

# ureko

## SPIEGEL



ANALYSEN FÄLLE TESTERGEBNISSE ENTWICKLUNGEN FAKTEN  
AUSGEWÄHLTE FACHARTIKEL ZUR UNFALLREKONSTRUKTION FÜR JURISTEN

18 2016

### Insassenbewegungsrichtung bei einer schiefen Heckkollision



Dr. Dipl.-Ing.  
Manfred Becke



Dipl.-Ing.  
Joost Wolbers

Soll die Insassenbelastung in einem von hinten angestoßenen Fahrzeug beschrieben werden, muss die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs in der Sitzposition ermittelt werden. Wirkt der Stoß exakt von hinten, liegt nur eine eindimensionale kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung vor. Schwieriger wird es, wenn es sich um einen schiefwinkligen Heckenstoß handelt.

In den nachfolgend gezeigten Beispielen prallt ein Fahrzeug unter einem Winkel von  $25^\circ$  im Versuch 1 und von  $45^\circ$  im Versuch 2 auf ein stehendes Fahrzeug auf.

Neben der Ermittlung der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung geht es auch um die Frage, in welche Richtung die resultierende kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung wirkt.

Wirkt der Stoß exakt von hinten ein, so wird auch davon ausgegangen, dass die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung exakt von hinten nach vorn resultiert.

### INHALT

#### Insassenbewegungsrichtung bei einer schiefen Heckkollision

Dr. Dipl.-Ing. Manfred Becke / Dipl.-Ing. Joost Wolbers

#### Vorfahrt bei „rechts vor links“ und trotzdem zu schnell?

Dipl.-Phys. Annika Kortmann / Dipl.-Ing. Robert Dietrich

#### Fehler bei der Verwendung von Beschleunigungswerten

Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter



Abb. 1a (Quelle: Rösrather Crashtage)

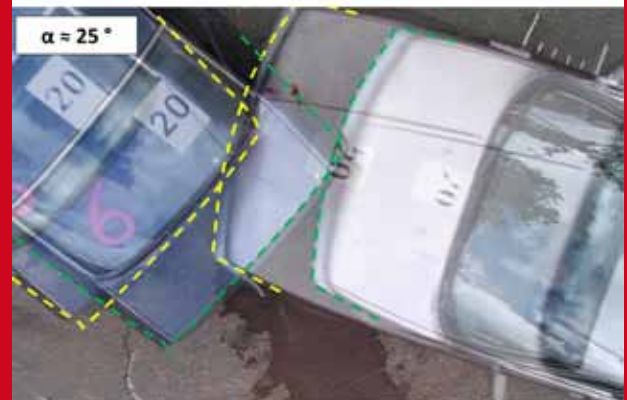


Abb. 1b (Quelle: Rösrather Crashtage)

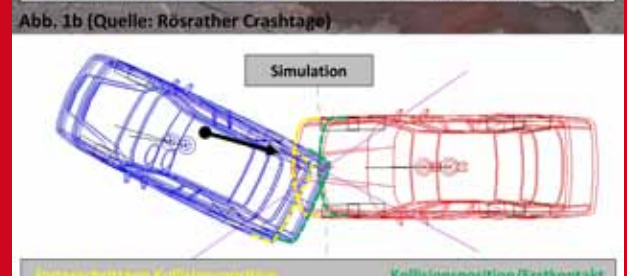
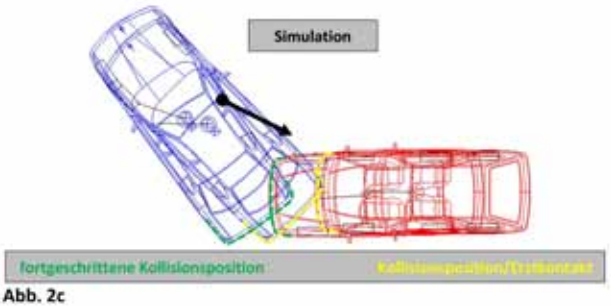


Abb. 1c

Geht man daher davon aus, dass die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in der Position eines Fahrers oder Beifahrers gerade die Richtung einnimmt, in der das gestoßene Fahrzeug auffährt, so begeht man einen großen Fehler bei einer schiefen Heckkollision. Dieses soll im Folgenden gezeigt werden. Im Versuch 1 prallt ein Pkw mit etwa 18 km/h unter einem Winkel von  $25^\circ$  auf einen stehenden Pkw auf. Man würde nun meinen, dass die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in der Position des Beifahrers ebenfalls Anteile aufweist, die zusammengeführt auf einen Winkel von etwa  $25^\circ$  führen.

