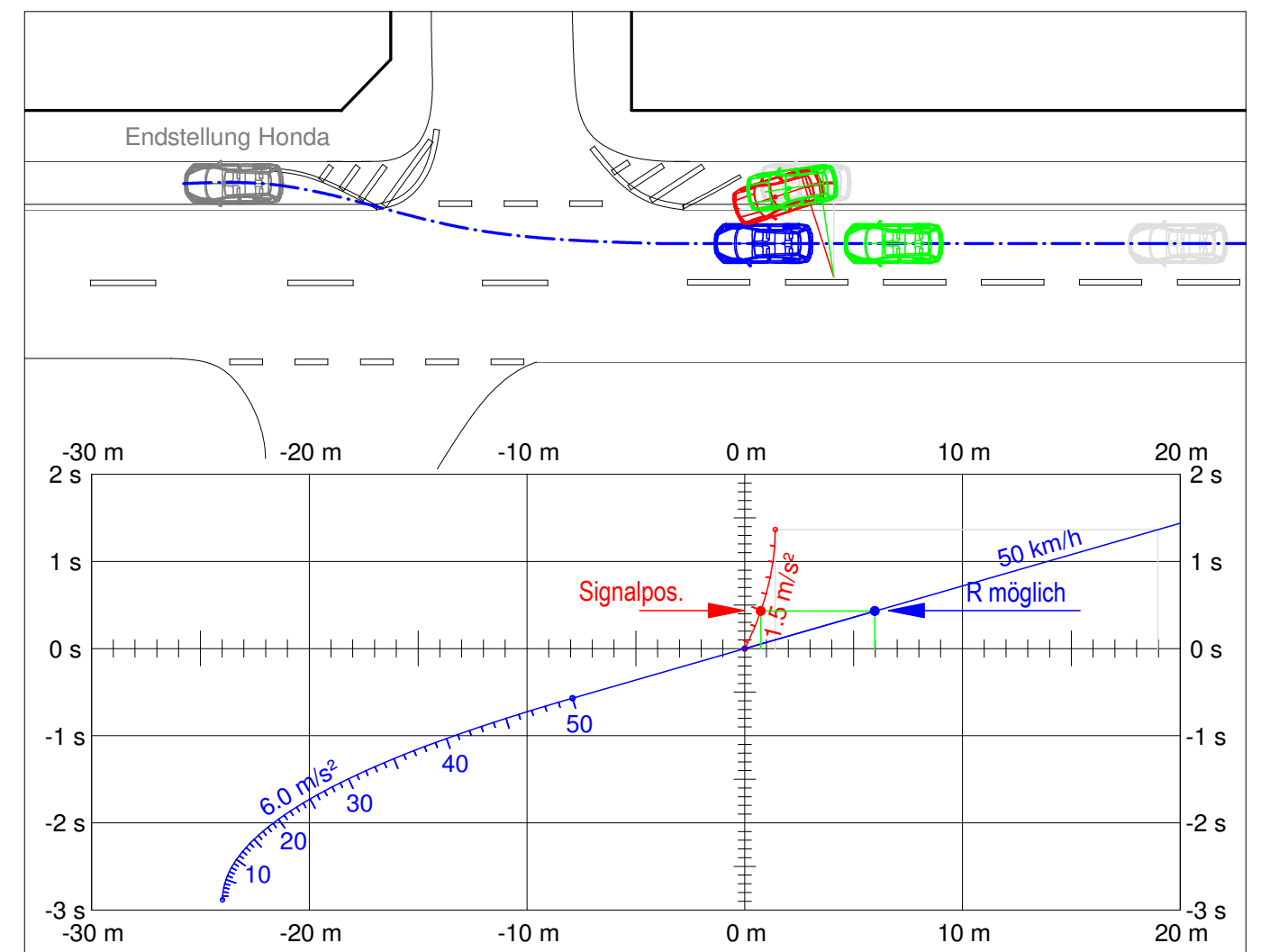


Abb. 3: Zeit-Weg-Diagramm

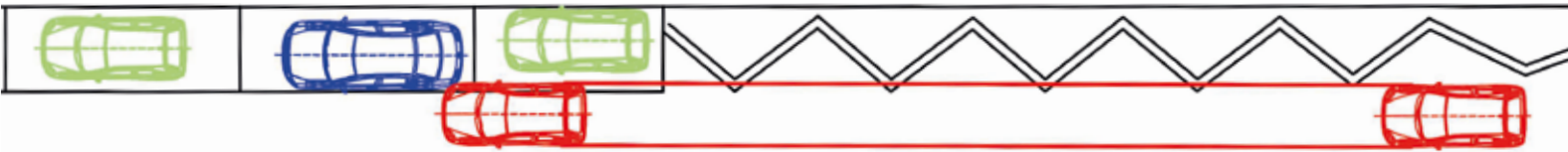


Abb. 4: Annäherung des Opels an die Kollision

Fall 2: Anstoßwinkel

In diesem Fall fuhr ein Opel Corsa durch eine Linkskurve. Kurz nach Verlassen der Kurve stieß er gegen einen rechtsseitig geparkten VW Passat. Der Fahrer des Opels trug vor, er habe die Kontrolle über sein Fahrzeug verloren, nachdem aus unbekannten Gründen der rechte Vorderreifen geplatzt sei. Der Opel erzeugte dabei Spuren über die vollständige Fahrzeuglänge des VWs Passat. Zudem war durch den Anstoß die Hinterachse des VWs beschädigt. Die Zuordnung der Schäden ergab auch in diesem Fall eine widerspruchsfreie Kompatibilität. Zudem zeigte ein eigens für diesen Fall durchgeführter Versuch eindeutig, dass sowohl die auffällige Spurenlänge am VW sowie die beschädigte Hinterachse vollständig durch den vorgetragenen Anstoß entstanden sein können. Somit ergibt sich auch in diesem Fall vorerst, dass die Schäden miteinander kompatibel und zwanglos plausibel zum vorgetragenen Unfallgeschehen sind.

