



Experimentelle Untersuchung der biomechanischen Belastungswerte bei der Nutzung neuer und alter Autositze bei Heckkollisionen

Dipl.-Ing. Joost Wolbers, B.Eng. Luca Lilienbecker

Bremsen ohne Bremse - Die Verzögerung von E-Autos durch Rekuperation

Dr. rer. nat. Steffen Rieger

Verletzungsmöglichkeiten bei vorgebeugter und gleichzeitig verdrehter Körperhaltung bei Heckkollisionen

Dipl.-Phys. Annika Kortmann

Untersuchungsmöglichkeiten zur Abgasreinigungsstrategie

Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter

Die Hand auf der Motorhaube - Wie zuverlässig können Temperaturen erföhlt werden?

Dipl.-Ing. Thilo Romberg

Abbiegeverhalten von Sattelzügen mit selbstlenkenden Aufliegerachsen

Dr. rer. nat. Jens Bastek

FÄLLE.  
ANALYSEN.  
ERGEBNISSE.



SCHIMMELPFENNIG & BECKE

SEIT 1978.



## Mit Abstand das beste Team!

Wir alle haben 2020 zu spüren bekommen, wie schnell sich unser Alltag im Beruf wie im Privaten ändern kann. Ein Jahr, in dem unsere Gewohnheiten, Ansichten und Absichten mit großer Wucht durcheinander gewirbelt wurden. Unser Alltag hat sich in einer Weise verändert, die wir nicht für möglich gehalten haben. Umso wichtiger sind Dinge geworden, die uns Halt und Stabilität geben. In unserem Büro konnten wir gemeinsam die für uns alle wichtige Stabilität und die Verlässlichkeit erhalten.

Deswegen starten wir mit voller Zuversicht und Tatendrang in das neue Jahr. Hier erhalten Sie dafür einen ersten Beweis, unseren UREKO Spiegel 21/2021. Die Artikel zeigen aktuelle Themen aus unseren täglichen Aufgaben im Gerichtsgutachterwesen. Einen größeren Überblick über unsere Fachgebiete erhalten Sie unter [www.ureko.de](http://www.ureko.de). Wer die Beiträge unserer neuen Ausgabe beigesteuert hat, sehen Sie anhand der Namenszeile. Was Sie nicht sehen, sind die vielen Menschen, die im Hintergrund einen wichtigen Beitrag für diese Ausgabe geleistet haben. Und so werden wir auch die kommenden Herausforderungen gemeinsam erfolgreich meistern.

Ihr S+B-Team

# INHALT

**05** Experimentelle Untersuchung der biomechanischen Belastungswerte bei Nutzung neuer und alter Autositze bei Heckkollisionen  
**Dipl.-Ing. Joost Wolbers + B.Eng. Luca Lilienbecker**

---

**11** Bremsen ohne Bremse - Die Verzögerung von E-Autos durch Rekuperation  
**Dr. rer. nat. Steffen Rieger**

---

**17** Verletzungsmöglichkeiten bei vorgebeugter und gleichzeitig verdrehter Körperhaltung bei Heckkollisionen  
**Dipl.-Phys. Annika Kortmann**

---

**21** Untersuchungsmöglichkeiten zur Abgasreinigungsstrategie  
**Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter**

---

**25** Die Hand auf der Motorhaube - Wie zuverlässig können Temperaturen erföhlt werden?  
**Dipl.-Ing. Thilo Romberg**

---

**29** Abbiegeverhalten von Sattelzügen mit selbstlenkenden Aufliegerachsen  
**Dr. rer. nat. Jens Bastek**

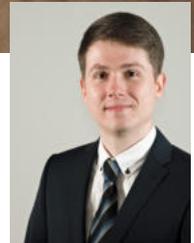
---



Dipl.-Ing. Joost Wolbers



B.Eng. Luca Lilienbecker



## Experimentelle Untersuchung der biomechanischen Belastungswerte bei Nutzung neuer und alter Autositze bei Heckkollisionen

Da die Fahrzeugentwicklung in den letzten Jahren nicht geruht hat, stellt sich aus technischer Sicht die Frage, ob durch die modernen Fahrzeugsitze das Verletzungsrisiko, gerade in Bezug auf eine HWS-Verletzung, gesunken ist.

Die Rekonstruktion der Insassenbelastungen bei Heckauf-fahrkollisionen, beispielsweise bei einer Pkw-Pkw-Kollision an einer Ampel, ist eine typische Aufgabenstellung für den Unfallanalytiker. Aus diesem Grund wurden schon in den 90er-Jahren Versuche zur kollisionsbedingten biomechanischen Belastung bei Heckkollisionen durchgeführt und Studien hierzu ausgearbeitet. Diese Untersuchungen gelten heute noch als Standard für die Erstellung von Gutachten. Es stellt sich die Frage, ob die in den Studien gewonnenen Ergebnisse durch den Fortschritt der Fahrzeugentwicklung auch noch aktuell sind.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Insassenbelastung haben die Fahrzeugsitze, da diese eine große federnde, d. h. die Kollision für die Insassen dämpfende Wirkung haben. Zum Vergleich neuer und alter Sitze wurde in Kooperation mit der Fachhochschule Münster eine Bachelor-Arbeit betreut. [1] Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Vergleich zwischen alten und neuen Fahrzeugsitzen durchgeführt.

Bei den Untersuchungen wurden die Sitzmodelle aus den alten Studien herangezogen, um die dortigen Ergebnisse mit vergleichbaren modernen Sitzen gegenüberzustellen.

**Abb.1** zeigt die Sitze aus einem Opel Kadett E (a), einem Opel Rekord E (b) und einem VW Golf II (c) aus den früheren Studien.

Die heute vergleichbaren Sitzmodelle ergeben sich aus den entsprechenden aktuellen Modellen der jeweiligen Fahrzeughersteller, d.h. die des Opel Astra J (d), des Opel Insignia A (e) und des VW Golf VII (f). Zur Versuchsdurchführung wurde ein Aufbau verwendet, auf dem die Schutzwirkung der verschiedenen Sitze während einer Heckkollision getestet werden kann.



Abb. 1: Alte und neue Fahrzeugsitze



Abb. 2: Versuchsaufbau

Der Aufbau besteht zum einen aus einem Rammwagen, auf dem die Sitze montiert werden. Zum anderen wird ein schweres Pendel verwendet, um nach Auslenkung gegen das Heck des Rammwagens zu stoßen, vgl. **Abb. 2**. Über die Höhe der Pendelauslenkung vor dem Stoß kann die Anprallschwere variiert werden.

Durch den Aufbau und die Beschleunigung durch den Pendelanstoß kann der Beschleunigungsverlauf für den Rammwagen sehr genau reproduziert werden. Durch Vorversuche wurden kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderungen in verschiedener Höhe getestet.

Für die Studie wurden kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderungen von etwa 9 km/h, 11,5 km/h und 15 km/h ausgewählt. Zum Messen der Beschleunigung ist ein speziell für diese Versuche entwickeltes Messsystem zum Einsatz gekommen. Ein Messrechner zeichnet die von den verschiedenen Beschleunigungssensoren kommenden Spannungen auf, die in der anschließenden Auswertung in eine Beschleunigung umgerechnet werden.

Aufgezeichnet werden die triachsialen Beschleunigungen des Rammwagens, des Kopfes, der Brust und der Hüfte des Insassen. Bei den Probanden wurden dazu Beschleunigungssensoren direkt an der Stirn (Stirnband), an der Brust (Brustgurt) und an der Hüfte (Hüftgurt) angebracht, wie in der Übersicht in **Abb. 3** gekennzeichnet wurde.

Nicht nur die Beschleunigungswerte sind von zentralem Interesse, sondern auch der Bewegungsablauf. Dieser wurde durch drei Kameras mit einer Bildfrequenz von 200 Hz aufgezeichnet. In diesem sollen Unterschiede der Bewegungskinematik verschiedener Sitze und Probanden dokumentiert werden. Mit Hilfe der Kameras wurde eine Seitenansicht, eine Detail-Seitenansicht der Brust-Kopf-Partie und eine Topansicht aufgenommen.

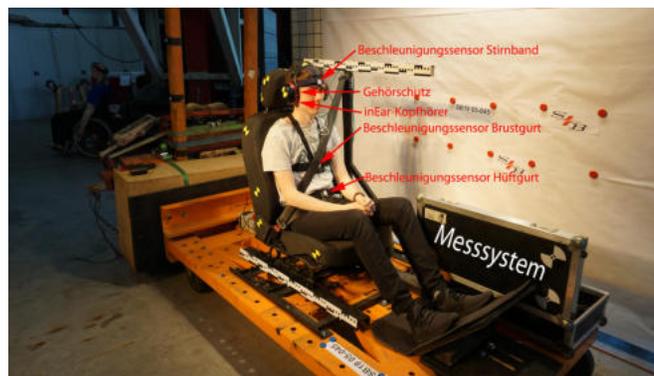


Abb. 3: Mit Sensoren ausgestatteter Proband



Abb. 4: Probanden auf VW Golf II-Sitz



Abb. 5: Probanden auf VW Golf VII-Sitz

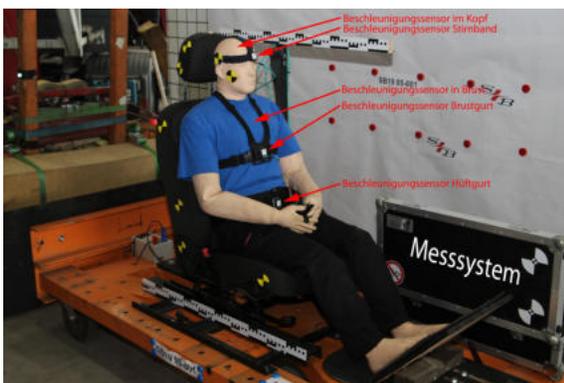


Abb. 6: Mit Sensoren ausgestatteter Dummy

Die **Abb. 4** und **Abb. 5** zeigen den Vergleich eines älteren VW Golf II-Sitzes mit dem aktuellen VW Golf VII-Sitz mit zwei Probanden sehr unterschiedlicher Körpergröße zur Übersicht. Es ist leicht erkennbar, dass die kleinere Person (obere Bilder) in beiden Fällen durch die Kopfstütze gut geführt wird, während der alte Sitz zu einer deutlichen Streckung der Halswirbelsäule des größeren Probanden führt (untere Bilder).

Ergänzend zu den Probandenversuchen bei Geschwindigkeitsänderungen bis 9 km/h wurden auch Versuche mit dem Biofidel-Dummy durchgeführt, der bereits in der letzten Aus-

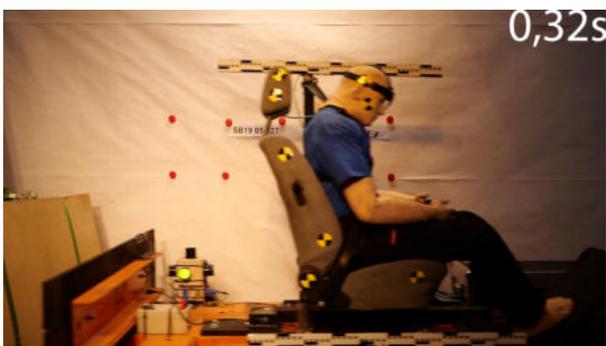


Abb. 7: Bewegungsablauf eines Dummy auf einem VW Golf II-Sitz

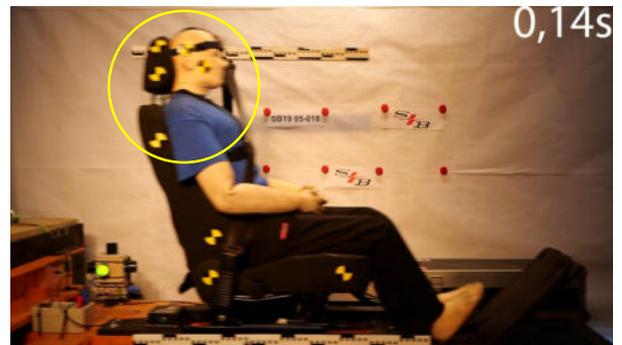


Abb. 8: Bewegungsablauf eines Dummy auf einem VW Golf VII-Sitz

gabe des Ureko-Spiegels beschrieben wurde. [2] In dem Dummy sind zusätzliche interne Sensoren in Kopf und Brust installiert, vergleiche Übersicht in **Abb. 6**. Außerdem ermöglicht der Biofidel-Dummy die Untersuchung höherer kollisionsbedingter Geschwindigkeitsänderungen, ohne ein Verletzungsrisiko für die Probanden einzugehen. Die **Abb. 7** und **8** zeigen hierzu den

Bewegungsablauf der beiden Golf-Sitze mit dem Biofidel-Dummy. Dadurch, dass das biomechanische Verhalten des Biofidel-Dummys dem Verhalten des menschlichen Körpers angepasst ist, ist auch hier die deutliche Streckung der Halswirbelsäule bei dem älteren Sitzmodell gut erkennbar (vgl. Seite 8, links: Golf II-Sitz und rechts: Golf VII-Sitz).

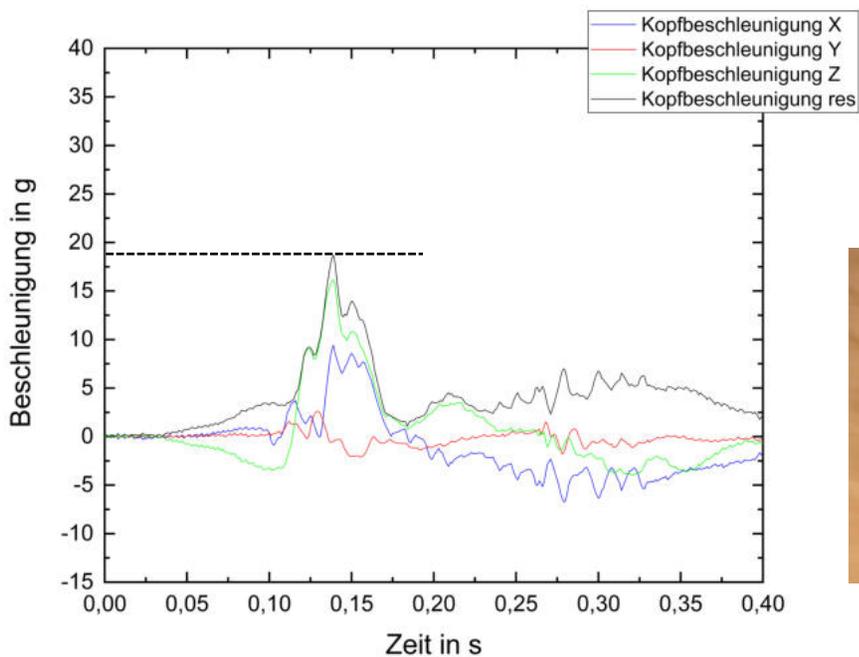


Abb. 9: Messung der Kopfbeschleunigung des Dummy (VW Golf II-Sitz)

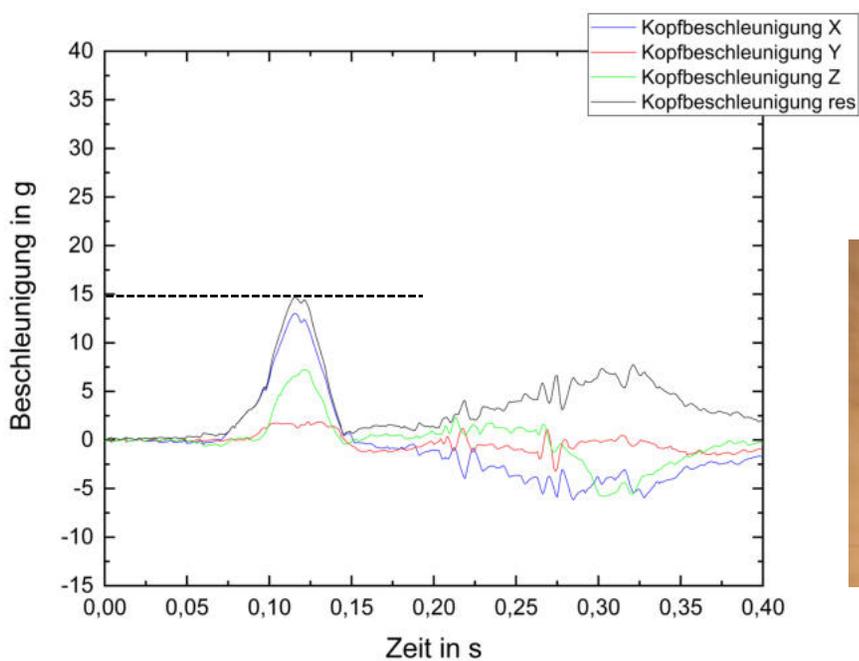


Abb. 10: Messung der Kopfbeschleunigung des Dummy (VW Golf VII-Sitz)

Mit dieser Streckung geht aus der Relativbewegung zwischen Kopf und Brust ein hohes Verletzungsrisiko aus, da hierdurch die Halswirbelsäule besonders belastet wird. Die Relativbewegung entsteht dann, wenn sich der Kopf und die Brust des Insassen nicht gleichzeitig bewegen, d.h., nicht gleichzeitig beschleunigt werden. Kommt es also zu einem Unterschied der Beschleunigungswerte von Kopf und Brust, führt dies zu einer Relativbewegung und deswegen zu einem höheren Verletzungsrisiko. Ist diese Differenz klein, so kommt es zu keiner starken Streckung der Halswirbelsäule und damit zu einem geringeren Verletzungsrisiko.