Ebenso würde man im Versuch 2 davon ausgehen, dass die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung entsprechend der Einlaufrichtung des stoßenden Fahrzeuges ebenfalls unter etwa 45° wirkt. Dies trifft jedoch nicht zu. Werden die UDS-Geräte, die im Versuch in der Position



des Beifahrersitzes montiert waren, ausgewertet, so ergibt sich für den Versuch 1 eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in Querrichtung ( $\Delta v_{\text{quer}}$ ) von 2 km/h und eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in Längsrichtung ( $\Delta v_{\text{längs}}$ ) von 10 km/h. Werden diese Anteile vektoriell zusammengefügt, ergibt sich ein Winkel von etwa 11°, unter dem die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung einwirkt, vgl. Tabelle 1.

Im Versuch 2, bei dem der Kollisionswinkel 45° beträgt, ist der Unterschied noch deutlicher. Die Auswertung des UDS führt auf ein  $\Delta v_{\text{quer}}$  von 2,4 km/h und ein  $\Delta v_{\text{längs}}$  von 9,1 km/h, so dass sich eine Richtung der vektoriell zusammengesetzten resultierenden Geschwindigkeitsänderung von ca. 20° zur Fahrzeuglängsachse ergibt, obgleich das Fahrzeug von hinten unter 45° auffuhr.

Betrachtet man die  $\Delta v_{\text{quer}}$  - und die  $\Delta v_{\text{längs}}$  -Werte bei beiden Versuchen, so sind diese sehr ähn-

lich, obgleich stark unterschiedliche Winkel vorliegen, dieses liegt an dem unterschiedlichen Verhältnis der Fahrzeugmassen.

Dass es sich hier nicht um Messfehler handelt, zeigt auch die Simulation der beiden Versuche mit Hilfe des steifigkeitsbasierten Stoß-Modells im Simulationsprogramm PC-Crash.

|                                 | Versuch 1 | Versuch 2 |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Kollisionsgeschwindigkeit       | 18 km/h   | 25 km/h   |
| Kollisionswinkel                | 25°       | 45°       |
| $\Delta v_{\text{quer}}$ (UDS)  | 1,9 km/h  | 2,0 km/h  |
| $\Delta v_{\text{längs}}$ (UDS) | 10 km/h   | 6,4 km/h  |
| Winkel ( $\Delta v$ )           | 11°       | 20°       |

Bei diesem Modell werden energieaufnehmende Ellipsoide als Fahrzeuge eingesetzt. Die Kollisionsdauer ist nicht unendlich kurz, sondern beträgt etwa eine zehntel Sekunde, so dass hier auch Reifenführungskräfte wirken können.

Es stellt sich die Frage, worauf dieser Effekt beruht, der oben beschrieben wurde. Er ist den Reifenführungskräften zuzuschreiben. Man erkennt, dass das gestoßene Fahrzeug sich nicht entsprechend dem eingeleiteten Stoß durch das auffahrende Fahrzeug bewegt, sondern dass sich lediglich kurzzeitig die Hinterachse unter einem Schräglaufwinkel bewegt, während die Vorderachse mehr oder weniger geradeaus rollt. Dieses führt zu einem abweichenden Winkel der Geschwindigkeitsänderung in der Beifahrerposition gegenüber dem Einfahrwinkel des von hinten kollidierenden Fahrzeugs. Wird die Kollisionsgeschwindigkeit noch verringert, so kann man beobachten, dass sich das gestoßene Fahrzeug aufgrund der Reifenführungskräfte mit der Hinterachse noch weniger unter einem Schräglaufwinkel bewegt, sondern dass dann das Fahrzeug trotz des schrägen Anstoßes größtenteils nur geradeaus rollt. Man kann davon ausgehen, dass auf trockener griffiger Straße bei geringen Kollisionsgeschwindigkeiten des auffahrenden Fahrzeuges die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung nahezu nur in Längsrichtung des Fahrzeuges wirkt. Würde man derartige Versuche auf Glatteis durchführen, dann würde sich das Verhalten stark verändern, wodurch sich auch die Insassenbewegung ändern würde.

**Merke:** Bei einer schiefen Heckkollision im geringen Geschwindigkeitsbereich um 20 km/h oder weniger verläuft die Insassenbewegungsrichtung unter einem deutlich geringerem Winkel gegenüber der Fahrzeuglängsachse als es aufgrund des Einlaufwinkels des auffahrenden Fahrzeuges zu erwarten ist.

Vorfahrt bei „rechts vor links“ und trotzdem zu schnell?



Dipl.-Phys.  
Annika Kortmann



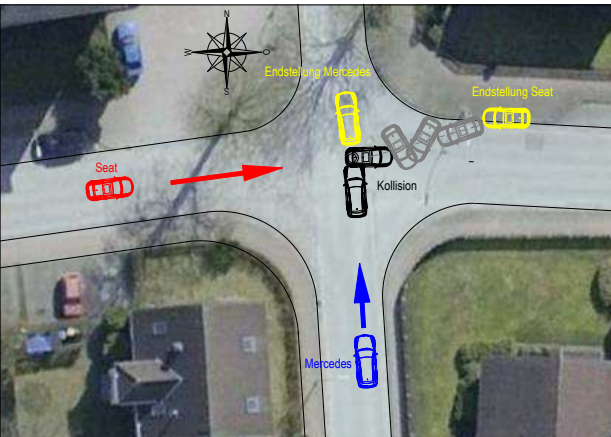
Dipl.-Ing.  
Robert Dietrich

Ohne spezielle Verkehrszeichen gilt im Allgemeinen an Straßenkreuzungen die Vorfahrtsregel „rechts vor links“. Nicht jedem ist dabei klar, dass man zum Rechts-vor-links Achten nicht immer mit der höchstzulässigen Geschwindigkeit in den Kreuzungsbereich hinein fahren darf.