Im Zuge der Versuchsvorbereitung ergab sich jedoch durch Gegenüberstellung der Versuchsfahrzeuge, dass der Anstoß zwingend längsachsenparallel stattgefunden haben muss. Die Schäden am VW können nicht hervorgerufen worden sein, wenn ein leichter Winkel zwischen den Fahrzeuglängsachsen vorgelegen hätte. Bereits dies ist ungewöhnlich, da durch das Abkommen eines Fahrzeuges von der Fahrbahn immer ein geringer Winkel zum Fahrbahnverlauf vorliegt. Zudem zeigte die Gegenüberstellung, dass der Anstoß höhenneutral erfolge. Folglich war ein luftleerer Vorderreifen am Opel auszuschließen.

Auch in diesem Fall war die Endstellung des VWs bekannt. Dadurch konnte die Kollisionssituation der Pkw rekonstruiert werden. Da es keinen weiteren Anstoß an dem parkenden Fahrzeug vor dem VW gegeben hat, muss der VW sichtbar aus der Parkreihe herausgeragt haben. Führt man den Opel aus seiner Kollisionssituation zurück, erkennt man, dass dieser geradeaus ohne Lenkeinschlag auf den VW aufgefahren sein muss. Bereits eine leichte Bogenfahrt des Opels hätte unabhängig von der Lenkrichtung zu einem Anstoß an dem Fahrzeug vor dem VW führen müssen (siehe **Abb. 4**).