Bei der Auswertung der Beschleunigungen, die auf den Kopf des Biofidel-Dummy wirken, stellte sich bei verschiedenen Geschwindigkeitsänderungen die resultierende Kopfbeschleunigung beim Golf II-Sitz höher dar als beim Golf VII-Sitz (vergleiche schwarz gestrichelte Linie in **Abb. 9** und **10**).

Durch die steifere Sitzlehne des Golf VII-Sitzes ist die Brustbeschleunigung hingegen bei dem neueren Sitz höher als bei dem älteren Golf II-Sitz. Dies wirkt sich aber positiv für den Insassen aus, obwohl die höheren Beschleunigungswerte auf den ersten Blick ein höheres Verletzungsrisiko suggerieren. Durch die geringere Kopfbeschleunigung einerseits und die höhere Brustbeschleunigung andererseits wird bei dem neueren Golf VII-Sitz die Differenz der Beschleunigungen und damit die Relativbewegung kleiner und damit sinkt auch das Verletzungsrisiko in dem moderneren Fahrzeugsitz.

---

**Dipl.-Ing. Joost Wolbers**

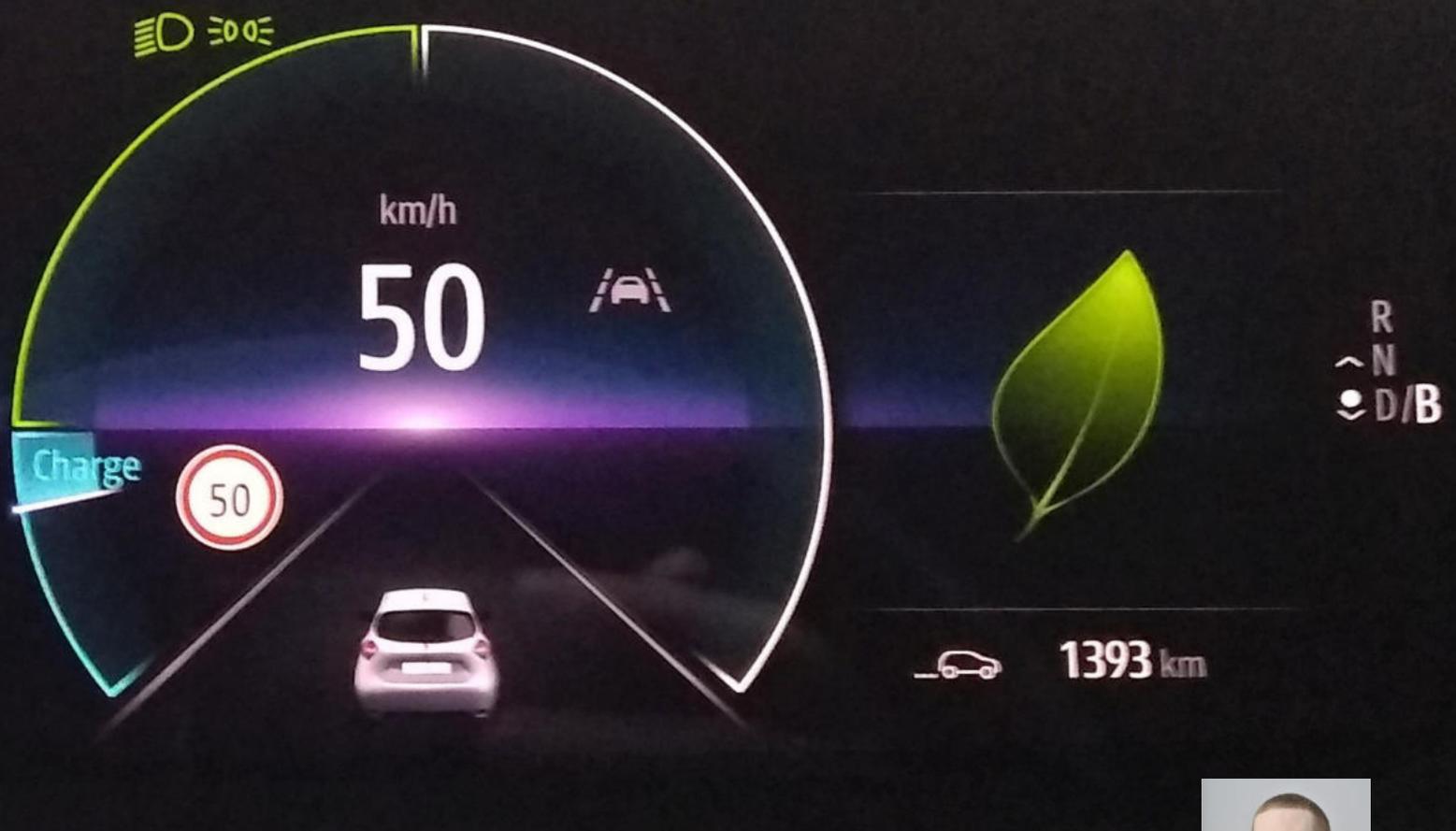
ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für *Straßenverkehrsunfälle* und seit 2001 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke tätig.

**B.Eng. Luca Lilienbecker**

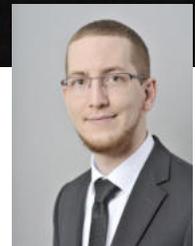
ist seit 2019 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke als Sachverständiger für *Straßenverkehrsunfälle* tätig.

[1] L. Lilienbecker, *Experimentelle Untersuchung der biomechanischen Belastungswerte bei Nutzung neuer und alter Autositze bei Heckkollisionen*, Bachelorarbeit 2019

[2] A. Kortmann, *Crashverhalten im Crashvergleich: der neue Biofidel-Dummy*, Ureko Spiegel 20/2018



Dr. rer. nat. Steffen Rieger



## Bremsen ohne Bremse - Die Verzögerung von E-Autos durch Rekuperation

**Neue batterieelektrisch betriebene Fahrzeugmodelle weisen verschiedene Betriebsmodi mit unterschiedlich starker Energierückgewinnung (Rekuperation) auf. Die Kenntnis der darin auftretenden Verzögerung kann für die Unfallrekonstruktion von großer Bedeutung sein.**

Kraftfahrzeuge mit batterieelektrischem oder Hybridantrieb erfahren in den letzten Jahren eine wachsende Verbreitung. Dies zeigt sich insbesondere anhand der durch das Kraftfahrt-Bundesamt erhobenen Daten zu den Pkw-Neuzulassungen, siehe **Abb. 1**. So stieg der Anteil an batterieelektrisch betriebenen Pkw (E-Autos) von nur 0,4 % im Jahr 2015 auf rund 1,8 % im Jahr 2019. Im Dezember 2020 betrug der Anteil bereits 6,7 %. Auch die Zulassungszahlen von Plug-In-Hybridfahrzeugen steigen seit Beginn der Erfassung im Jahr 2012. Der Grund für die zunehmende Verbreitung dieser Fahrzeug-

klassen kann neben der staatlichen Förderung des Umstiegs in die Elektromobilität in einer sich stetig verbessernden Technik gefunden werden. Fahrerinnen und Fahrer schätzen nicht nur die ökologischen Aspekte, sondern auch den Fahrkomfort, der sich unter anderem in einer geräuscharmen und unmittelbaren Beschleunigung des Fahrzeugs beim Betätigen des Fahrpedals zeigt.

Ein weiterer Vorteil des batterieelektrischen Antriebs ist dessen Umkehrbarkeit. Bei Bedarf kann der Elektromotor als Generator

verwendet werden, um das Fahrzeug unter Rückspeisung von Energie in die Traktionsbatterie abzubremsen. Dieser Vorgang wird „Rekuperation“ genannt und setzt ein, wenn das Fahrpedal losgelassen wird. Er ist damit vergleichbar zur Motorbremse beim Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Die Stärke der Rekuperation wird innerhalb der Möglichkeiten der verwendeten Bauteile durch den Fahrzeugkonstrukteur bestimmt. Neuere Fahrzeugmodelle lassen auch häufig einen Einfluss der Fahrerin bzw. des Fahrers zu.

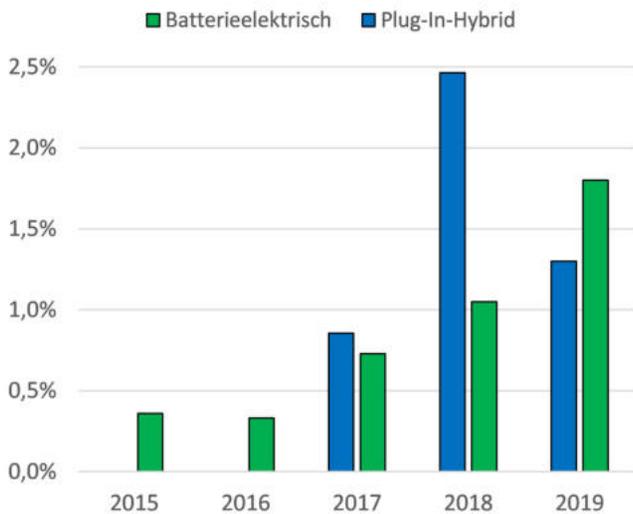


Abb. 1: Anteil von batterieelektrischen und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen an den Pkw-Zulassungen des jeweiligen Jahres (Quelle der Daten: Kraftfahrt-Bundesamt)

### Betriebsmodi von E-Autos

Es existieren zwei gegensätzliche Designkonzepte zur Vermeidung oder bewussten Nutzung der Rekuperation. Einige Fahrerinnen und Fahrer bevorzugen bei ihrem Fahrzeug das sogenannte „Segeln“, bei dem die Geschwindigkeit ohne Betätigung eines Pedals möglichst konstant bleiben soll. Andere möchten dagegen die Möglichkeit zum „Einpedal-Fahren“ nutzen, bei dem das Loslassen des Fahrpedals eine so starke Rekuperation auslöst, dass die auftretende Verzögerung mit einer Betriebsbremsung vergleichbar ist. Zwischen diesen beiden Extremen bewegt sich ein Verhalten, dass mit dem eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor vergleichbar ist und den Umstieg auf ein E-Auto vereinfacht.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und Wünsche der Fahrerinnen und Fahrer gehen immer mehr Hersteller von E-Autos dazu über, die Stärke der Rekuperation einstellbar zu gestalten. Gab es beispielsweise beim Renault Zoe PH1 (2013 bis 2019) nur einen Betriebsmodus, so wurden beim Nachfolger

Renault Zoe PH2 (ab 2019) zwei Betriebsmodi integriert, die als „D-Modus“ (von „drive“) und „B-Modus“ (von „brake“) bezeichnet werden. Der Wählhebel, siehe **Abb. 2**, muss zum Umschalten zwischen den beiden Modi jeweils nach unten gezogen werden. In der Mitte und oben befinden sich Leerlauf „N“ („neutral“) und Rückwärtsgang „R“ („reverse“). Auch andere Fahrzeughersteller verwenden diese Bezeichnungen, beispielsweise Nissan beim Nissan Leaf ZE1 (ab 2017). Dieses Fahrzeug weist darüber hinaus noch eine separate Einstelltaste mit der Bezeichnung „E-Pedal“ auf, sodass sich aus D-Modus, B-Modus und E-Pedal an/aus insgesamt vier Betriebsmodi ergeben.

Für die Unfallrekonstruktion stellt sich die Frage, welche Verzögerungen bei der Rekuperation in verschiedenen Fahrzeugmodellen in Abhängigkeit der verwendeten Betriebsmodi auftreten. Dies wurde in einer Versuchsreihe untersucht.



Abb. 2: Betriebsmodi am Wählhebel des Renault Zoe PH2

### Verzögerung durch Rekuperation

Zur Messung der Verzögerung bei der Rekuperation standen ein Nissan Leaf ZE1 (ab 2017) und ein Renault Zoe PH2 (ab 2019) zur Verfügung. Die Fahrzeuge wurden auf einer Versuchsstrecke auf eine Geschwindigkeit knapp über 50 km/h beschleunigt und

anschließend im jeweils zu testenden Betriebsmodus durch Heben des Fußes vom Fahrpedal ausrollen gelassen. Die auftretende Beschleunigung wurde über die Zeit gemessen und die Geschwindigkeit durch Integration berechnet.

**Abb. 3** zeigt das Messdiagramm des Nissan Leaf im D-Modus. Die Beschleunigungswerte sind auf der linken Achse in Blau und die Geschwindigkeitswerte auf der rechten Achse in Rot gegenüber der Zeit aufgetragen. Nach einer anfänglichen Beschleunigung (mit im Mittel  $4,3 \text{ m/s}^2$ , grüner Bereich) auf eine Geschwindigkeit von  $50 \text{ km/h}$  lief das Fahrzeug über rund  $45 \text{ s}$  mit einer mittleren Verzögerung von anfangs  $0,4 \text{ m/s}^2$  (orange-farbener Bereich) und weiter abnehmend aus. Am Ende der Versuchsstrecke wurde das Fahrzeug durch eine Bremsung zum Stillstand gebracht.

Dagegen erfolgte das Ausrollen des Nissan Leaf im B-Modus gemäß Diagramm in **Abb. 4** mit einer fast dreimal so hohen mittleren Verzögerung von  $1,1 \text{ m/s}^2$ . Auch im B-Modus kam das Fahrzeug nicht vollständig zum Stillstand, da die Beschleunigung bei geringerer Geschwindigkeit abnahm und das Fahrzeug zuletzt mit einer konstanten Geschwindigkeit von rund  $7 \text{ km/h}$  weiterrollte. Im Versuch wurde daher zum Ende der Strecke ebenfalls eine Bremsung durchgeführt.

Ein anderes Verhalten zeigte sich bei der Aktivierung der Funktion E-Pedal, siehe **Abb. 5** (dort in Verbindung mit dem D-Modus). Dabei trat durch die Rekuperation eine mittlere Verzögerung von rund  $2,0 \text{ m/s}^2$  auf, die bis zum Stillstand des Fahrzeugs wirkte. In diesem Modus war daher das Bremsen des Fahrzeugs aus einer Geschwindigkeit von rund  $50 \text{ km/h}$  bis auf  $0 \text{ km/h}$  innerhalb von rund  $7 \text{ s}$  nur durch Loslassen des Fahrpedals möglich.