Bisher war es erforderlich, durch ein zeichnerisches Verfahren die maximal mögliche Annäherungsgeschwindigkeit iterativ im Weg-Zeit-Diagramm zu ermitteln, was mit einem großen zeitlichen Aufwand verbunden war. Anhand eines konkreten Fallbeispiels wird gezeigt, wie sich das sonst zeichnerische Verfahren mathematisch lösen lässt und wie sich Sichtbehinderungen auf die korrekte Annäherungsgeschwindigkeit an eine Kreuzung auswirken können.

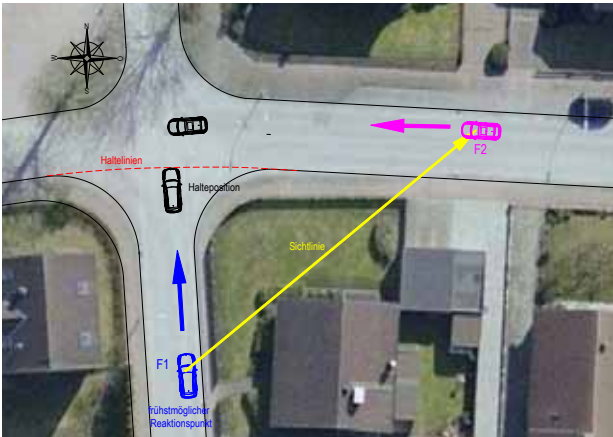
Wer kennt sie nicht, die Vorfahrtsregel „rechts vor links“? Gemäß § 8 StVO hat jeder an Kreuzungen und Einmündungen Vorfahrt, der von rechts kommt. Das Vorfahrtsrecht kann durch gesonderte Zeichen aufgehoben werden oder wenn es sich bei der von rechts einmündenden Straße um einen Feld- bzw. Waldweg oder einen verkehrsberuhigten Bereich mit abgesenkten Bordstein handelt.

In einer konkreten Unfallsituation nahm eine Pkw-Fahrerin mit ihrem Seat dem aus ihrer Sicht von rechts herannahenden Mercedes die Vorfahrt, so dass es in der Kreuzungsmitte zur Kollision der beiden Fahrzeuge kam.



Die zulässige Höchstgeschwindigkeit betrug 30 km/h. Durch ein Unfallrekonstruktionsgutachten sollte nun unter anderem die Frage geklärt werden, ob der vorfahrtsberechtigten Mercedes selbst hätte Vorfahrt achten können.

Diese Fragestellung ergibt sich nicht nur, wenn das vorfahrtsberechtigten Fahrzeug die zulässige Höchstgeschwindigkeit an Ort und Stelle überschreitet. Durch Sichtbehinderungen im Kreuzungsbereich kann es dazu kommen, dass selbst bei Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine Kollision mit einem von rechts kommenden Fahrzeug nicht mehr vermieden werden kann.



Um die Problemstellung mathematisch zu lösen, werden zunächst ein paar grundlegende Annahmen getroffen:

Die Vorfahrt gilt als gewährt, wenn es dem von links kommenden Fahrzeug (F1) beim Erkennen eines von rechts kommenden Fahrzeugs (F2) möglich ist, mit einer Angleichsbremsung von nicht mehr als 4 m/s² an einer gedachten Haltelinie zum Stillstand zu kommen.

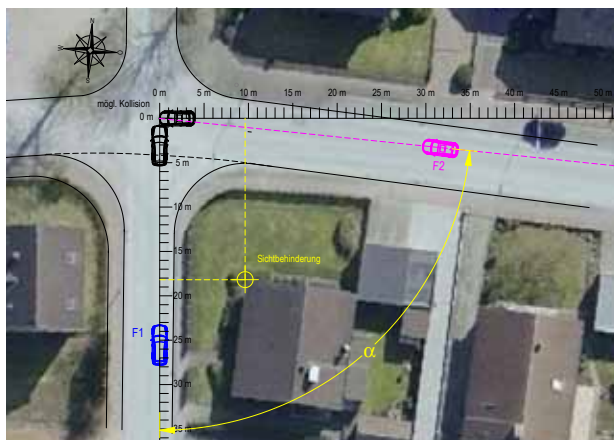
Die Haltelinie ergibt sich aus der gedachten Verlängerung des Straßenverlaufs der von rechts einmündenden Straße, so dass das von links kommende Fahrzeug nach der Bremsung mit der Front nicht in die Kreuzung hineinragt.