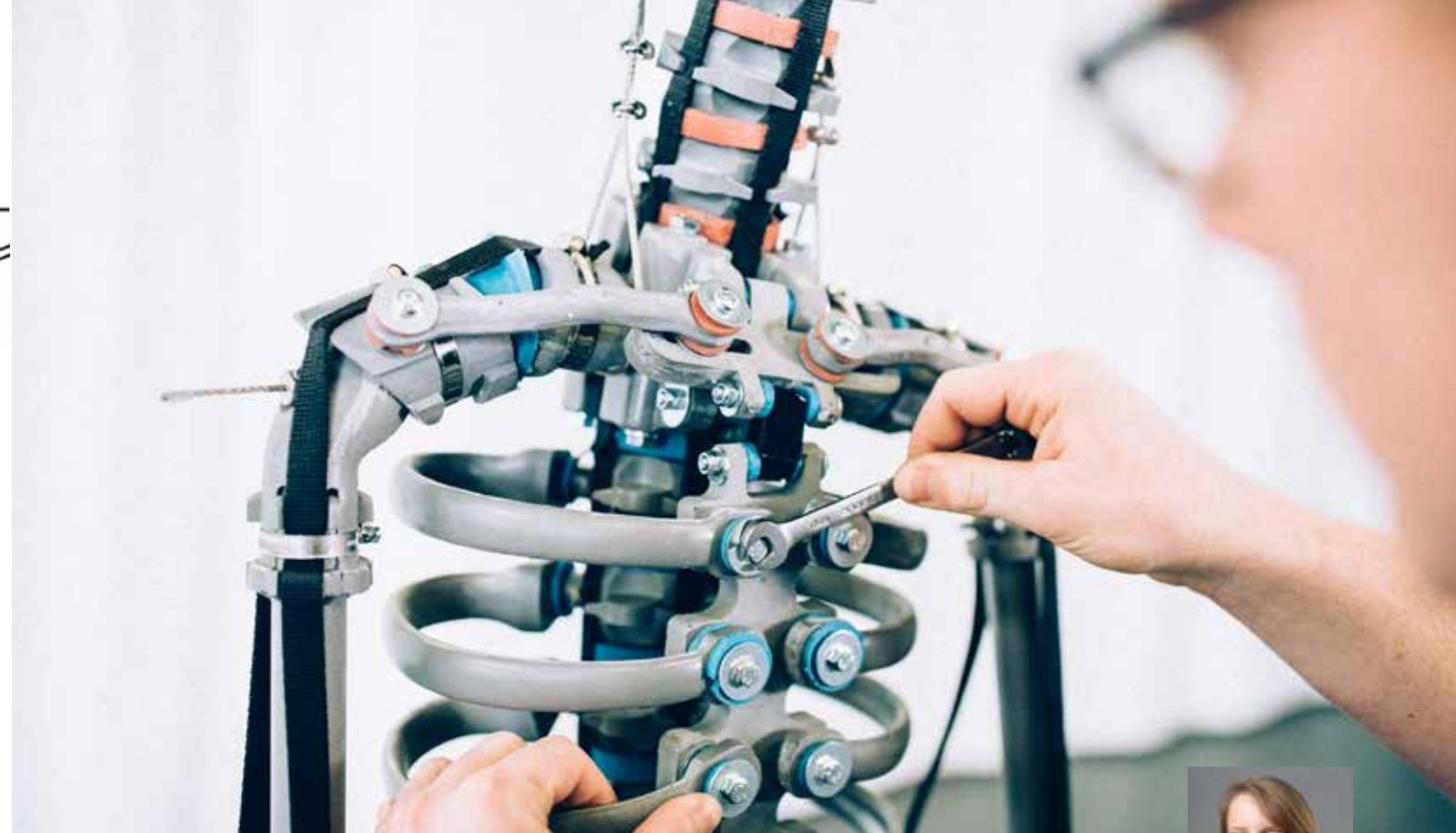
Wie im ersten Fall ergibt die technische Analyse der Schäden auch hier, dass die Schäden mit dem vorgetragenen Anstoß zwar kompatibel sind, der Unfall aber unter Berücksichtigung der Endstellungen und den Gegebenheiten an der Örtlichkeit nicht aus dem Verkehrsfluss erklärt werden kann.

Fazit:

Die vorgestellten Sachverhalte zeigen die Bedeutsamkeit, im Falle eines Manipulationsverdachtes, sich nicht nur mit der Kompatibilität und Plausibilität der Schäden selbst zu befassen, sondern auch den Unfallhergang eingehend zu rekonstruieren. Selbst wenn eine Kollision wie von den Parteien vorgetragen stattgefunden hat, bedeutet dies nicht zwingend, dass der Unfall auch durch ein realistisches Fahrverhalten der Beteiligten zu erklären ist.

Dipl.-Ing. Thilo Romberg

ist seit 2017 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke als Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle tätig.



Dipl.-Phys. Annika Kortmann



Crashverhalten im Crashvergleich: der neue Biofidel-Dummy

Bei der Rekonstruktion von Pkw-Fußgänger-Unfällen bilden die Fahrzeugbeschädigungen und Fußgängerletzungen wichtige Anhaltspunkte, die erst durch den neuen Biofidel-Dummy realistisch dargestellt werden können.

Fußgängerunfälle erfordern aufgrund der häufig schweren Verletzungsfolgen der ungeschützten Verkehrsteilnehmer eine detaillierte Rekonstruktion des Unfallgeschehens. Daher greift die moderne Unfallrekonstruktion immer häufiger zu Crashversuchen, bei denen Dummies eingesetzt werden. Besonders entscheidend für die Eingrenzung der Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw sind u.a. die Fahrzeugbeschädigungen.