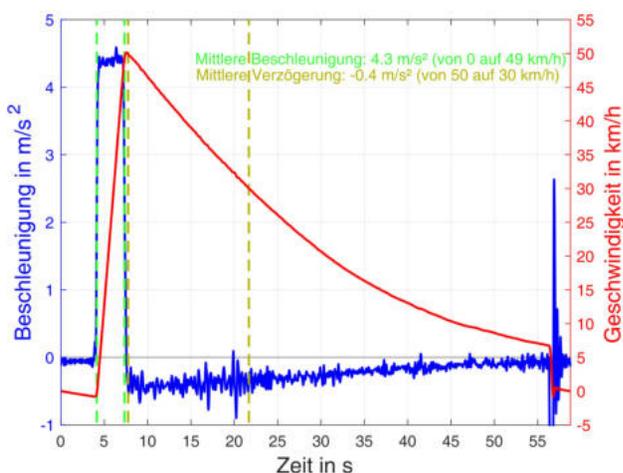


Abb. 3: Beschleunigungsdiagramm eines Nissan Leaf ZE1 im D-Modus  
Mittlere Verzögerung:  $0,4 \text{ m/s}^2$  und weiter abnehmend bis auf eine Geschwindigkeit von rund  $7 \text{ km/h}$

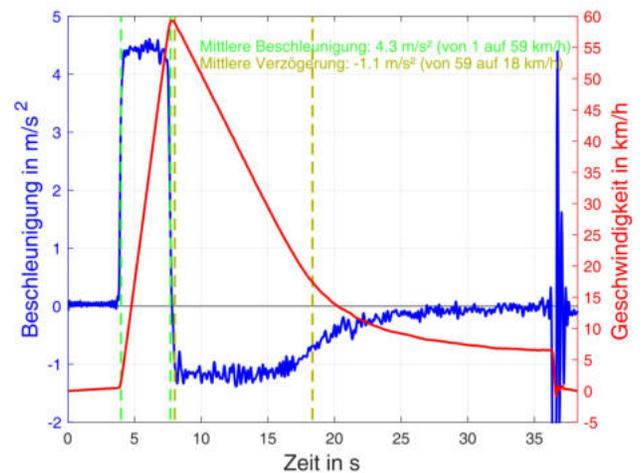


Abb. 4: Beschleunigungsdiagramm eines Nissan Leaf ZE1 im B-Modus  
Mittlere Verzögerung:  $1,1 \text{ m/s}^2$  bis auf eine Geschwindigkeit von rund  $7 \text{ km/h}$

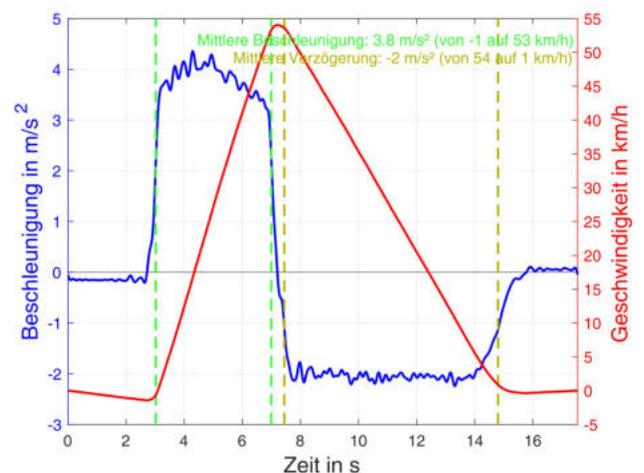


Abb. 5: Beschleunigungsdiagramm eines Nissan Leaf ZE1 im D-Modus mit zusätzlichem E-Pedal-Modus. Mittlere Verzögerung:  $2,0 \text{ m/s}^2$  bis zum Stillstand

### Vergleich verschiedener Betriebsmodi und Fahrzeuge

Vergleicht man die Versuchsergebnisse der vier verschiedenen Betriebsmodi des Nissan Leaf ZE1 und der zwei Betriebsmodi des Renault Zoe PH2, so ergibt sich das Diagramm in **Abb. 6**. Es zeigt sich, dass der Renault Zoe im D-Modus mit  $0,8 \text{ m/s}^2$  eine doppelt so hohe Verzögerung erreicht wie der Nissan Leaf im D-Modus. Ein Rückschluss auf die Stärke der Rekuperation und die Verzögerung des Fahrzeugs kann somit keinesfalls allein von der Bezeichnung des Betriebsmodus erfolgen. Im B-Modus erreichen beide Fahrzeuge dann wiederum vergleichbare Verzögerungen ( $1,1$  und  $1,2 \text{ m/s}^2$ ).

Auffällig ist auch, dass die Verzögerung beim Nissan Leaf im E-Pedal-Modus immer  $2,0 \text{ m/s}^2$  beträgt. Dies ist unabhängig von

der Stellung des Wählhebels auf D oder B, obwohl im Display des Fahrzeugs zwischen diesen beiden Modi unterschieden wird.

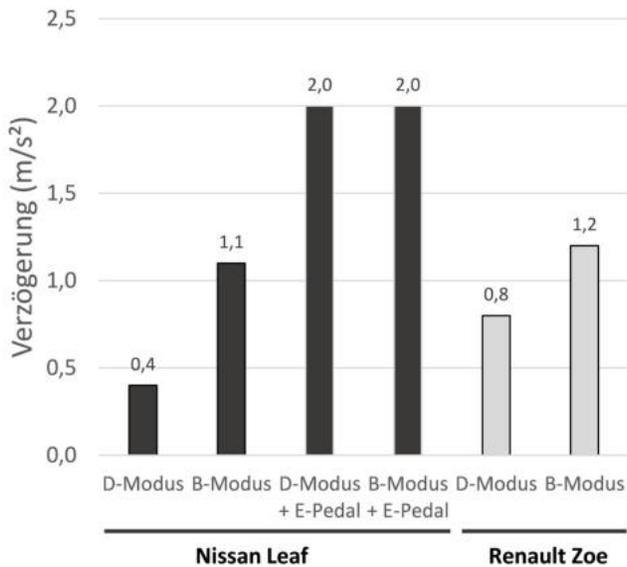


Abb. 6: Vergleich der Rekuperationsverzögerung von verschiedenen Betriebsmodi und Fahrzeugen

Viele E-Autos, auch der Nissan Leaf ZE1 und der Renault Zoe PH2, haben einen zusätzlichen Schalter für einen sogenannten ECO-Modus. Dieser Modus begrenzt die Motorleistung und ggf. die Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs und erleichtert so die Einhaltung einer energiesparenden Fahrweise. Da eine stärkere Rekuperation ebenfalls der Einsparung von Energie dienen kann, ist es naheliegend, dass der ECO-Modus auch die Rekuperationsverzögerung beeinflussen könnte. Dies wurde innerhalb der Messreihe überprüft.

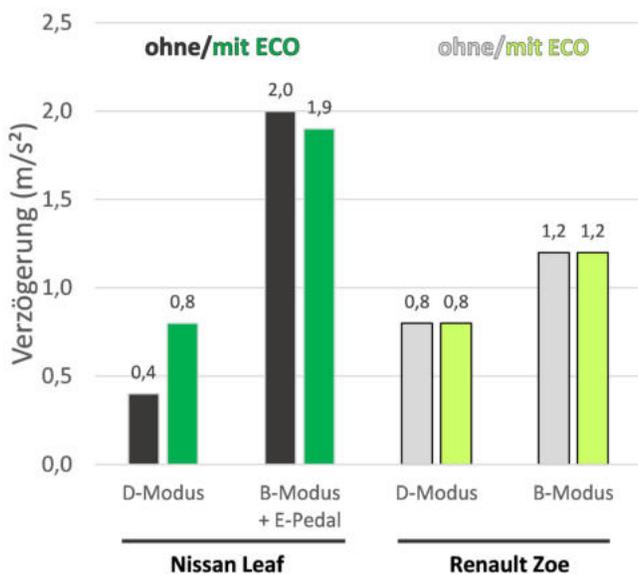


Abb. 7: Vergleich der Rekuperationsverzögerung mit und ohne Aktivierung des ECO-Modus

Die **Abb. 7** zeigt einen Vergleich von zwei Betriebsmodi des Nissan Leaf ZE1 (D-Modus und B-Modus mit E-Pedal) und des Renault Zoe PH2 (D-Modus und B-Modus) jeweils mit und ohne ECO-Modus. Ein Einfluss des ECO-Modus auf die Verzögerung zeigt sich nur beim Nissan Leaf im D-Modus. Bei diesem verdoppelt sich die Verzögerung von 0,4 m/s² auf 0,8 m/s², was dem Wert des Renault Zoe im D-Modus entspricht.

### Bedeutung für die Unfallrekonstruktion

Für die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen ist die Kenntnis der Rekuperationsverzögerung für alle Fälle von Interesse, in denen das Fahrpedal eines E-Autos für eine bestimmte Zeit nicht betätigt wird, sei es bewusst oder aufgrund eines kollisionsbedingten Abrutschens des Fußes. Braucht beispielsweise der Fahrer eines Nissan Leaf nach einer Kollision rund 2 s, um sich zu orientieren und seinen Fuß auf die Bremse zu setzen, so hat sich die Geschwindigkeit seines Fahrzeugs gemäß **Abb. 8** bei einer Verzögerung von 0,4 m/s² (im D-Modus) um rund 3 km/h verringert, bei einer Verzögerung von 2,0 m/s² (im E-Pedal-Modus) bereits um rund 14 km/h in der gleichen Zeit.

Häufig ist der Auslaufweg eines Fahrzeugs vom Kollisionsort in die Endstellung bekannt. Dann kann auf Grundlage der Auslaufverzögerung auf die nachkollisionäre Geschwindigkeit des Fahrzeugs geschlossen werden. **Abb. 9** zeigt, dass diese Ausgangsgeschwindigkeit je nach Rekuperationsverzögerung über einen Auslaufweg von 10 m um 13 km/h und über einen Auslaufweg von 20 m sogar um 18 km/h abweichen kann.

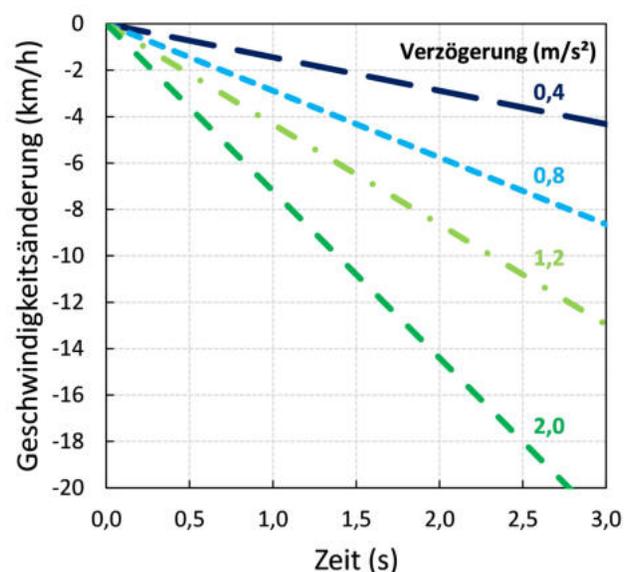


Abb. 8: Geschwindigkeitsänderung eines E-Autos ohne Betätigung eines Pedals in Abhängigkeit der eingestellten Rekuperationsverzögerung

Ob ein E-Auto ohne Betätigung des Bremspedals überhaupt zum Stillstand kommt, hängt ebenfalls vom verwendeten Betriebsmodus ab.

In Fällen, in denen die genaue Bestimmung der Geschwindigkeit eines E-Autos erforderlich ist, muss daher der Betriebsmodus bekannt sein oder hilfsweise eine sich aus den hier dargestellten Daten ergebende Toleranz bei der Analyse berücksichtigt werden.

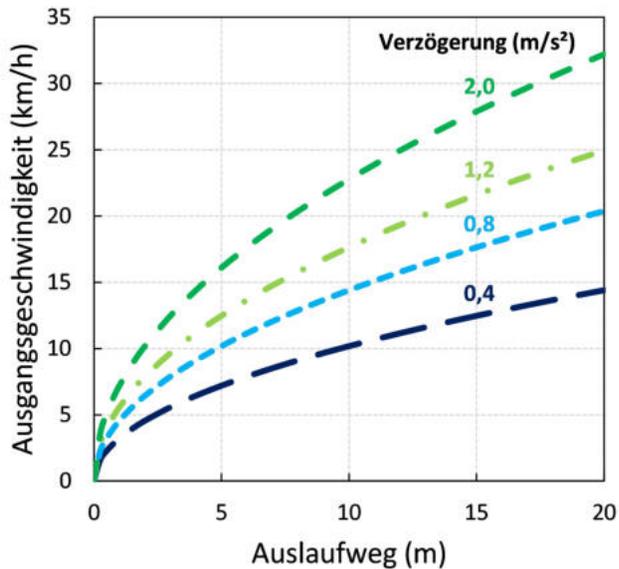


Abb. 9: Ausgangsgeschwindigkeit eines E-Autos in Abhängigkeit des Auslaufwegs ohne Betätigung eines Pedals und der eingestellten Rekuperationsverzögerung

## Zusammenfassung

Anstelle der Betriebsbremse können batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge ihren Elektromotor als Generator nutzen, um eine Verzögerung unter gleichzeitiger Rückspeisung von Energie in die Traktionsbatterie zu erreichen. Die Stärke dieses als „Rekuperation“ bezeichneten Vorgangs kann in neueren Fahrzeugmodellen häufig von der Fahrerin bzw. dem Fahrer durch Wahl eines entsprechenden Betriebsmodus beeinflusst werden.

Die in verschiedenen Betriebsmodi (D-Modus, B-Modus, E-Pedal-Modus) erreichte Rekuperationsverzögerung variierte bei zwei Versuchsfahrzeugen zwischen 0,4 und 2,0 m/s<sup>2</sup>, d.h. um einen Faktor 5. Die Rekuperation wirkte zum Teil nicht unterhalb einer Geschwindigkeit von rund 7 km/h.

Die Kenntnis des Betriebsmodus eines Unfallfahrzeugs in Verbindung mit der darin auftretenden Rekuperationsverzögerung kann zur Bestimmung von dessen Ausgangsgeschwindigkeit von Bedeutung sein.

## Dr. rer. nat. Steffen Rieger

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



# UREKO NEWS

## Neues aus dem Bereich der Verkehrsunfallrekonstruktion und Fahrzeugtechnik

In der Verkehrsunfallrekonstruktion entstehen immer wieder neue Erkenntnisse und Untersuchungsergebnisse. Mit unserem digitalen Newsletter UREKO News wollen wir Sie regelmäßig darüber informieren, was es Neues aus dem Bereich der Verkehrsunfallrekonstruktion und Fahrzeugtechnik gibt. Jede Information enthält am Ende einen kurzen Merksatz, so dass Sie das Resümee auf einen Blick erfassen können.

Auf unserer Homepage [www.ureko.de](http://www.ureko.de) können Sie sich für den automatischen Versand der UREKO News per E-Mail eintragen lassen.





Dipl.-Phys. Annika Kortmann



## Verletzungsmöglichkeiten bei vorgebeugter und gleichzeitig verdrehter Körperhaltung

Bei Heckkollisionen wurden bisher Untersuchungen zum Einfluss einer Kopfdrehung oder Vorbeugung des Oberkörpers nur getrennt voneinander betrachtet. Der folgende Artikel beschreibt die Besonderheiten des Bewegungsablaufs eines Insassen bei einer Heckkollision, bei der gleichzeitig eine vorgebeugte und verdrehte Körperhaltung vorliegt.

Eine vorgebeugte und gleichzeitig verdrehte Körperhaltung wird von Fahrzeugführern oft eingenommen, wenn aus dem fließenden Verkehr in gleicher Fahrtrichtung auf eine bevorrechtigte Straße aufgefahren wird. Kommt es dann zu einer Auffahrkollision, ist eine technische Beurteilung schwierig, da zur Untersuchung des Bewegungsablaufes des Insassen nach derzeitigem Stand keine Versuche vorliegen, die diese Körperhaltung berücksichtigen.

In früheren Studien wurde die Insassenbewegung und -belastung bei von der normalen Sitzposition abweichender

Körperhaltung bislang nur einzeln untersucht. Der Einfluss einer Seitendrehung des Kopfes wurde bereits 1994 im Zuge von Schlittencrashtests mit Freiwilligen von Deutscher [1] systematisch betrachtet. Er führte Crashtests mit Freiwilligen bei einer Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v = 11 \text{ km/h}$  durch. Bei acht dieser Versuche wurde auch die Seitendrehung des Kopfes untersucht. Deutscher konnte feststellen, dass der ursprüngliche Verdrehwinkel des Kopfes um die Hochachse während der gesamten Belastungsphase gleichbleibt. Es trat dabei keine zusätzliche Rotationsbewegung des Kopfes um die Hochachse

auf. Weitere Versuche zu dieser Thematik wurden in Zusammenarbeit des Ingenieurbüros Schimmelpfennig + Becke mit dem OFI Münster durchgeführt. Auch in diesen Versuchen trat keine zusätzliche Rotation des Kopfes in der Belastungsphase um die Hochachse auf. Man stellte bei allen Versuchen außerdem fest, dass der Verdrehwinkel erst in der Sekundärphase abnimmt, d.h. der Kopf sich zurück in Geradeausrichtung dreht.

Zur vorgebeugten Sitzposition bei Heckkollisionen wurden durch das Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke ebenfalls Studien durchgeführt.

Dabei wurden Sitzpositionen mit unterschiedlichem Grad der Vorbeugung untersucht. Die Studie wurde mit FIP (**F**orward **I**nclined **P**osition) bezeichnet. Die Untersuchungen fanden bei einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von  $\Delta v = 7,5 \text{ km/h}$  statt. Vor der Studie war allgemein davon ausgegangen worden, dass mit zunehmender Vorneigung eine höhere Insassenbelastung resultieren würde. Dies konnte jedoch sowohl nach der subjektiven Wahrnehmung der Probanden als auch anhand der Messergebnisse nicht bestätigt werden. Die Begründung ergab sich aus der Filmauswertung dahingehend, dass sich der nach vorn gebeugte Insasse zunächst mit dem Rücken an der Rückenlehne abrollt und erst dann in einer aufrechten Sitzposition ankommt, wenn der Stoß schon nahezu vorbei ist. Zumindest konnte bei  $\Delta v = 7,5 \text{ km/h}$  keine höhere Belastung durch die vorgebeugte Sitzposition festgestellt werden sondern eher eine geringe.