Soll nun für den konkreten Fall die Höhe der maximal möglichen Annäherungsgeschwindigkeit  $v_{\max}$  des vorfahrtsberechtigten Fahrzeugs geprüft werden, so dass es selbst „rechts vor links“ achten kann, dann wird die konstante Annäherungsgeschwindigkeit eines fiktiven, von rechts kommenden Fahrzeugs mit der maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeit vor Ort gleichgesetzt.

$$v_{F2} = v_z$$

Der frühestmögliche Reaktionszeitpunkt auf das von rechts kommende Fahrzeug wird durch die Möglichkeit des ersten Augenkontaktes zwischen beiden Fahrzeugführern festgelegt. Somit ist gewährleistet, dass der Fahrzeugführer das von rechts kommende Fahrzeug als solches erkannt hat und die Reaktion zum Vorfahrt Achten erfolgen kann.

Über das Luftbild der Unfallörtlichkeit wird ein Koordinatensystem gelegt, dessen Ursprung sich im Frontmittelpunkt des von rechts kommenden Fahrzeugs zum gedachten Kollisionszeitpunkt befindet. Das Luftbild wird zur Vereinfachung dabei derart um den Stoßpunkt der Fahrzeuge gedreht, dass die Fahrlinie des von links kommenden Fahrzeugs (F1) mit der y-Achse des Koordinatensystems übereinstimmt.



Durch diese Einteilung lässt sich der äußerste Punkt der Sichtbehinderung in den kartesischen Koordinaten ( $x_H/y_H$ ) ausdrücken. Für dieses Vorgehen ist keine rechtwinkelige Kreuzung nötig. Der Winkel zwischen der y-Achse des Koordinatensystems und der Fahrlinie von F2 wird mit  $\alpha$  angegeben und kann aus dem Luftbild abgelesen werden.

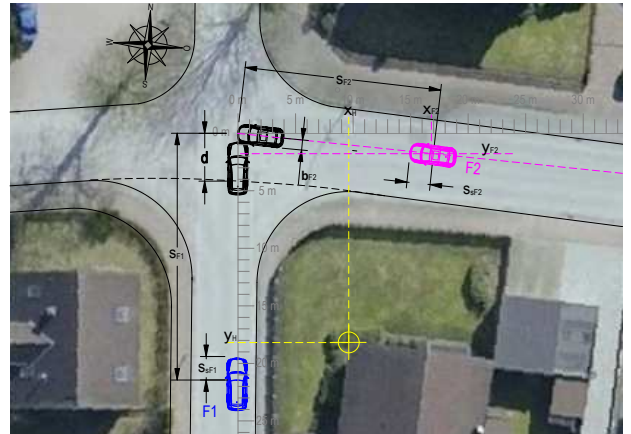
Der Abstand  $d$  der Haltelinie vom gedachten Kollisionspunkt lässt sich ebenfalls einfach aus dem Luftbild bestimmen.

Durch das Vorgehen, das Luftbild in Koordinaten zu unterteilen, lässt sich nun ein mathematischer Zusammenhang zwischen den beiden Fahrlinien der Fahrzeuge finden, wobei als gemeinsame Anknüpfungspunkte die gegenseitige Sicht in Bezug auf die Sichtbehinderung und die Annäherungsgeschwindigkeit von F1 gewählt wird.

Der Abstand von F1 zum Kollisionspunkt  $s_{F1}$  bei Erkennen des vorfahrtsberechtigten Fahrzeugs F2 setzt sich aus dem Reaktionsweg  $s_R$ , dem Bremsweg  $s_B$ , dem fahrzeugabhängigen Abstand zwischen Fahrzeugfront und Sitzposition  $ss_{F1}$ , der halben Fahrzeugbreite von F2  $b_{F2}$

und dem Abstand der Haltelinie  $d$  zum Kollisionspunkt zusammen.

Somit ist der Abstand von F1 zum gedachten Kollisionspunkt nur noch von der Annäherungsgeschwindigkeit  $v_{F1}$  abhängig (2).



Die Verzögerung der Angleichsbremmung  $a$ , die Reaktionszeit  $t_R$  sowie  $d$ ,  $b_{F2}$  und  $ss$  sind feste Größen, die entweder durch Grundannahmen wie z.B. üblicherweise 1 s für die Reaktionszeit festgelegt wurden oder sich aus dem Luftbild entnehmen lassen.