Die bisher für solche Crashversuche verwendeten Dummies besitzen in der Regel eine „Knochenstruktur“, die hauptsächlich aus Aluminium und Stahl besteht, so dass durch die äußerst harte Bauweise des Dummies der Schaden am Pkw bei gleicher Kollisionsgeschwindigkeit höher ausfällt

als bei realen Fußgängerunfällen. Die Vergleichbarkeit zum Crashversuch weist somit deutliche Unsicherheiten auf.

Der Biofidel-Dummy als Realersatz

Seit Anfang des Jahres 2017 hat die Firma crashtest-service.com (kurz CTS) in Zusammenarbeit mit der HTW Dresden und der TU Berlin den Bau und die Weiterentwicklung der sogenannten Biofidel-Dummies von Dr. Michael Weyde übernommen und verfügt seit Juli 2017 über ein eigenes Fertigungslabor, siehe **Abb. 1**. Aufgrund seiner speziellen Konstruktionsweise besitzt der Biofidel-Dummy eine sehr gute Vergleichbarkeit mit einem realen menschlichen Körper. Die verwendeten Materialien wurden entsprechend ihrer physikalischen Eigenschaften ausgewählt,

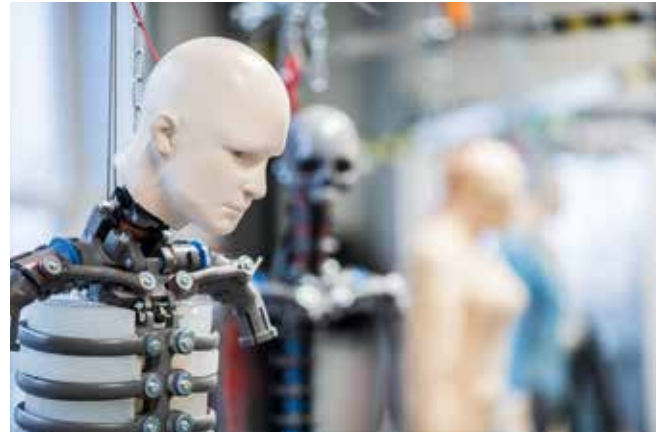


Abb. 1: Fertigungsprozess im neuen Dummy-Labor

um die menschlichen „Bauteile des Körpers“ möglichst genau nachzuempfinden. So bestehen die „Knochen“ des Dummies beispielsweise aus Epoxidharz und einer Beimischung aus Aluminiumpulver, um die Bruchfestigkeit menschlicher Knochen möglichst realistisch nachstellen zu können. Auch Bänder und Sehnen in Form von Polypropylen-Gurtbändern sind Bestandteil des Biofidel-Dummys. Die Nachstellung des Weichteilgewebes wird durch Silikon und Acryl verwirklicht.

Da jeder Dummy in Handarbeit Schritt für Schritt zusammengesetzt wird (siehe **Abb. 2**), ist es ebenfalls möglich, von der Normbauweise des Dummies mit 1,75 m und einem Gewicht von 79 kg abzuweichen und Sonderanfertigungen in Bezug auf Größe und Gewicht vorzunehmen. Die Fertigungsdauer eines normalen Biofidel-Dummys beträgt in etwa 2 Wochen, Sonderanfertigungen lassen sich bereits in bis zu 4 Wochen realisieren. Aufgrund der eigenen Herstellung durch die Firma CTS kann der

Dummy während der Fertigstellung mit Messtechnik ausgestattet werden, so dass z.B. kollisionsbedingte Beschleunigungen und auftretende Kräfte im Bereich der Halswirbelsäule gemessen werden können. Durch den Einbau von speziellen Sensoren kann ebenfalls der Druck gemessen werden, der unter anderem auf Bereichen wie der Brust oder einzelnen Segmenten der Wirbelsäule bei einer Kollision einwirkt.

Crashverhalten im Crashvergleich

Um die Unterschiede im Crashverhalten des herkömmlichen Dummies in Stahlbauweise gegenüber dem Biofidel-Dummy sichtbar zu machen, wurde ein Crashversuch durchgeführt, bei dem ein VW Golf III frontal mit einer innerorts üblichen Geschwindigkeit von 50 km/h gleichzeitig mit den beiden Dummies kollidierte. **Abb. 3** zeigt die Anstoßkonfiguration, bei der sich der konventionelle (NAMI-) Dummy in Fahrzeugdraufsicht auf der linken Seite befindet. Der Biofidel-Dummy steht rechts.