### Technische Untersuchung der Körperhaltung

In **Abb. 1** ist der Unterschied in der Körperhaltung zwischen der normalen Sitzposition und der vorgebeugten und gleichzeitig verdrehten Sitzhaltung dargestellt. Durch das Vorbeugen des Oberkörpers kommt es zu einem deutlichen Abstand des Rückens zur Rückenlehne des Sitzes. Aufgrund der zusätzlich verdrehten Oberkörperhaltung mit Blickrichtung nach links hinten weist die linke Schulter einen deutlich geringeren Abstand zu Rückenlehne auf als die rechte Schulter und ist zusätzlich nach hinten rotiert.

Zur Untersuchung des Bewegungsablaufes eines Insassen bei verdrehter und gleichzeitig vorgebeugter Körperhaltung wurde ein Rammwagen mit integriertem Pkw-Sitz und Gurtsystem genutzt [2], um den Insassen über den Anstoß eines Pendels einer definierten kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung des Rammwagens auszusetzen. Die Höhe der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung des Rammwagens konnte

durch die Auslenkung des Pendels eingestellt werden. Vor das Pendel wurde ein Schaumstoffblock gespannt, der aufgrund seiner reversiblen Verformbarkeit einen Crashpuls erzeugt, der mit einer Pkw-Pkw-Kollision vergleichbar ist. Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung wurde durch die Aufzeichnung des Beschleunigungsverlaufs des Rammwagens ermittelt. Hierzu diente ein UDS (Unfalldatenspeicher), der auf dem Rammwagen fest montiert war. Der Bewegungsablauf des Insassen wurde mit mehreren Kameras aus unterschiedlichen Perspektiven synchron dokumentiert.

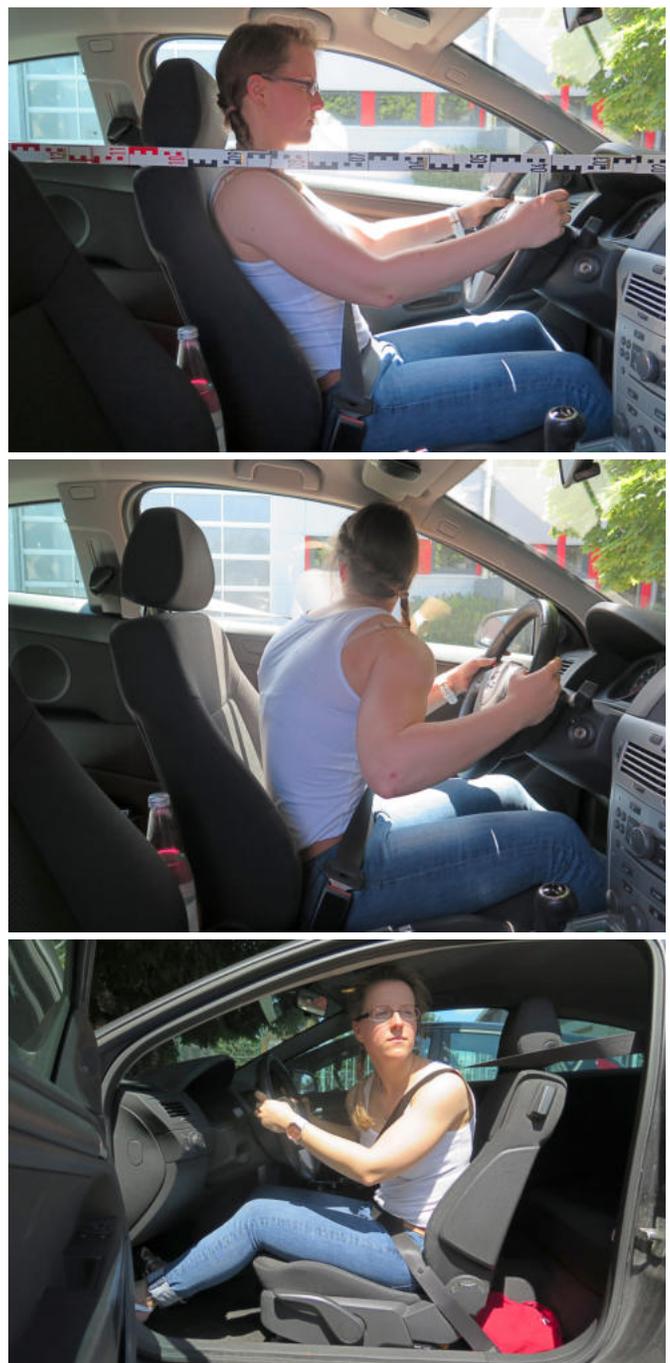


Abb. 1: Normale (oben) sowie vorgebeugte und verdrehte Sitzhaltung (Mitte und unten) im Vergleich

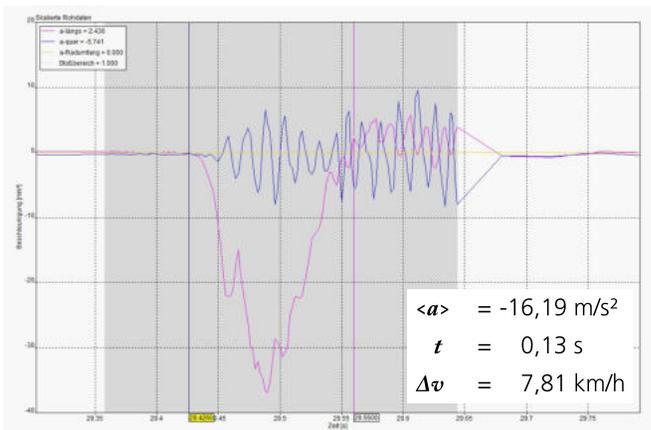
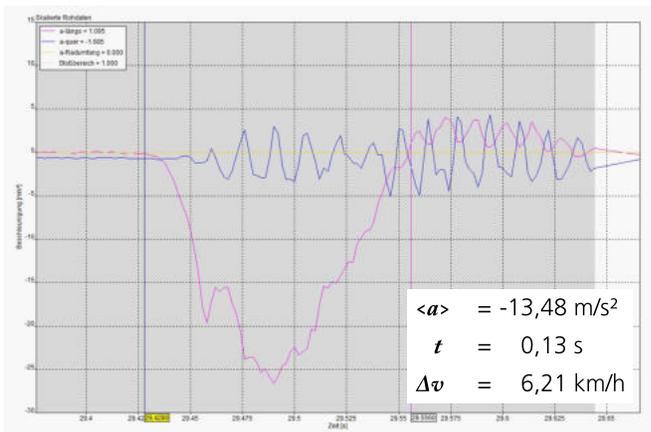


Abb. 2: Beschleunigungsverläufe des Rammwagens bei einem  $\Delta v$  von 6,2 km/h (oben) und 7,8 km/h (unten)

Bei den beiden Versuchen wurde die oben beschriebene Sitzhaltung eingenommen. Den Versuchsaufbau zeigt das Titelbild des Beitrags. Die Beschleunigungsverläufe des Rammwagens sind in **Abb. 2** dargestellt. Der durch den Pendelanstoß erzeugte Beschleunigungsverlauf ( $\langle a \rangle$  entspricht der mittleren Beschleunigung) lässt sich mit Pkw-Pkw-Heckaufprallkollisionen in Bezug auf den Verlauf und die Kollisionsdauer vergleichen.

### Besonderheiten im Bewegungsablauf

Mit **Abb. 3** ist der Bewegungsablauf des Insassen bei einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v = 6,2 \text{ km/h}$  (links) und  $7,8 \text{ km/h}$  (rechts) anhand einer Bildserie zusammengefasst worden. Zum besseren Vergleich entsprechen die gegenübergestellten Bilder gleichen Zeitpunkten. Die oberen Bilder mit der Zeitangabe 0 ms beziehen sich auf den Kollisionsbeginn.

Wie durch Deutscher bereits festgestellt wurde, zeigt sich auch bei einer verdrehten und vorgebeugten Körperhaltung, dass sich der ursprüngliche Verdrehwinkel des Kopfes um die Hochachse

während der Primärbewegung nicht ändert. Ebenso ist zu erkennen, dass sich die Verdrehung des Oberkörpers erst in der Reboundphase auflöst, wie es auch bei den früheren Studien bei einer verdrehten Kopfhaltung festgestellt wurde. Anders als bei der vorgebeugten Sitzhaltung kann sich der Körper bei einer vorgebeugten und gleichzeitig verdrehten Körperhaltung nicht

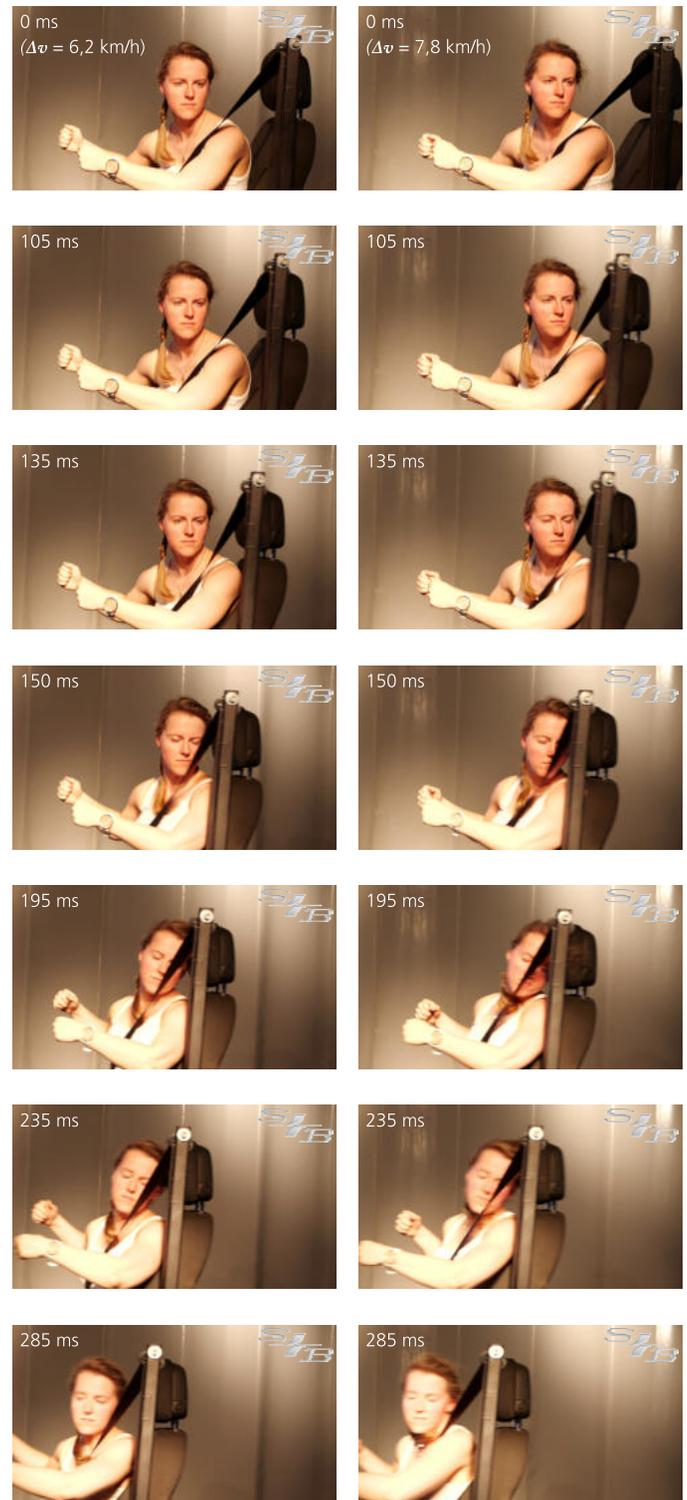


Abb. 3: Insassenbewegung bei einem  $\Delta v$  von 6,2 km/h (links) und 7,8 km/h (rechts)

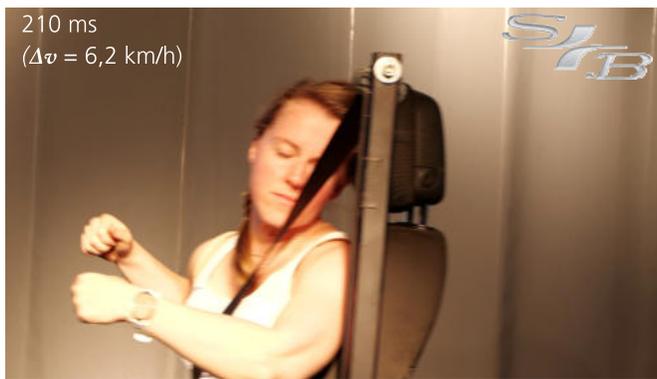


Abb. 4: Dehnung der rechten Halsseite durch das Abknicken des Kopfes am Ende der Primärphase

mit dem Rücken an der Rückenlehne abrollen. Die so stark nach hinten rotierte Schulter verhindert das gleichmäßige Abrollen des Rückens an der Rückenlehne. Die Verdrehung des Oberkörpers bleibt bei den Versuchen in der Primärbewegung daher ebenfalls erhalten.

Da der Kopf durch die Vorbeugung des Oberkörpers zum Kollisionsbeginn einen deutlichen Abstand zur Kopfstütze aufweist, kommt es am Ende der Primärbewegung zum seitlichen Anprall des Kopfes gegen die Kopfstütze. Zusätzlich ist ein seitliches Abknicken des Kopfes über die nach hinten rotierte (linke) Schulter erkennbar, da die nach hinten rotierte Schulter das Auflösen der Oberkörperverdrehung während des Abrollens verhindert. Die stoßabgewandte rechte Halsseite wird beim Abknicken des Kopfes deutlich gedehnt. Je höher die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, desto stärker fällt das Abknicken des Kopfes und die Dehnung der stoßabgewandten Halsseite aus, wie dies die Einzelbilder am Ende der Primärbewegung in **Abb. 4** zeigen.

**Fazit**

Die Versuche zum Bewegungsverhalten eines Insassen bei einer vorgebeugten und gleichzeitig verdrehten Körperhaltung bei Heckkollisionen zeigen, dass die zusätzliche Oberkörperdrehung zu einem Abknicken des Kopfes über die nach hinten rotierte Schulter führt. Je höher die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, desto stärker fällt das Abknicken des Kopfes und die Dehnung der stoßabgewandten Halsseite aus.

Bei den beiden Versuchen wurden keine medizinischen Untersuchungen durchgeführt. Der Anprall des Kopfes an die Kopfstütze bei einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von 6,2 km/h wurde ohne weiteres toleriert; der Anprall bei einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung

von 7,8 km/h wurde als schmerzhaft empfunden. Die im Rahmen einer Bachelorarbeit einige Wochen zuvor durchgeführten Rammwagenversuche zu Heckkollisionen bei höheren kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderungen von bis zu 9 km/h und normaler Sitzposition wurden hingegen ohne Schmerzempfinden toleriert. Einen Tag nach den Versuchen zum Bewegungsverhalten eines Insassen bei einer vorgebeugten und gleichzeitig verdrehten Körperhaltung traten Schmerzen bei einer Bewegung des Kopfes auf der rechten, stoßabgewandten Halsseite auf, die von der Intensität einer Muskelzerrung entsprachen. Die aufgetretenen Schmerzen klangen nach einigen Tagen wieder vollständig ab.

Für die Unfallrekonstruktion ist es zur Untersuchung des Verletzungspotentials des Insassen zwingend erforderlich, die Körperhaltung des Insassen zum Kollisionszeitpunkt zu kennen. Die Versuche zur vorgebeugten und gleichzeitig verdrehten Körperhaltung haben gezeigt, dass eine Kombination aus vorgebeugter und zur Seite gedrehter Körperhaltung zu einem anderen Bewegungsablauf des Insassen führt, als wenn der Insasse entweder bei der Kollision nur vorgebeugt saß oder nur den Kopf zur Seite gedreht hatte. Insbesondere kommt es durch die nach hinten rotierte Schulter zu einer Belastung der stoßabgewandten Halsseite, die zum Ende der Primärbewegung in Abhängigkeit von der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung durch das Abknicken des Kopfes gedehnt wird.

**Dipl.-Phys. Annika Kortmann**

ist öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für *Straßenverkehrsunfälle* und seit 2014 im Ingenieurbüro Schimmelfennig + Becke tätig.