$$s_{F1} = v_{F1} \cdot t_R + \frac{v_{F1}^2}{2a} + d + s_{sF1} - b_{F2}$$

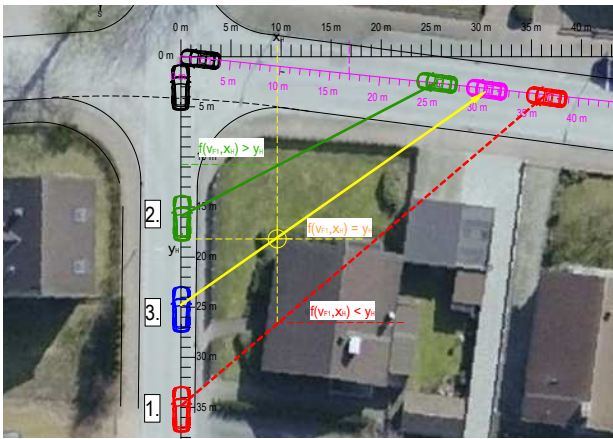
Der Abstand von F2 zum Kollisionspunkt  $s_{F2}$  ist demnach nur von der Annäherungsgeschwindigkeit des von links kommenden Fahrzeugs  $v_{F1}$  abhängig (3). Die Werte für die zulässigen Höchstgeschwindigkeit  $v_z$ , die Reaktionszeit  $t_R$  und den Abstand zwischen Fahrzeugfront und Sitzposition  $ss_{F2}$  wurden schon zuvor festgelegt oder sind konstruktionsbedingt.

Die Fahrlinie von F2 zum Kollisionspunkt lässt sich vereinfacht durch eine Gerade zwischen Koordinatenursprung und Fahrzeugposition ( $x_{F2}/y_{F2}$ ) darstellen.

Ob die gewählte Annäherungsgeschwindigkeit des von links kommenden Fahrzeugs der Örtlichkeit entsprechend ist, kann nun anhand einer Fallunterscheidung beantwortet werden.

$$s_{F2} = v_z \cdot \left( t_r + \frac{v_{F1}}{a} \right) + s_{sF2}$$

Im ersten Fall verläuft die Sichtlinie durch das Hindernis (rote Sichtlinie). Zum Reaktionszeitpunkt kann der Fahrzeugführer des von links kommenden Fahrzeugs das von rechts kom-



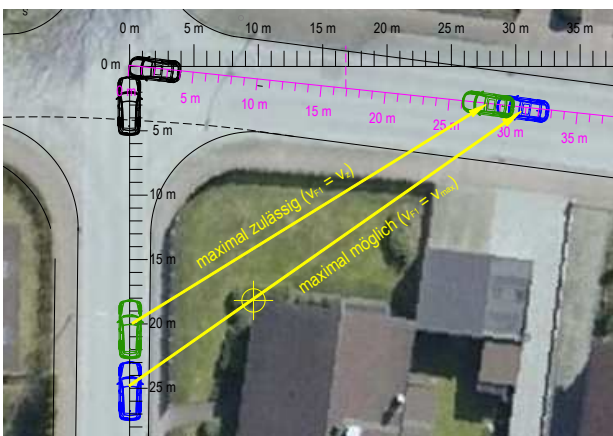
mende Fahrzeug nicht sehen. Die Annäherungsgeschwindigkeit an die Kreuzung ist zu hoch um Vorfahrt achten zu können.

Im zweiten Fall liegt gegenseitige Sicht vor, d.h. die Sichtlinie verläuft oberhalb der Sichtbehinderung (grüne Sichtlinie). Das von rechts kommende Fahrzeug kann frühzeitig erkannt werden. Die Annäherungsgeschwindigkeit liegt unterhalb der maximalen Annäherungsgeschwindigkeit  $v_{\max}$ .

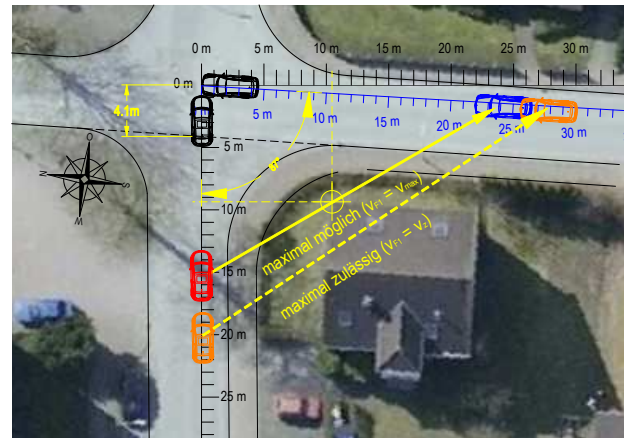
Wenn die Sichtlinie genau auf Höhe des äußersten Punktes der Sichtbehinderung (gelbe Sichtlinie) verläuft, entspricht die Annäherungsgeschwindigkeit der maximal möglichen Annäherungsgeschwindigkeit um „rechts vor links“ achten zu können.

Entwickelt man einen Algorithmus, der die Annäherungsgeschwindigkeit  $v_{F1}$  variiert, so dass  $f(v_{F1}, x_H) = y_H$  entspricht, so ergibt sich für den vorfahrtsberechtigten Mercedes aus dem eingangs beschriebenen Fall eine maximale Annäherungsgeschwindigkeit von 35 km/h, um selbst Vorfahrt achten zu können (blaue Fahrzeugpositionen).