Die unterschiedlichen Bewegungsabläufe der Dummies während der Kollision, insbesondere beim Aufladen, wurden gesondert gefilmt und in den **Abb. 4** und **Abb. 5** dargestellt. **Abb. 4** zeigt den Bewegungsablauf des konventionellen Dummies. Unmittelbar nach dem Anfahren heben die Beine des Dummies vom Boden ab, ein bei Fußgängerunfällen typisches „Unterziehen“ des Standbeins findet nicht statt. Aufgrund der starren Bauweise des NAMI-Dummys schmiegt sich dieser nicht an die Motorhaube an, sodass dieser annähernd mit gestrecktem Körper mit dem Kopf gegen die Windschutzscheibe des Pkw prallt. Im letzten Bild von **Abb. 4** ist deutlich zu erkennen, dass der Körper des NAMI während des Kopfanpralls einen deutlichen Abstand zur Motorhaube aufweist.



Abb. 2: Fertigungsstufen eines Biofidel-Dummys



Abb.3: Anstoßkonfiguration: konventioneller Dummy links, Biofidel-Dummy rechts

Der Bewegungsablauf des Biofidel-Dummys beim Anfahren durch den Pkw (**Abb. 5**) ähnelt viel mehr dem Anfahrverhalten eines realen Fußgängers, da zunächst das Standbein unter den Pkw gezogen wird und der Dummy sich im weiteren Kollisionsverlauf an die Motorhaube anschmiegt. Der Kopfanprall erfolgt mit einer Bewegung von oben nach unten während sich der Körper in Kontakt mit der Motorhaube befindet.

Schadenbild am Pkw

Auch der Vergleich des Beschädigungsbildes auf der linken und rechten Seite des Pkw nach der Kollision macht die realistischere Unfalldarstellung durch den Biofidel-Dummy deutlich. In **Abb. 6** ist die Draufsicht auf die Fahrzeugfront des Golf III nach der Kollision gezeigt: Links das Beschädigungsbild durch den NAMI, rechts die Fahrzeugschäden durch den Biofidel-Dummy. Es wird deutlich, dass der Pkw im Kontaktbereich mit dem NAMI deutlich stärker

beschädigt wurde. Auch das Bruchbild in der Windschutzscheibe ist auf der linken Seite diffuser und durch die Detailaufnahme in **Abb. 7** ist ersichtlich, dass der NAMI die Scheibe, im Gegensatz zum Biofidel-Dummy, sogar mit dem Kopf durchschlagen hat. Durch das Anschmiegen des Biofidel-Dummy-Körpers bei der Kollision lässt sich im Nachhinein durch die Beschädigung der Motorhaube sogar der Kontakt mit der Hüfte und der Schulter erkennen, siehe **Abb. 8** (rechtes Bild). Beim Anprall des NAMI auf die Motorhaube zeigt sich nur eine großflächige Beschädigung, die zudem eine Vielzahl von Kratzspuren aufweist, die bei realen Fußgängerunfällen so nicht vorkommen (**Abb. 8**, linkes Bild).

Insbesondere bei hohen Kollisionsgeschwindigkeiten, bei denen der Dummy die Dachkante des Pkw kontaktiert, erzeugt ein üblicherweise verwendeter NAMI oder Hybrid II-Dummy aufgrund der extrem harten Bauweise erheblich höhere Beschädigungen gegenüber dem Anprall im selben Bereich mit einem menschlichen Körper. Die Abschätzung der Kollisionsgeschwindigkeit wird für die Unfallrekonstruktion aus diesem Grund stark erschwert.

Verletzungsbild des Fußgängers

Neben den Beschädigungen am Pkw ist es durch den Einsatz von Biofidel-Dummys erstmalig möglich, auch die Fußgängerverletzungen im Realunfall mit denen des Dummies zu vergleichen.