[1] C. Deutscher, *Bewegungsablauf von Fahrzeuginsassen beim Heckaufprall*, Eurotax (International) aG, Freienbach (CH) 1994  
 [2] L. Lillienbecker, *Experimentelle Untersuchung der biomechanischen Belastungswerte bei Nutzung neuer und alter Autositze bei Heckkollisionen*, Bachelorarbeit 2019



Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter



## Untersuchungsmöglichkeiten zur Abgasreinigungsstrategie

Seit der ersten öffentlichen Diskussion zu illegalen Abschalteinrichtungen in der Motorsteuerung von Dieselfahrzeugen im September 2015 ist dieses Thema aus der aktuellen Berichterstattung nicht mehr wegzudenken. Für eine Vielzahl von Gerichtsprozessen stellt sich die Frage, wie die Beweisfragen technisch unabhängig und belastbar untersucht werden können.

Neben der meist zuerst genannten Motorenfamilie EA189 des Herstellers VW sind mittlerweile auch andere Motorgenerationen anderer Hersteller zentraler Streitpunkt von Gerichtsprozessen. Die dabei diskutierten Fragen beziehen sich darauf, dass die Fahrzeuge möglicherweise über eine illegale Abschalt-einrichtung verfügen, so dass sie bei der Prüfstandmessung einen besonders sauberen Modus fahren, während das Fahrzeug im Alltagsbetrieb deutlich höhere Schadstoffmengen ausstößt. Für den Hersteller könnte eine derartige Abschalt-einrichtung verschiedene Vorteile bieten, wie ein geringerer

AdBlue-Verbrauch, ein geringerer Kraftstoffverbrauch oder die Optimierung von Verschleißrisiken.

Zusammenfassend lässt sich die Fragestellung also mit einem anderen Verhalten des Fahrzeuges bei der Verbrauchsmessung auf dem Prüfstand einerseits und dem vorgesehenen Betrieb im Straßenverkehr andererseits beschreiben. Aus dieser Diskussion heraus ist eine Vielzahl von Gerichtsverfahren entstanden, bei denen gegen die Fahrzeughersteller etwa wegen Schadenersatz oder Wandlung geklagt wird.

## Möglichkeiten für den Sachverständigenbeweis

Die technische Beurteilung derartiger Fälle kann prinzipiell auch auf Basis von Fremduntersuchungen, wie beispielsweise Veröffentlichungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, der Deutschen Umwelthilfe (DUH), des ADAC oder weiterer Quellen erfolgen. Dies ist jedoch im Allgemeinen nicht geeignet, ein belastbares und beweissicheres Ergebnis für den Einzelfall zu erzielen, da die Details zu den Messungen nur den jeweiligen Durchführenden bekannt sind. Ebenso sind die Möglichkeiten zur technischen Bearbeitung nach Aktenlage nur beschränkt, da allein mit der technischen Beurteilung des Akteninhaltes kaum ein neues belastbares Ergebnis erzielt werden kann. Somit bleiben letztlich als sinnvolle Möglichkeit zur Beantwortung derartiger Beweisfragen nur Untersuchungen, die im Rahmen von eigenen Forschungsarbeiten oder Untersuchungen des streitgegenständlichen Fahrzeuges durchgeführt werden.

Der Vergleich von Messergebnissen verschiedener Fahrzeuge ist aus technischer Sicht jedoch sehr schwierig und in der Regel nicht belastbar. Da die Abgasreinigungsstrategie eines Fahrzeuges letztlich eine Softwarefunktion ist, kann sie von einer Vielzahl von Parametern beeinflusst sein. So hat beispielsweise ein Ausstattungsmerkmal wie die Getriebevariante, eine Anhängerkupplung ab Werk, Fahrwerksausführung oder die Ausführung der Klimaanlage einen möglichen Einfluss. Prinzipiell kann auch nur eine andere Softwareversion eines beteiligten Steuergerätes, etwa aufgrund eines anderen Bauzeitraumes, einen Einfluss auf die Abgasreinigungsstrategie haben und damit auch die Beantwortung der Beweisfragen wesentlich verändern. Daher kann bei Hinzuziehung eines Vergleichsfahrzeuges letztlich aus unabhängiger Sicht nicht sicher ausgeführt werden, dass die Messergebnisse zweier verschiedener Fahrzeuge tatsächlich vergleichbar sind.

Aus technischer Sicht wäre eine Übertragung von anderen Messungen wohl erst dann möglich, wenn man eine ganze Reihe von Fahrzeugen gleichen Typs untersucht und dann feststellt, dass die beschriebenen Funktionen der Abgasreinigungsanlage unabhängig von verschiedenen Ausstattungsmerkmalen das gleiche Verhalten zeigen.

Wenn aber das streitgegenständliche Fahrzeug dennoch über eine auch nur leicht veränderte Ausstattung oder Softwareversion verfügt, kann aus technischer Sicht nicht mehr sicher gefolgert werden, dass das Fahrzeug tatsächlich über die gleichen Eigenschaften wie die Vergleichsfahrzeuge verfügt. Aus diesem Grund ist letztlich eine beweissichere Beurteilung nur dann möglich, wenn das streitgegenständliche Fahrzeug

selbst untersucht wird.

Eine weitere Problematik besteht darin, dass in manchen Fällen nach der ursprünglichen Softwareversion des Fahrzeuges gefragt wird, da das Fahrzeug zwischenzeitlich bereits eine durch das KBA initiierte Update-Aktion durchlaufen hat. Aus technischer unabhängiger Sicht ist es dann umso schwieriger, den ursprünglichen Zustand des Fahrzeuges wieder herzustellen, da nur der Hersteller genau weiß, welche Softwareversion mit dem Fahrzeug tatsächlich ausgeliefert wurde.

Ein nachträgliches Zurückspielen der alten Software ist in der Regel nicht möglich, da die entsprechenden Diagnoseprogramme eine Rückbedatung des Fahrzeuges nicht zulassen. Um ein Fahrzeug mit einer alten Softwareversion zu untersuchen, ist es daher nicht nur notwendig, die alte Softwareversion aufzutreiben, sondern darüber hinaus muss durch verschiedene technische Maßnahmen diese alte Softwareversion unter Umgehung der herstellereits vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen erneut in das Fahrzeug aufgespielt werden. Allein dies erzeugt einen derartig hohen Aufwand, dass diese Variante nur in Ausnahmefällen durchgeführt werden kann. Zudem ist dann juristisch zu prüfen, inwiefern der Fahrzeughersteller als Beklagter die ursprüngliche Software zur Verfügung stellen kann und wie geprüft wird, ob es sich tatsächlich um die richtige Software handelt.

Aus technischer Sicht ist auch eine Untersuchung der Motorsteuergerätesoftware selbst möglich, wie bereits in wissenschaftlichen Veröffentlichungen dargestellt wurde. Dabei ist es leider nicht einfach, diese Untersuchungen auf andere Fahrzeugtypen auszuweiten und es sind dem Verfasser aktuell keine Arbeitsgruppen bekannt, die diese Untersuchungen fortführen. Letztlich hat eine Untersuchung der Motorsteuergerätesoftware aber auch das inhaltliche Problem, dass ein möglicher Einfluss anderer Steuergeräte, wie beispielsweise des Getriebesteuergerätes oder, falls vorhanden, des Steuergerätes zur Abgasreinigung, nicht berücksichtigt wird. Daher kann eine dedizierte Untersuchung der Motorsteuergerätesoftware letztlich auch nicht die Sicherheit bieten, bei dem streitgegenständlichen Fahrzeug im Zusammenspiel aller im Fahrzeug verbauten Komponenten das untersuchte Verhalten nachzuweisen.

## Technische Untersuchung des Fahrzeuges

Den Kern einer technischen Untersuchung eines streitgegenständlichen Fahrzeuges stellt eine Abgasmessung mit dem Fahr-

zeug auf einem Rollenprüfstand mit einer normgerechten Messung, mit Variationen dieser Messung und ggf. einer Abgasmessung nicht auf dem Prüfstand, sondern im Realverkehr dar.

Zur Vorbereitung einer Prüfstandmessung ist es sinnvoll, das Fahrzeug zunächst in einer Voruntersuchung zu sichten, um den Zustand des Fahrzeuges, die genaue Ausstattung, wie Motorsteuergerätevariante, Ausführung der entsprechenden Steckverbinder und auch eine Aufzeichnung der CAN-Daten auf dem relevanten Datenbus des Fahrzeuges zu kennen.

Auf Basis der Voruntersuchung kann dann die notwendige Messtechnik geplant werden, die durch einen entsprechenden Adapter an der elektrischen Verbindung zum Motorsteuergerät die notwendigen Signale abgreift, um das Fahrzeugverhalten auf dem Abgasprüfstand genau studieren zu können. Es ist hierbei nicht ausreichend, lediglich die Messergebnisse vom Prüfstand heranzuziehen, denn für eine umfassende Beurteilung der Abgasreinigungsstrategie ist es auch nötig, die relevanten Motorparameter mit einer unabhängigen Messtechnik zu erfassen. Dies stellt eine besondere Herausforderung dar, da durch die zusätzlich eingebrachte Messtechnik in das Fahrzeug kein Eingriff in die Motorsteuerung oder eine Beeinflussung von Sensorwerten geschehen darf. Dies kann bei entsprechender Auslegung der Messtechnik jedoch sichergestellt werden.

Für die bereits untersuchten Fahrzeuge wird jeweils ein entsprechender Prüfadapter gefertigt, der die notwendigen Signale für die Messtechnik aus den elektrischen Verbindungen zum Motorsteuergerät abgreift (vgl. **Abb. 1**). Die Konfiguration und Auslegung der Messtechnik stellt hierbei einen hohen Aufwand dar.

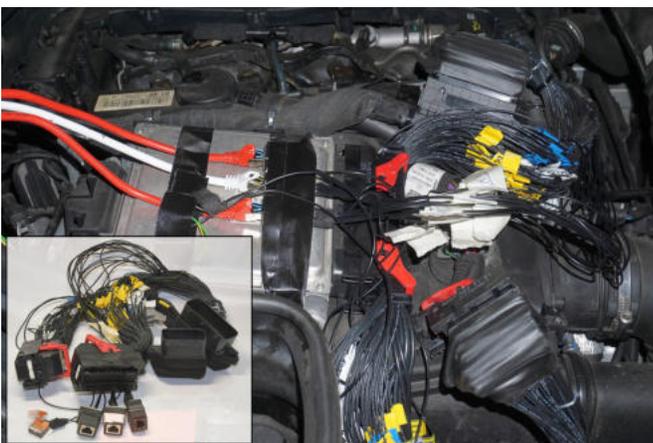


Abb. 1: Individuell gefertigter Prüfadapter einzeln (kleines Bild) und im Fahrzeug eingebaut

Ist das Fahrzeug entsprechend vorbereitet, kann die notwendige Messung auf einem entsprechenden Abgasprüfstand erfolgen, wie **Abb. 2** in einer Übersicht zeigt. Dabei wird das Fahrzeug

beispielsweise nach dem NEFZ- oder dem WLTP-Zyklus bzw. verschiedener Varianten dieser Prüfzyklen (z.B. NEFZ back, NEFZ warm, NEFZ -10%, NEFZ +10%) oder besonderer eigener Prüfzyklen gemessen, um die Details zur Motorsteuerung bzw. zur Abgasreinigungsstrategie herauszuarbeiten.



Abb. 2: Messung auf einem Abgasprüfstand, die gezeigten Notebooks zeichnen die Daten der unabhängigen Messdatenerfassung auf

Als Beispiel zeigt **Abb. 3** eine Messung nach dem NEFZ-Zyklus, bei dem ein Fahrzeug den vorgegebenen Geschwindigkeitsverlauf durchfährt (rot eingezeichnet) und gleichzeitig die Motortemperatur (gelb) sowie die Fahrpedalstellung (grau) aufgezeichnet wurde. Es fällt bei dem Prüfzyklus dieses Fahrzeuges auf, dass das Fahrpedal zum Durchfahren des NEFZ-Zyklus nur bis etwa 30 % in den Spitzenwerten der ersten Fahrzeit und bis zu 50 % bei der kurzen Hochgeschwindigkeitsfahrt am Ende des Zyklus betätigt wird. Als Mittelwert für die Fahrpedalstellung ergibt sich ein Wert von weniger als 20 %, wodurch klar wird, dass das Fahrzeug auf dem Prüfstand beim NEFZ-Zyklus einen deutlich geringeren Verbrauch aufweist, als dies für den normalen Einsatz im Straßenverkehr typisch ist.

Dies ist aus technischer Sicht keine Überraschung, da bereits seit vielen Jahren öffentlich diskutiert wird, dass die Verbrauchswerte, die nach dem NEFZ-Zyklus gemessen werden, kein Maß dafür sind, was das Fahrzeug tatsächlich im Straßenverkehr verbraucht, sondern in Jahr 1992 lediglich als reproduzierbare Vergleichsgröße verschiedener Fahrzeuge eingeführt wurde.

Eine bessere Möglichkeit, realitätsnahe Verbrauchswerte zu erhalten, bietet die RDE-Messung (**Real Drive Emission**), bei der das Fahrzeug nach einem festgelegten Zyklus im öffentlichen Straßenverkehr bewegt wird. Dabei wird eine mobile Abgasmesseinrichtung entweder in das Fahrzeug eingebaut oder auf einem Gestell hinter dem Fahrzeug montiert. Bei dieser Messung werden nachträglich bestimmte Bereiche aus der Fahrt ausgewertet und ein normkonformer Wert zu den Abgasemissionen und damit auch zum Kraftstoffverbrauch bestimmt.

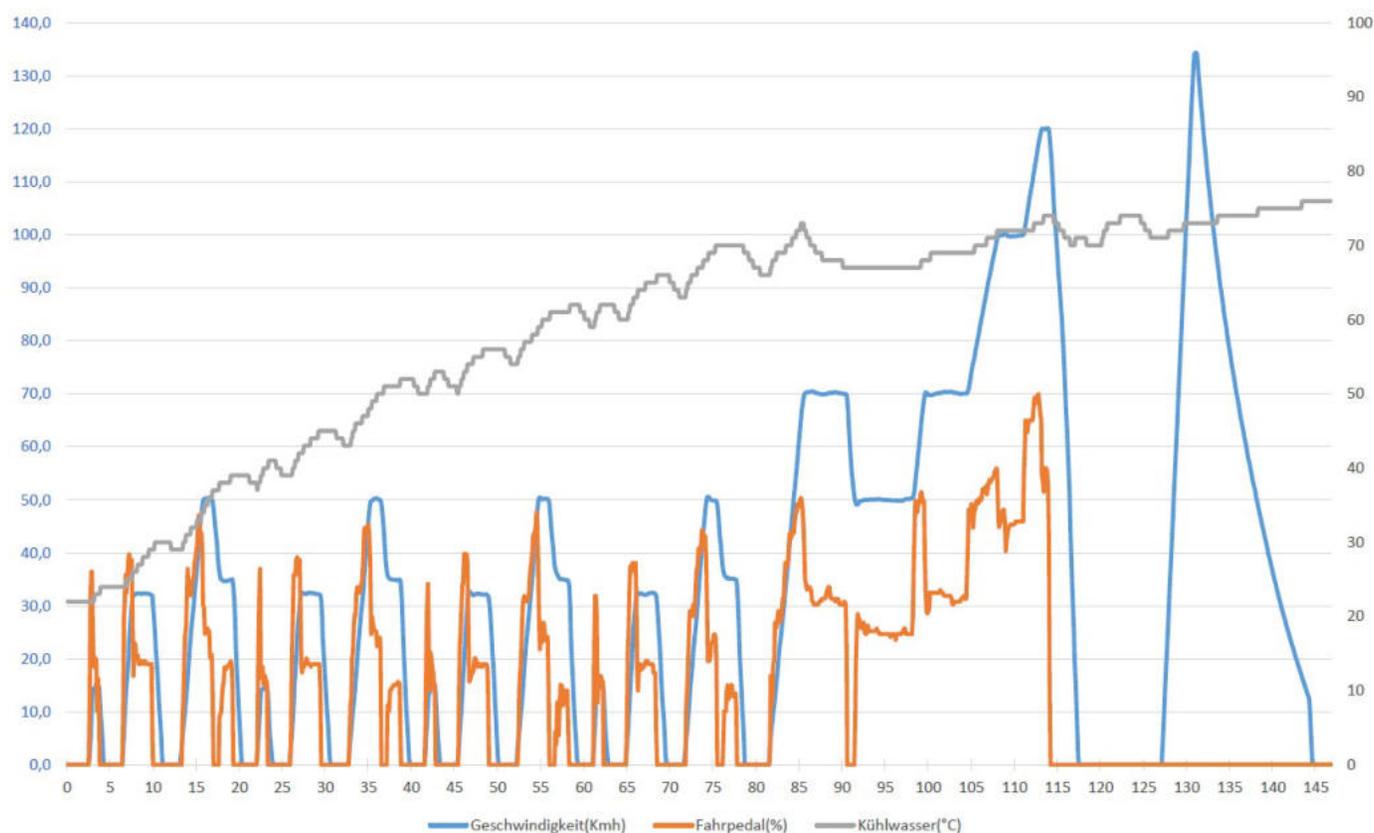


Abb. 3: Messung nach dem NEFZ-Zyklus

### Zusammenfassung / Ausblick

Die technische Untersuchung der in einem konkreten Fahrzeug verwendeten Abgasreinigungsstrategie beinhaltet in der Regel eine Analyse des Fahrzeugs selbst, da die Vergleichbarkeit von verschiedenen Fahrzeugen nur wenig belastbar ist. Dies liegt darin begründet, dass eine andere Ausstattung oder auch eine andere Softwareversion eines der beteiligten Steuergeräte einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse nehmen kann.