Da die maximale Annäherungsgeschwindigkeit die zulässige Höchstgeschwindigkeit an Ort und Stelle überschreitet, ist es für den Mercedes möglich, sich mit der maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeit dem Kreuzungsbereich zu nähern und Vorfahrt gewähren zu können (grüne Fahrzeugpositionen).



In nachfolgender Abbildung wurde das Bild zur Vorfahrtsbetrachtung für den Seat um 90° entgegen des Uhrzeigersinns gedreht. Für den von links kommenden Seat ist das Achten von „rechts vor links“ bei Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nicht möglich (orangefarbene Fahrzeugpositionen).



Wendet man das zuvor beschriebene Verfahren zur Bestimmung der maximal möglichen Annäherungsgeschwindigkeit an, so ergibt sich aufgrund der weit vorgezogenen Sichtbehinderung (gelbes Kreuz in Abb.) eine maximal mögliche Geschwindigkeit von 23,7 km/h, so dass der Seat dem von rechts kommenden Mercedes noch Vorfahrt gewähren kann (rot/blaue Fahrzeugpositionen).

Durch den für dieses Verfahren entwickelten Algorithmus, lässt sich die maximal mögliche Annäherungsgeschwindigkeit für beide Fahrzeuge direkt ablesen, ohne immer wieder von neuem eine zeitaufwändige zeichnerische iterative Lösung zu erarbeiten.

Für die konkrete Ermittlung einer maximalen Annäherungsgeschwindigkeit, um „rechts vor links“ achten zu können, wurden Parameter wie z.B. die Reaktionszeit, die Verzögerung oder die konstante Annäherungsgeschwindigkeit des von rechts kommenden Fahrzeugs durch die gemachten Grundannahmen mit bestimmten Werten belegt.

Der mathematische Zusammenhang zwischen den beiden Fahrzeugen lässt sich durch die Wahl der Parameter jederzeit an die gegebene Situation anpassen. So kann u.a. eine Sichtbetrachtung bei Dunkelheit mit verlängerter Reaktionszeit, eine nicht punktförmige Geometrie der Sichtbehinderung oder der Einfluss von Witterung berücksichtigt werden. Auch die Geschwindigkeit des von rechts kommenden Fahrzeugs lässt sich beliebig wählen.

In dem einleitend dargelegten Fall liegt eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h vor. Unter Anwendung des beschriebenen

Verfahrens ergibt sich für den Mercedes eine maximale Annäherungsgeschwindigkeit von 35 km/h, um selbst Vorfahrt achten zu können. Der Seat hingegen kann bei möglicher Gewährung der Vorfahrt mit nur 23,7 km/h an die Kreuzung heranfahren.

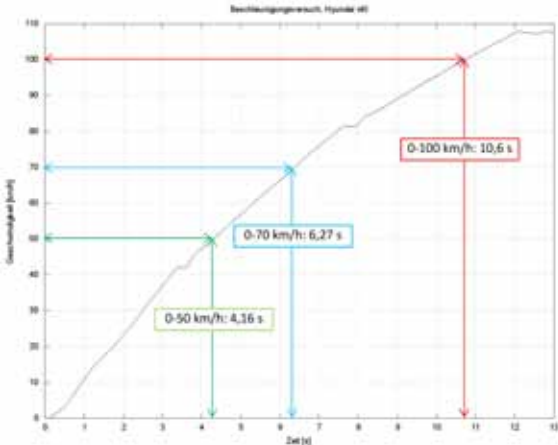
Es zeigt sich somit, dass zur Gewährung der Vorfahrt an einer Kreuzung nicht die gesetzlich an Ort und Stelle vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit, sondern immer eine den Sichtverhältnissen angepasste Annäherungsgeschwindigkeit erforderlich ist.

Fehler bei der Verwendung von Beschleunigungswerten



Dr. rer. nat.  
Ingo Holtkötter

In der Unfallrekonstruktion werden häufig Beschleunigungswerte von Fahrzeugen benötigt, um Einfahrtvorgänge, Überholvorgänge oder Beschleunigungsvorgänge im Allgemeinen zu rekonstruieren und in das Unfallgeschehen einzubetten. Bei der Verwendung von Beschleunigungsdaten aus Fachzeitschriften oder Herstellerangaben ist dabei große Vorsicht geboten, da diese oft nur die maximal möglichen Beschleunigungszeiten in den typischen Intervallen von von 0 auf 50 km/h, 0 bis 70 km/h oder 0 bis 100 km/h beinhalten. Bei der Auswertung dieser Daten und insbesondere bei der Anwendung auf einen Fahrvorgang kommt es jedoch häufig zu Fehlinterpretationen, da die verwendeten Formeln eine gleichförmige Beschleunigung voraussetzen.



Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 1 Messdaten eines Versuchs gezeigt, bei dem ein Fahrzeug aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit von über 100 km/h beschleunigt wurde. Dabei wurden mit Hilfe entsprechender Messtechnik die Geschwindigkeit und der zurückgelegte Weg gemessen und aufgezeichnet. In dem Diagramm ist die Fahrzeuggeschwindigkeit

in Abhängigkeit der verstrichenen Zeit in der schwarzen Kurve gezeigt, so dass sich aus dem Diagramm Beschleunigungszeiten von 0 auf 50 km/h von 4,16 s (grün markiert), von 0 auf 70 km/h 6,27 s (blau) sowie von 0 auf 100 km/h 10,6 s (rot) ablesen lassen. Solche Angaben werden auch üblicherweise in den technischen Daten der Fahrzeuge angegeben.

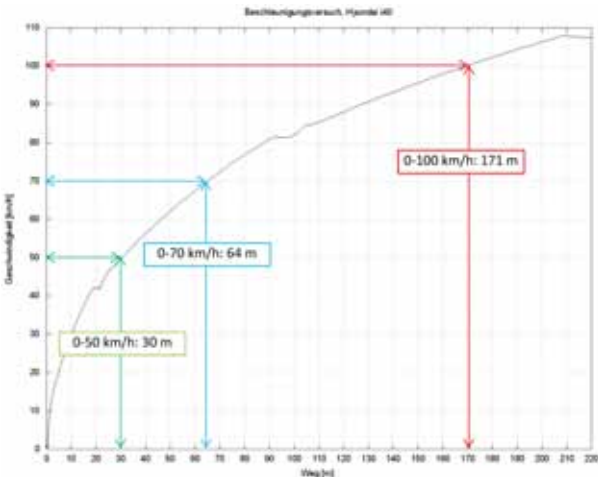
Soll anhand dieser Daten bspw. die benötigte Wegstrecke berechnet werden, die das Fahrzeug für die Beschleunigung von 0 auf 100 km/h benötigt, so erhält man aus dem Diagramm bei einem Zeitbedarf von 10,6 s für die Beschleunigung auf 100 km/h (27,78 m/s) zunächst eine mittlere Beschleunigung von 2,62 m/s².

Mit Hilfe der Formel

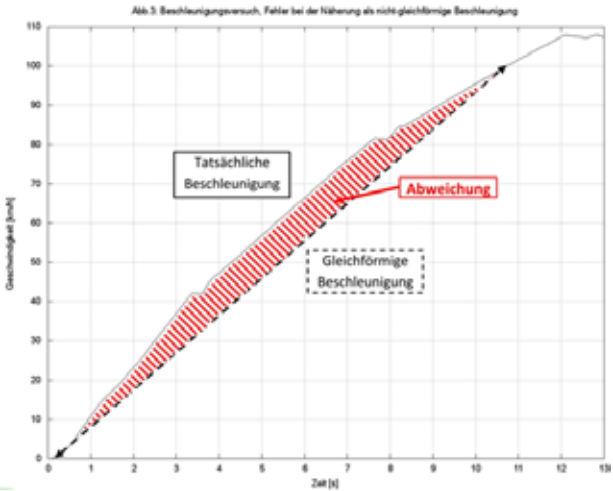
$s = \frac{1}{2} at^2$

mit der Wegstrecke s, der mittleren Beschleunigung a und der Zeit t lässt sich eine benötigte Wegstrecke von 147 m für die Beschleunigung von 0 bis 100 km/h berechnen.

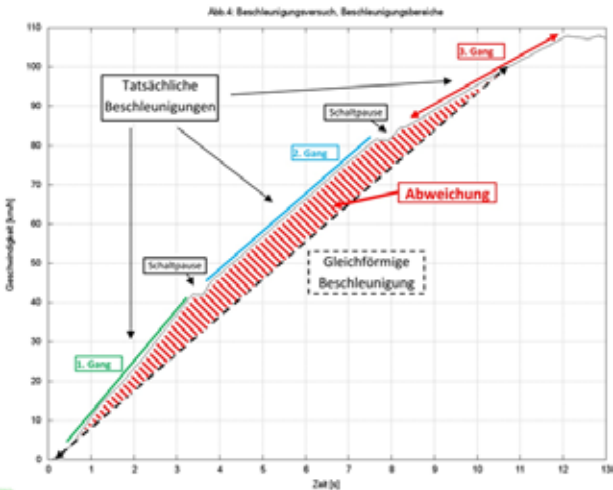
Die verwendete Messtechnik macht es für denselben Fahrvorgang möglich, über das GPS-Signal die Geschwindigkeit auch in Abhängigkeit der zurückgelegten Strecke darzustellen. Anhand Abbildung 2 sind aus dem Versuch gemessene Beschleunigungsstrecken von 30 m für den Geschwindigkeitsbereich von 0 auf 50 km/h, 64 m von 0 auf 70 km/h sowie 171 m von 0 auf 100 km/h abzulesen (grün, blau und rot markiert).