Durch die Beimischung von Aluminiumpulver im Epoxidharz ist es möglich, den Biofidel-Dummy nach der Kollision zu röntgen, um die durch den Crashversuch resultierenden Knochenbrüche sichtbar zu machen. Das Prinzip ist in **Abb. 9** mit einer CT-Aufnahme des Vorgängermodells des Biofidel-Dummys gezeigt. Die Kollisionsgeschwindigkeit beim Anfahren des Dummies betrug



Abb. 4: Bewegungsablauf des NAMI-Dummys im Crashversuch



Abb. 5: Bewegungsablauf des Biofidel-Dummys im Crashversuch (gespiegelt)



Abb. 6: Draufsicht auf den beschädigten Pkw



Abb. 7: Bruchbild der Windschutzscheibe



Abb. 8: Kontaktpuren auf der Motorhaube des NAMI (L) und des Biofidel-Dummys (R)

in diesem Fall 70 km/h. Die Röntgenuntersuchung kann im Anschluss an den Crashtest in Kooperation mit der Tierklinik in Telgte durchgeführt werden, die für solche Untersuchungen eine offizielle Erlaubnis der Bezirksregierung eingeholt hat. Bei Bedarf kann auch eine „Obduktion“ des Biofidel-Dummys nach der Kollision erfolgen.

Bei der Rekonstruktion von Pkw-Fußgänger-Unfällen ist es nach der Durchführung von Crashversuchen möglich, den Biofidel-Dummy durch CTS reparieren zu lassen, so dass sich die Kosten des Dummys für den Crashversuch auf eine Leihgebühr beschränken und der Dummy nicht im Ganzen berechnet werden muss.

Fazit

Für die moderne Unfallrekonstruktion ist der Biofidel-Dummy von sehr großem Nutzen, um anhand des Beschädigungsbildes des Pkw deutlich besser auf die Kollisionsgeschwindigkeit schließen zu können. Durch die Bauweise des Biofidel-Dummys, mit der die physikalischen Eigenschaften eines Menschen bestmöglich nachempfunden werden können, ist es sogar möglich, das Verletzungsbild des Fußgängers realistisch nachzustellen. Der Einsatz von diverser Messtechnik bietet zudem umfangreiche Möglichkeiten, die auf den Körper einwirkenden Kräfte, Beschleunigungen und Drücke zu erfassen. Der Biofidel-Dummy wird stetig weiterentwickelt, so dass z.B. die Beweglichkeit

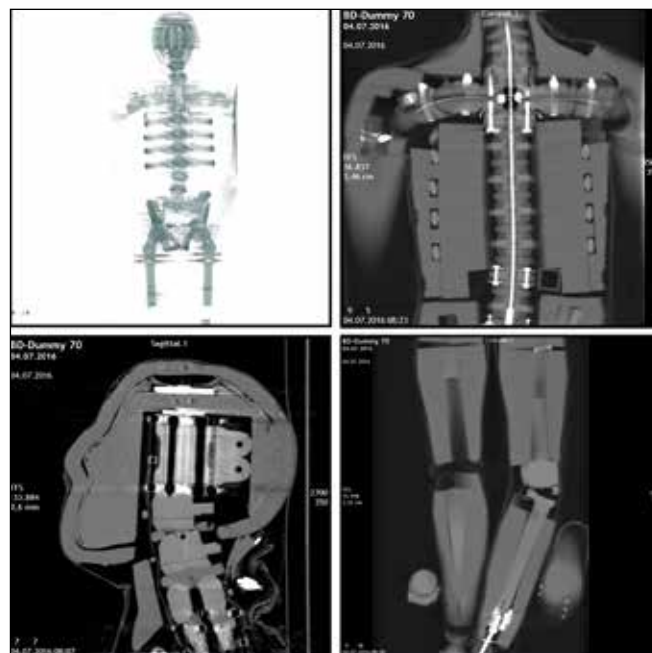


Abb. 9: CT-Aufnahme eines Biofidel-Dummys (1)

fortlaufend verbessert wird und der Dummy Anfang 2018 u.a. ein neues Gesicht mit einer Knochenstruktur aus Epoxidharz bekommt. Für die Unfallrekonstruktion ist daher der Einsatz eines Biofidel-Dummys wünschenswert, um fundierte Gutachten auf Basis von nachvollziehbaren und bildlich dokumentierten Beschädigungsbildern an Pkw und Dummy und den gewonnenen Messdaten erstellen zu können.

(1) Dr. Michael Weyde, Ingenieurbüro Priester & Weyde, Heinrichstraße 5-6, 12207 Berlin

Dipl.-Phys. Annika Kortmann

ist seit 2014 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke als Sachverständige für Straßenverkehrsunfälle tätig.