Der technische Aufwand zur Untersuchung ist sehr hoch, da mit einer einzelnen Verbrauchsmessung keine Aussage über die Abgasreinigungsstrategie erfolgen kann. Daher sind zum einen mehrere Messungen notwendig und zum anderen müssen die Messungen durch zusätzliche Messtechnik begleitet werden, um Details zur Motorsteuerung bzw. zur Abgasreinigungsstrategie herausarbeiten zu können. Sowohl der Aufwand für die Messtechnik, als auch der Analyseaufwand der Messdaten ist dabei sehr hoch, so dass derartige Untersuchungen auch mit hohen Kosten verbunden sind.

Dadurch, dass es sehr viele Einflussfaktoren auf die Motorsteuerung geben kann, ist abschließend der technische und finanzielle Aufwand für eine derartige Untersuchung nicht

mit einem üblichen Gutachten zu einer technischen Fragestellung vergleichbar. Es ist eben nicht ausreichend, das Fahrzeug zu besichtigen und mit einer einfachen Messung eine technische Feststellung zu treffen.

Es darf dabei nicht unterschlagen werden, dass es bei vielen Beweisfragen darum geht, kritische Details zur Motorsteuerungsstrategie beweissicher herauszuarbeiten, ohne dass technische Unterlagen oder weitere Informationen durch die Hersteller zur Verfügung gestellt werden können.

Durch die Vielzahl an Aufträgen und anstehenden Untersuchungen hat sich zur Bearbeitung dieser speziellen Fälle bereits eine Bearbeitungszeit von mehreren Jahren entwickelt.

.....  
**Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter**

ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für *Straßenverkehrsunfälle sowie Kraftfahrzeugelektrik und -elektronik* und Geschäftsführer der Schimmelpfennig + Becke GmbH & Co. KG.



Dipl.-Ing. Thilo Romberg



## Die Hand auf der Motorhaube - Wie zuverlässig können Temperaturen erfühlt werden?

**Bis heute wird bei polizeilichen Verkehrskontrollen die Hand auf die Motorhaube gelegt, um festzustellen, ob ein Fahrzeug kürzlich gefahren wurde. Im Fahrzeugbau haben sich jedoch über die Jahre die Kühltechnik und die thermische Isolierung des Motorraums weiterentwickelt. Es stellt sich die Frage, wie aussagekräftig derart gefühlte Temperaturen bei einem modernen Fahrzeug noch sind.**

Zur Eingrenzung der entscheidenden Faktoren für die Motorhauben-Temperatur wurden verschiedene Fahrzeuge untersucht. So wurden zum Beispiel zur Messung der Abkühlphasen nach dem Fahren Fahrzeuge mit unterschiedlich starken Motorisierungen ausgewählt. Um den Einfluss der Sonneneinstrahlung zu messen, wurden Fahrzeuge mit unterschiedlichen Lackierungen verwendet. Insgesamt wurde jedes Fahrzeug mit vier Temperaturfühlern ausgerüstet. Um die von außen fühlbare Motorhauben-Temperatur zu bestimmen, wurde

ein Sensor unter das Blech an die Motorhaube geklebt, siehe **Abb. 1**. Damit diese Temperatur mit der Wärmeabstrahlung des Motors verglichen werden kann, wurde ein zweiter Sensor an der Außenseite des Motors befestigt, siehe **Abb. 2**. Zur Kontrolle weiterer Einflüsse wurden mit den zwei weiteren Temperaturfühlern die Außentemperatur und die Lufttemperatur im Innenraum gemessen. Zu dem persönlichen Empfinden, ob eine Motorhaube als warm oder kalt einzustufen ist, wurden mehrere Personen befragt.

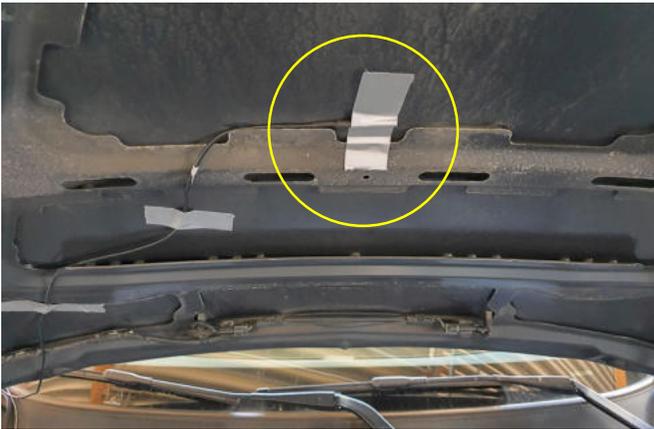


Abb. 1: Sensor unter der Motorhaube

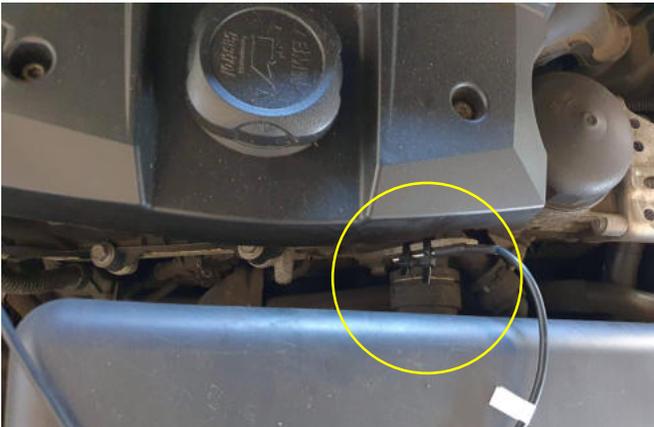


Abb. 2: Sensor an der Außenseite des Motors

In einem Temperaturbereich um 35 °C wurde von den Probanden angegeben, dass eine Motorhaube warm sei und das entsprechende Fahrzeug kürzlich gefahren worden sei. Zur Auswertung der Messergebnisse werden daher Motorhauben-Temperaturen oberhalb von 35 °C als warm bezeichnet und unterhalb von 35 °C als kalt.

### Die gewöhnliche Abkühlphase

Die **Abb. 3** zeigt exemplarisch einen der durchgeführten Messvorgänge. Zu Beginn der Aufzeichnung wurde das Fahrzeug für ca. 1 Stunde lang gefahren. Im Fahrbetrieb steigt zwar die Kerntemperatur des Motors auf über 85 °C an, die gemessene Abstrahlungstemperatur steigt jedoch durch die Kühlung des Motors im Fahrbetrieb kaum über 45 °C. Insbesondere wird die Temperatur durch den wechselnden Fahrbetrieb und die aktive Kühlung an den gemessenen Stellen des Motors immer wieder unterhalb von 35 °C heruntergekühlt. Nachdem der Wagen abgestellt wurde und damit die aktive Kühlung des Motors entfällt, steigt die Außentemperatur des Motors. Erst in dieser Phase wird die Motorhauben-Temperatur durch die Wärmeabstrahlung des nicht mehr gekühlten Motors stark erhitzt.

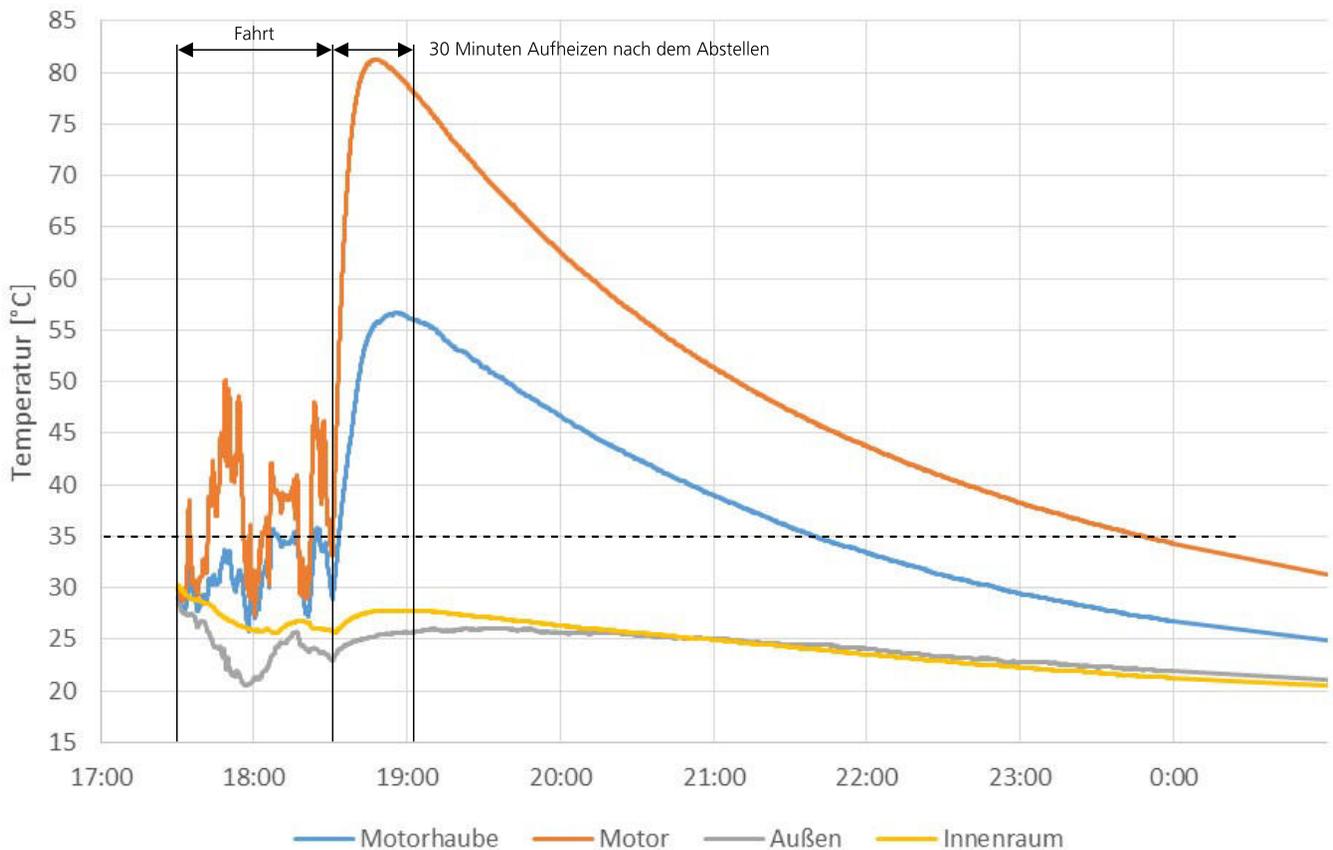


Abb. 3: Die gewöhnliche Abkühlphase

Zur Ergänzung dieser Messdaten wurde die Motorhaube unmittelbar nach dem Abstellen des Fahrzeugs abgetastet. Die Motorhaube wurde allgemein als kalt empfunden. Ein Vergleich der Messergebnisse zeigt, dass es bis zu einer halben Stunde dauern kann, bis die Motorhaube nach dem Abstellen vollständig aufgeheizt wurde. Danach kann die Motorhaube noch für weitere 2,5 Stunden warm bleiben.

### Einfluss durch Sonneneinstrahlung

Zur Überprüfung des Einflusses von Sonneneinstrahlungen wurden Fahrzeuge zunächst zum Abkühlen geparkt und dann in die Sonne geschoben. Eine dabei durchgeführte Messung zeigt exemplarisch die **Abb. 4**. Es wurden dabei unter anderem Motorhauben-Temperaturen von über 60 °C gemessen. Wird das Fahrzeug danach wieder in den Schatten geschoben, bleibt die Motorhaube für etwa eine viertel Stunde noch warm. Diese Messung zeigt also, dass bei starker Sonneneinstrahlung auch eine viertel Stunde später keine Aussage über eine mögliche Fahrt des Fahrzeuges durch Auflegen der Hand auf die Motorhaube treffen lässt.

### Parken unter einem Baum

Bei der durchgeführten Messreihe gibt es unter Berücksichtigung der bereits genannten Erkenntnisse ein Szenario von besonderem Interesse. Dabei wurde in **Abb. 5** ein helles Fahrzeug unter einem Baum geparkt, um den Einfluss der Sonneneinstrahlung zu minimieren. Die durchgeführte Messung ist in der **Abb. 6** wiedergegeben. Auch hier wurde das Fahrzeug zunächst über eine längere Strecke gefahren. Erst nach dem Abstellen heizt sich die Motorhaube über einen Zeitraum von ca. 20 Minuten auf.



Abb. 5: Fahrzeug unter einem Baum geparkt

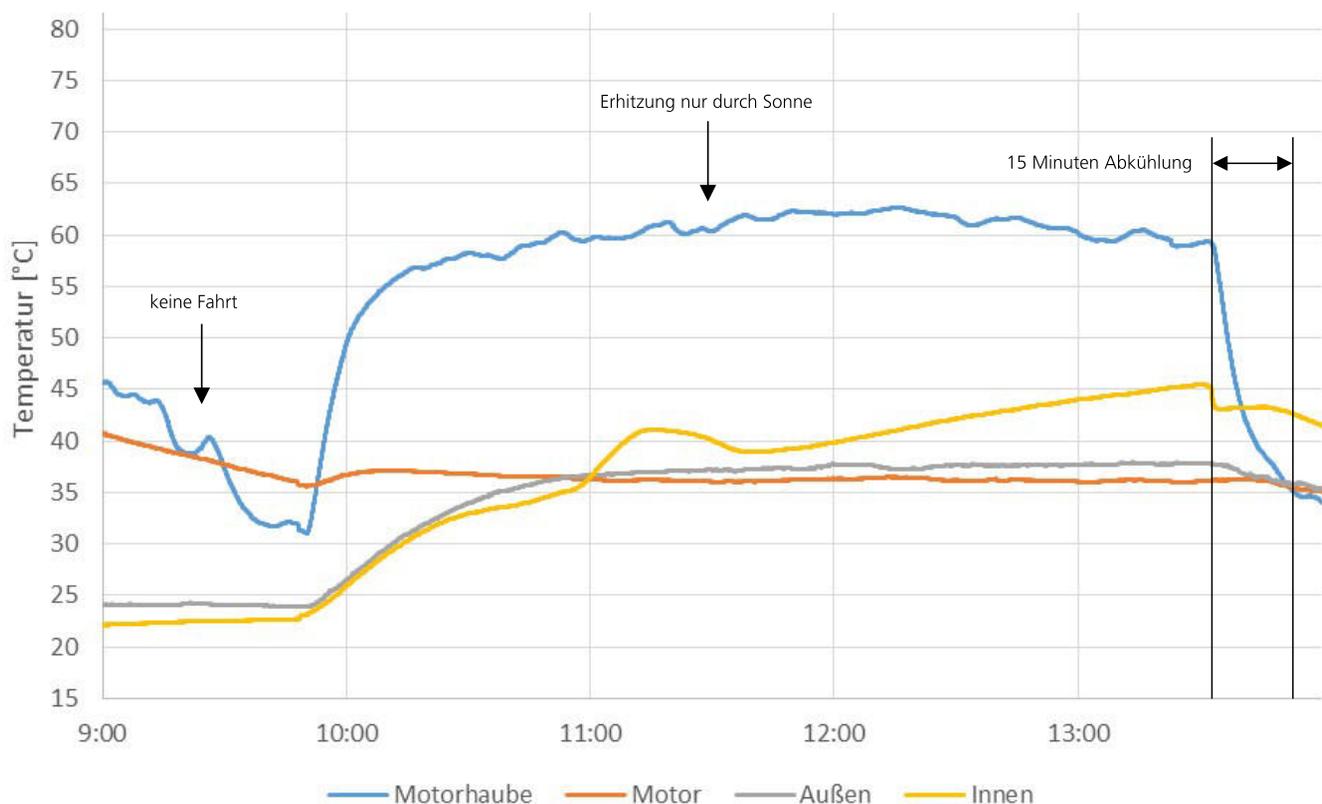


Abb. 4: Einfluss von Sonneneinstrahlungen auf die Motorhaubentemperatur

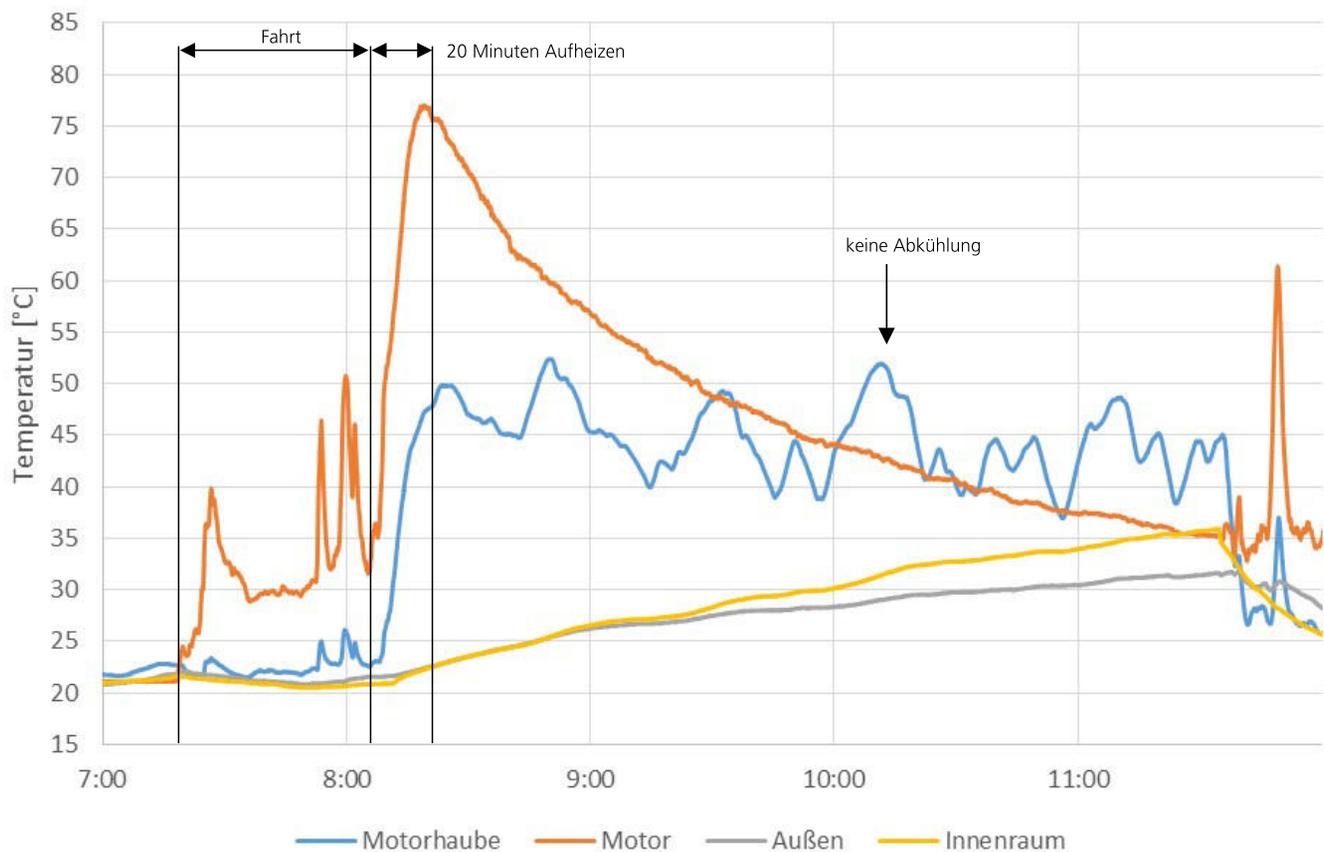


Abb. 6: Messung bei Minimierung der Sonneneinstrahlung

Besonders interessant ist es bei dieser Messung, dass die Motorhauben-Temperatur nach dem Abstellen zwischen 50 und 40 °C verbleibt, anstatt weiter abzukühlen. Die Messung zeigt, dass auch bei einem hellen Fahrzeug nur bei geringer Sonneneinstrahlung die Motorhaube trotzdem heiß bleibt. Der Versuch wurde nach 3 Stunden beendet. Aus technischer Sicht wäre auch denkbar, dass die Motorhaube noch wesentlich länger warm bleibt, wäre das Fahrzeug weiter stehen geblieben.

**Fazit**

Durch die aktive Kühlung im Fahrbetrieb heizt sich eine Motorhaube erst über einen Zeitraum von 20 bis 30 Minuten nach dem Abstellen auf. Abhängig vom Fahrzeugtyp kann dann die Motorhaube noch bis zu 3 Stunden nach dem Abstellen warm sein. Erschwerend kommt hinzu, dass auch durch geringe Sonneneinstrahlung die Motorhaube signifikant aufgeheizt werden kann.

Wird eine Motorhaube durch Ertasten als kalt eingestuft, kann das Fahrzeug trotzdem kürzlich gefahren worden sein. Wird auch bei geringer kurzer Sonneneinstrahlung eine warme Motorhaube festgestellt, muss das Fahrzeug nicht zwingend gefahren worden sein.

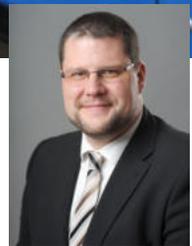
Abhängig vom Fahrzeugtyp, der Lackierung und der Parksituation eines konkreten Falls würde die Temperaturabhängigkeit ggf. nur durch eine Messung am Ereignisort mit einem vergleichbaren Fahrzeug zu rekonstruieren sein.

**Dipl.-Ing. Thilo Romberg**

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



Dr. rer. nat. Jens Bastek



## Abbiegeverhalten von Sattelzügen mit selbstlenkenden Aufliegerachsen

**Das seitliche Ausschwenken von Sattelaufliegern mit selbstlenkenden Achsen bei Abbiegevorgängen von Sattelzügen kann etwa doppelt so groß sein, wie bei Standard-Sattelaufliegern mit ungelenkten Achsen. Gerade im innerstädtischen Bereich, wo unter Umständen beengte räumlich Gegebenheiten vorliegen, führt dieser Umstand immer wieder zu Unfällen.**

Es ist allgemein bekannt, dass das Heck von Bussen, Lkw und Sattelaufliegern im Rahmen von Abbiegevorgängen seitlich ausschwenken kann. Grund hierfür ist ein deutlicher Überhang des Aufbaus nach hinten über die Hinterachsen hinaus. Hierauf wird oft am Heck des jeweiligen Fahrzeuges durch entsprechend angebrachte Warnschilder hingewiesen.

Wenn es im Rahmen der rechtlichen Aufarbeitung eines Unfalls mit einem ausschwenkenden Heck, beispielsweise eines

Sattelauflegers, kommt, ist es zwingend erforderlich, im Rahmen der Rekonstruktion des Unfalls, die genaue Fahrkurve des Sattelauflegers zu erarbeiten.

Für einen Standard-Sattelaufleger, so wie er häufig auf deutschen Straßen unterwegs ist, wurde dies bereits mehrfach gemacht, sodass die entsprechende Fahrkurve eines solchen Auflegers in engen Grenzen bekannt ist.

Anders verhält es sich hingegen bei Sattelaufliegern, die mitlenkende Achsen verbaut haben.

**Motivation**

Im konkreten Fall ging es darum, dass ein Sattelzuggespann mit einem Tiefbettauflieger, der zwei mitlenkende Achsen verbaut hatte, im Rahmen eines 90°-Abbiegevorganges nach rechts im innerstädtischen Bereich mit der hinteren linken Ecke des Aufliegers in den Fahrbereich einer Straßenbahn hineinschwenkte. Hierbei kam es zum Kontakt zwischen dem Tiefbettauflieger und der Straßenbahn, die gerade den Bereich passierte, siehe **Abb. 1**. Das Gericht wollte unter anderem wissen, ob es dem Fahrer des Sattelzuggespanns aufgrund von sehr beengten Verhältnissen an der Örtlichkeit überhaupt möglich war, in die dort befindliche Einfahrt einzufahren, ohne dass das Heck des Tiefbettaufliegers in den Fahrbereich der Straßenbahn einschwenkt.

**Fahrversuche**

Aufgrund der mitlenkenden Achsen des Aufliegers war eine grafische Lösung der Fragestellung auf Basis der Unfallstellen- und Fahrzeugabmessungen nicht zielführend, da der genaue Fahrkorridor des Tiefbettaufliegers anhand der vorhandenen Anknüpfungspunkte nicht zu rekonstruieren war. Die Achsen des Aufliegers sind mechanisch-zwangsgelenkt. Das bedeutet, dass der Einschlag der Räder des Aufliegers von der Winkelstellung zwischen der Sattelzugmaschine und dem

Tiefbettauflieger abhängig ist. Durch solche mitlenkenden Achsen wird das sogenannte Nachlaufen des Aufliegers verringert. Das Nachlaufen beschreibt den Vorgang, dass der Auflieger einen engeren Kurvenradius befährt als die Sattelzugmaschine selbst. Dies kann dazu führen, dass der Auflieger auf der kurveninneren Seite gegen ein Hindernis prallt, obwohl die Sattelzugmaschine das entsprechende Hindernis bereits passiert hat.

Da die Fahrversuche an der Unfallörtlichkeit nicht durchgeführt werden konnten, wurde die Unfallstelle vermessen und auf das Betriebsgelände eines Transportunternehmens übertragen. Die **Abb. 2** verdeutlicht das zu untersuchende Szenario. Das Sattelzuggespann sollte nach rechts in die Einfahrt abgebogen werden. Unmittelbar links neben der Fahrbahn befindet sich die Straßenbahntrasse. Am rechten Fahrbahnrand, zu Beginn der Einfahrt, befand sich ein großer Findling, hier markiert durch den unteren Pylon, sodass der Tiefbettauflieger an dieser Stelle nicht über die Straßenmarkierung geraten durfte, da es ansonsten zum Kontakt mit dem Findling gekommen wäre.



Abb. 1: Unfallsituation

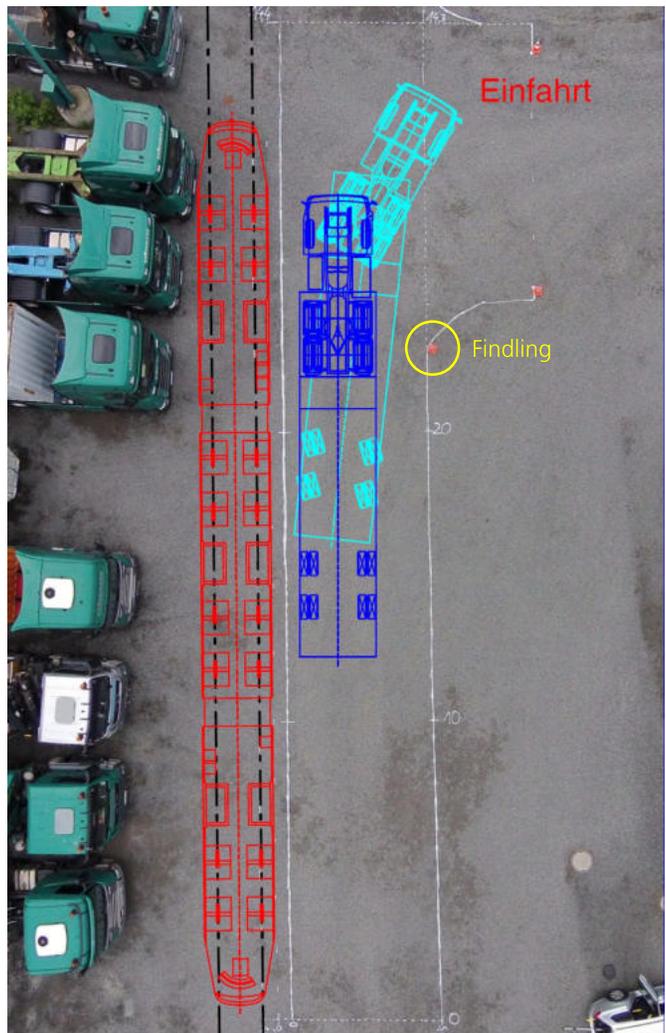


Abb. 2: Nachstellung der Unfallsituation

Im ersten Schritt wurde die Situation des Unfalls nachgestellt. Die **Abb. 3** und **4** zeigen den entsprechenden Fahrvorgang des Sattelzugspanns einmal von hinten und einmal aus der Top-Perspektive, bei dem die hintere linke Ecke des Tiefbettaufliegers gegen die Seite der Straßenbahn prallen würde. Der Abbiegevorgang wurde mit einem seitlichen Abstand zum

linken Bordstein von etwa 50 cm begonnen. Anhand der Bilderserie ist gut zu erkennen, wie das Heck des Aufliegers um rund einen Meter seitlich ausschwenkt und so in den Bereich der Straßenbahn gerät. Der untere rechte Pylon, der den an der Örtlichkeit vorhandenen Findling darstellt, wird im Rahmen des Abbiegevorganges nicht touchiert.

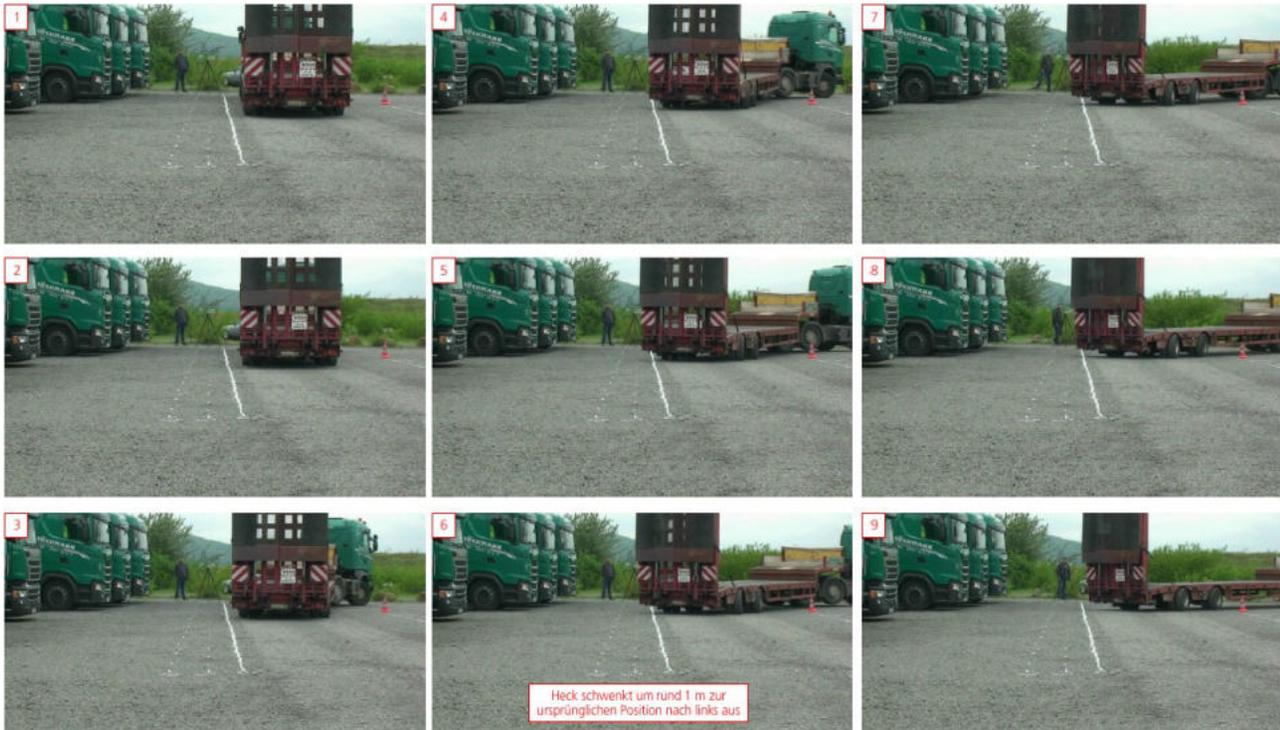


Abb. 3: Heckansicht vom Abbiegevorgang eines Sattelzugspanns, es kommt zur Überschreitung der Linie und damit zur Kollision



Abb. 4: Topansicht vom Abbiegevorgang eines Sattelzugspanns, es kommt zur Überschreitung der Linie und damit zur Kollision

Im Anschluss daran wurde ein weiterer Abbiegevorgang aus einer Startposition etwa einen Meter weiter rechts in der Fahrbahn gefahren. Der entsprechende Fahrvorgang ist in den **Abb. 5** und **6** zu sehen. Aus der Heck-Perspektive ist gut zu

erkennen, dass die hintere linke Ecke des Aufliegers komplett im Straßenbereich bleibt, und nicht in den Bereich der Straßenbahn hineinschwenkt. Auch der untere Pylon auf der rechten Fahrbahnseite wird vom Auflieger nicht berührt.