Schimmelpfennig + Becke

bietet seit 1978 eine fundierte Analyse und Rekonstruktion von Unfallereignissen auf technisch-wissenschaftlichem Gebiet. Mit der wachsenden Bedeutung der Unfallrekonstruktion hat sich das Ingenieurbüro erfolgreich entwickelt und deckt heute, als eines der größten freien Sachverständigenbüros für Unfallrekonstruktion Deutschlands, zusätzlich die Themengebiete Biomechanik, Fahrzeugtechnik, Unfälle mit mechanisch-technischem Gerät und Ordnungswidrigkeiten ab.

Im Januar 2018 feierte das Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke sein 40-jähriges Jubiläum und stellt sich mit der Umwandlung in die Schimmelpfennig + Becke GmbH & Co. KG und Bestellung des weiteren Geschäftsführers Dr. Ingo Holtkötter für die Zukunft auf.

In unserem Hauptbüro in Münster sowie in den Zweigstellen in Düsseldorf und Lüdenscheid bearbeiten wir Gutachten-Aufträge aus der gesamten Bundesrepublik Deutschland sowie aus Österreich, der Schweiz und den Niederlanden. Auftraggeber dieser Gutachten sind in erster Linie Gerichte, die zur Lösung eines Rechtsstreites ein schriftliches bzw. mündliches Gutachten bestellen. Weitere Aufträge erhalten wir von Versicherungen, Rechtsanwälten, Staatsanwaltschaften und Privatpersonen.

Studien und Versuche, die wir in unserem Hause durchführen, bilden eine fundierte Grundlage für unsere Gutachten. Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche und der Studien präsentieren wir Richtern, Rechtsanwälten, Versicherungen und anderen Sachverständigen in Form von schriftlichen Veröffentlichungen und praxisbezogenen Seminaren, die mehrmals pro Jahr stattfinden.

Unsere Sachverständigen

Prof. Dipl.-Ing. K.-H. Schimmelpfennig ^{1, 2, 3}
Dr. Dipl.-Ing. Manfred Becke ^{1, 2}
Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter ²
Dipl.-Ing. Uwe Golder ^{2, 4}
Dipl.-Ing. Stefan Schneider ²
Dr.-Ing. Bernd Fago ^{2, 3}
Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff ²
Dipl.-Ing. André Schrickel ²
Dipl.-Ing. Joost Wolbers
Dipl.-Ing. Markus Nickel ²
Techniker Stephan Ohm ⁵
Dr. rer. nat. Tim Hoger ²
Dipl.-Ing. Annika Nickel-Fleitmann
Dipl.-Ing. Robert Dietrich
Dipl.-Phys. Severin Schlottbom
Dipl.-Phys. Annika Kortmann
Dr. rer. nat. Jens Bastek
Dr. rer. nat. Thomas Dembsky
Dipl.-Ing. Jenin Plankalayil
Dipl.-Ing. Thilo Romberg
M.Sc. Monika Escher

öffentlich bestellt und vereidigt für:

¹ Kfz-Technik

² Straßenverkehrsunfälle

³ Unfälle mit mechanisch-technischem Gerät

⁴ Verkehrsüberwachungssysteme

⁵ Kfz-Schäden und -bewertung, staatlich geprüft

Unsere Standorte

Münster

Münsterstraße 101
48155 Münster
Telefon: 02506 / 820 - 0
Telefax: 02506 / 820 - 99
kontakt@ureko.de
www.ureko.de

Düsseldorf

Münsterstraße 358
40470 Düsseldorf
Telefon: 02 11 / 8 76 68 10
Telefax: 02 11 / 9 33 75 05
kontakt@westreko.de
www.westreko.de

Lüdenscheid

Werdohler Straße 126
58511 Lüdenscheid
Telefon: 0 23 51 / 98 36 37
Telefax: 0 23 51 / 98 36 38
kontakt@suedwestreko.de
www.suedwestreko.de



Der UREKO SPIEGEL ist eine Publikation der
Schimmelpfennig + Becke GmbH & Co. KG

Geschäftsführende Gesellschafter

Prof. Karl-Heinz Schimmelpfennig
Dr. Manfred Becke

Geschäftsführer

Dr. Ingo Holtkötter

Handelsregister

AG Münster HRA 10507

Persönlich haftende Gesellschafterin

Schimmelpfennig + Becke Verwaltungs-GmbH
AG Münster HRB 16829