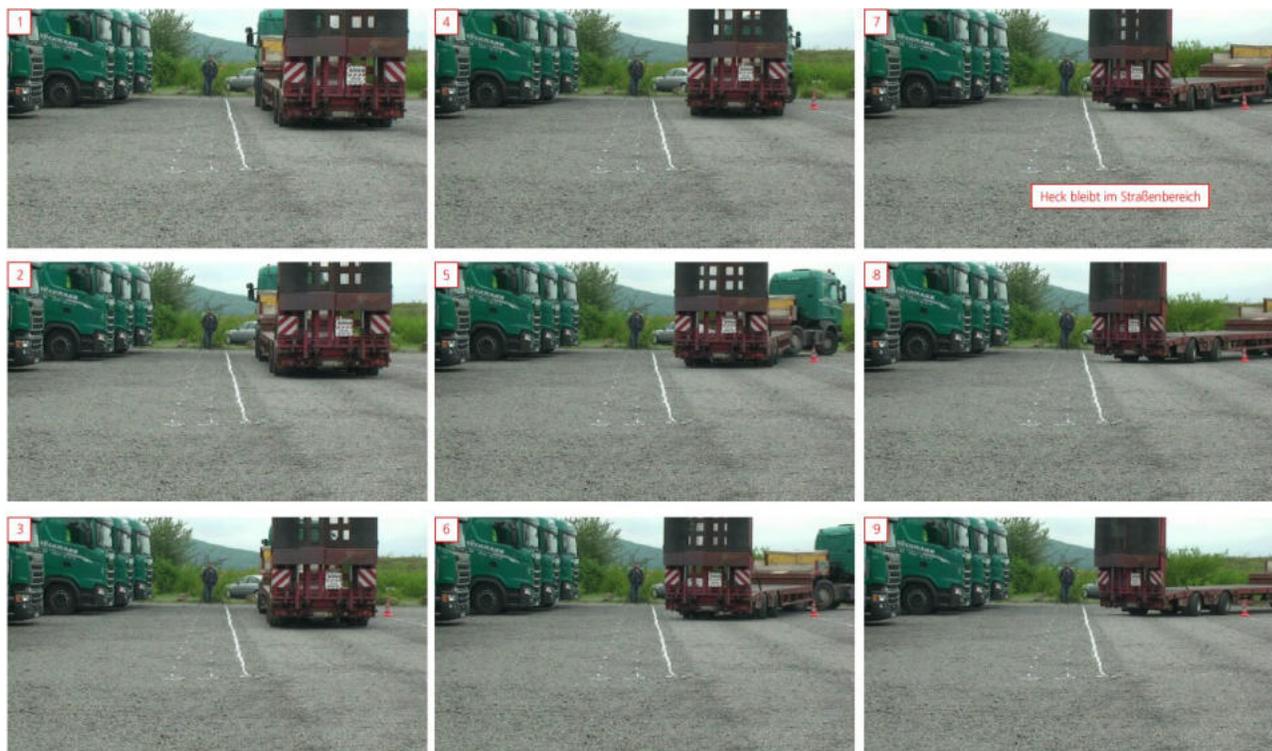


Abb. 5: Heckansicht vom Abbiegevorgang eines Sattelzugspanns, Auflieger bleibt im Fahrbahnbereich

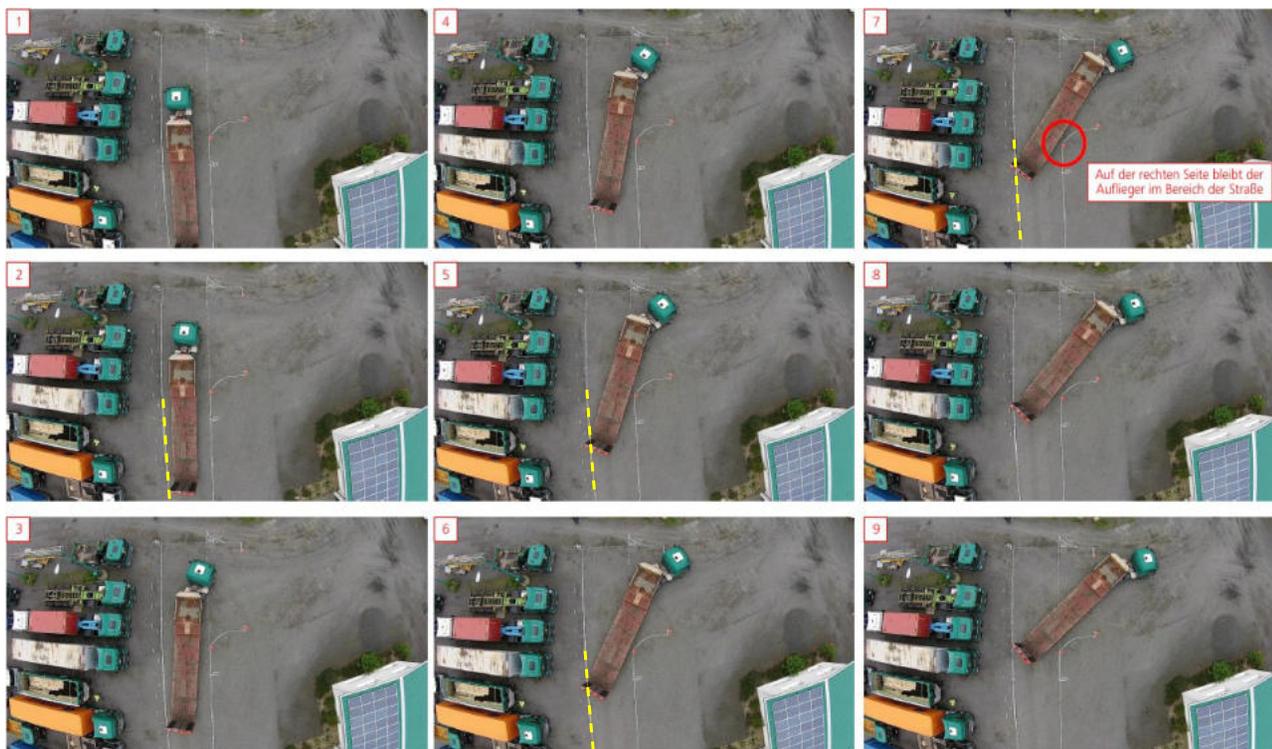


Abb. 6: Topansicht vom Abbiegevorgang eines Sattelzugspanns, Auflieger bleibt im Fahrbahnbereich



Abb. 7: Vergleich der unterschiedlichen Abbiegepositionen

Der Unterschied in der Wahl der Abbiegeposition wird nochmals anhand der **Abb. 7** deutlich. Durch eine etwas weiter rechts gelegene Abbiegeposition kann der Sattelzugfahrer das Ausschwenken der hinteren linken Ecke des Aufliegers in den

Bereich der Straßenbahn vermeiden. Durch den deutlich geringeren Nachlauf kann das Gespann in der Örtlichkeit abbiegen, ohne dass die rechte Seite des Aufliegers über die rechte Fahrbahnbegrenzung hinaus gerät.

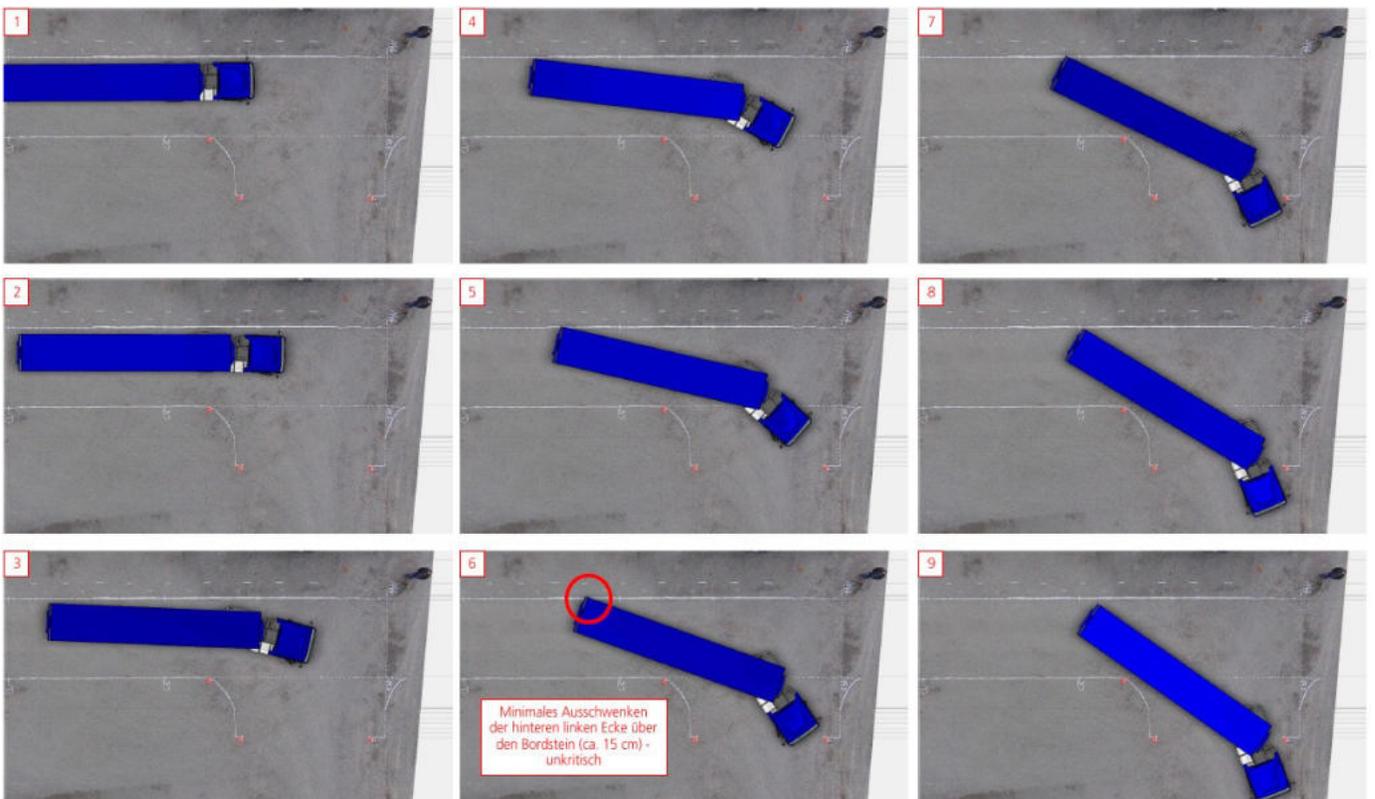


Abb. 8: Simulierter Abbiegevorgang eines Sattelzuggespanns mit Standard-Sattelaufliieger

Zum Vergleich verdeutlicht die **Abb. 8** einen simulierten Abbiegevorgang eines Standard-Sattelzugspanns mit einem Dreiachs-Sattelanhänger mit un gelenkten Achsen in der Unfallörtlichkeit. Als Abbiegeposition wurde die Position gewählt, die beim untersuchten Gespann zum Unfall geführt hat. Wie zu erkennen ist, würde die hintere linke Ecke des un gelenkten Sattelauflegers leicht über den Bordstein, aber nicht in den Bereich der Straßenbahn hineinschwenken. Dies zeigt weiter, dass die vom Fahrer des Gespanns in der Unfallsituation gewählte Abbiegeposition nicht unüblich ist, jedoch aufgrund des Auflegers mit mitlenkenden Achsen zu einer gefährlichen Situation führt, während dieselbe Situation mit einem Standard-Sattelaufleger als eher unkritisch zu bewerten ist.

### Fazit

Das seitliche Ausschwenken des Hecks von Sattelauflegern mit mitlenkenden Achsen im Rahmen von 90°-Abbiegevorgängen ist, je nach Situation und Geometrie des Auflegers, etwa doppelt so groß, wie das von Standard-Sattelauflegern mit nicht gelenkten Achsen. Dieses Fahrverhalten wird dabei auch von den Kraftfahrern selbst nicht immer richtig bzw. nur unzureichend eingeschätzt. Gerade im innerstädtischen Bereichen, wo die räumlichen Gegebenheiten unter Umständen sehr beengt sind, führt dies immer wieder zu Unfällen, da das ausschwenkende Heck eines solchen Auflegers in die Bereiche anderer Verkehrsteilnehmer hineingerät. Diesen verbleibt in solchen Situationen oftmals nicht genug Zeit, um hierauf wirkungsvoll zu reagieren und einen Unfall zu vermeiden.

---

### Dr. rer. nat. Jens Bastek

ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für *Straßenverkehrsunfälle* und seit 2014 im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke tätig.



## Schimmelpfennig + Becke

bietet seit über 40 Jahren 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 größtes freies Sachverständigenbüro für Unfallrekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland, zusätzlich die Themengebiete Biomechanik, Unfälle mit mechanisch-technischem Gerät und Ordnungswidrigkeiten ab.

In unserem Hauptbüro in Münster sowie in der Zweigstelle in Düsseldorf bearbeiten wir Gutachtaufträge aus der gesamten Bundesrepublik Deutschland sowie aus Österreich, der Schweiz und den Niederlanden.

Auftraggeber sind in erster Linie Gerichte, die zur Lösung eines Rechtsstreits ein Gutachten benötigen aber auch Staatsanwaltschaften, Rechtsanwälte, Privatpersonen und Versicherungen.

Wissenschaftliche Studien aus unserem Hause sowie Crashtests, die in Kooperation mit der [crashtest-service.com](http://crashtest-service.com) GmbH durchgeführt werden, bilden die solide Grundlage und erhöhen das Verständnis der jeweiligen Schlussfolgerungen. Die Ergebnisse der durchgeführten Studien und Versuche werden zudem in Form von Veröffentlichungen und regelmäßig stattfindenden, praxisbezogenen Seminaren einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht.

Unsere Niederlassung in Düsseldorf erweitert bereits seit 2003 unsere Erreichbarkeit für das dortige OLG und die LG des Rheinlandes. In Düsseldorf stehen Ihnen unter anderem unsere Sachverständigen Herr Dipl.-Phys. Severin Schlottbom, Herr Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter und Herr Dr. rer. nat. Tim Hoger als Ansprechpartner zur Verfügung.

Der Hauptstandort in Münster bündelt weiterhin Kompetenzen und Expertisen von derzeit 28 Ingenieuren, Physikern und Technikern.

#### Unsere Sachverständigen

Prof. Dipl.-Ing. K.-H. Schimmelpfennig <sup>1,2,3</sup>  
Dr. Dipl.-Ing. Manfred Becke <sup>1,2</sup>  
Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter <sup>2,5</sup>

#### Kooperationspartner:

Dipl.-Ing. Uwe Golder <sup>2,4</sup>  
Dr.-Ing. Bernd Fago <sup>2,3</sup>  
Dr. rer. nat. Tim Hoger <sup>2,3</sup>

#### angestellte Sachverständige:

Dipl.-Ing. Joost Wolbers <sup>2</sup>  
Dipl.-Ing. Robert Dietrich <sup>2</sup>  
Dipl.-Phys. Severin Schlottbom <sup>2</sup>  
Dipl.-Phys. Annika Kortmann <sup>2</sup>  
Dr. rer. nat. Jens Bastek <sup>2</sup>  
Dr. rer. nat. Thomas Dembsky  
Dipl.-Ing. Thilo Romberg  
M.Sc. Monika Escher  
Dr. rer. nat. Steffen Rieger  
B.Eng. Luca Lilienbecker  
B.E.E. Jeroen Tjalsma

#### öffentlich bestellt und vereidigt für:

<sup>1</sup> Kfz-Technik

<sup>2</sup> Straßenverkehrsunfälle

<sup>3</sup> Unfälle mit mechanisch-technischem Gerät

<sup>4</sup> Verkehrsüberwachungssysteme

<sup>5</sup> Kraftfahrzeugelektrik und -elektronik

#### 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



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