Die mit 171 m gemessene und tatsächlich zurückgelegte Wegstrecke ergibt eine erhebliche Abweichung zur zuvor berechneten Strecke von rd. 147 m. Der Fehler ergibt sich daraus, dass die oben verwendete Formel nur für die gleichförmige Beschleunigung gilt, d.h. bei einer Änderung der Beschleunigung während der Messung zu falschen Ergebnissen führt. Die Formel setzt also voraus, dass die Beschleunigungskurve über der Zeit einer Geraden entspricht. Die gemessene Kurve ist im Vergleich zu der gleichförmigen Beschleunigung (siehe Abbildung 3) aber deutlich gebogen und damit nicht gleichförmig. Die Fläche zeigt den Fehler zwischen den Kurven (rot markiert).

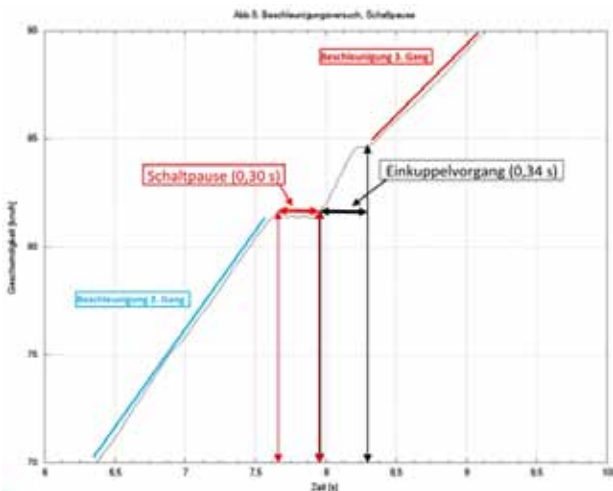


Die Ursache für derartige Fehler liegt in der Beschleunigung eines Pkw, die mit zunehmender Geschwindigkeit deutlich abnimmt. Somit ist die Beschleunigung bei weitem nicht konstant. Dies ist sowohl insbesondere durch die unterschiedlichen Übersetzungen in den Gängen als auch in den Schaltpausen begründet. In Abbildung 4 sind die verschiedenen Beschleunigungen in den einzelnen Gängen farblich markiert. Es ist deutlich zu erkennen, dass die



Beschleunigung in den höheren Gängen kleiner und damit der Kurvenverlauf flacher wird. Neben den flacher werdenden Steigungen fallen beim Wechsel in den jeweils höheren Gang die beiden Schaltpausen auf. Bei dem Versuch wurde ein Fahrzeug mit Schaltgetriebe verwendet und die Gangwechsel möglichst schnell ausgeführt. In Abbildung 5 ist die Schaltpause beim Wechsel vom 2. in den 3. Gang nochmals vergrößert dargestellt.

Es zeigt sich, dass zum Auskuppeln und dem Wechsel der Schaltstufe eine Zeit von 0,30 s notwendig war (rot markiert), während der Einkuppelvorgang geringfügig länger gedauert hat (0,34 s, schwarz markiert). Bezogen auf die Beschleunigungszeit ist der Auskuppel- und Wechselvorgang entscheidend, weil das Fahrzeug in dieser Zeit keine weitere Beschleunigung erfährt (d.h., die Geschwindigkeit konstant bleibt). Beim Einkuppeln wird der Motor stark abgebremst und dadurch das Fahrzeug kurzzeitig stark beschleunigt. Somit ist sogar kurz-



zeitig eine höhere Beschleunigung erkennbar, da bei hohen Drehzahlen zusätzliche Energie im Motor zur Verfügung steht. In dem gezeigten Beispiel werden folgende Beschleunigungen in engen Geschwindigkeitsbereichen festgestellt:

| Geschwindigkeit [km/h] | Zeit [s] | Beschleunigung [m/s²] |
|------------------------|----------|-----------------------|
| 0 – 20                 | 1,7      | 3,26                  |
| 20 – 40                | 1,6      | 3,47                  |
| 40 – 60                | 2,1      | 2,64                  |
| 60 – 80                | 2,2      | 2,52                  |
| 80 – 100               | 3,1      | 1,79                  |

Zur besseren Berechnung ist es daher unumgänglich, kleine Berechnungsschritte aneinander zu reihen, da dann die gebogene Kurvenform mathematisch genauer nachgebildet wird.

| Geschwindigkeit [km/h] | Gemessene Wegstrecke [m] | Berechnung der Wegstrecke über Zeitangaben [m] | Fehler [%] |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|------------|
| 0 – 100                | 171,1                    | 147,0                                          | 16,4       |
| 0 – 50                 | 30,0                     | 28,9                                           | 3,8        |
| 0 – 70                 | 64,0                     | 61,0                                           | 4,9        |
| 50 – 70                | 34,0                     | 35,2                                           | -3,4       |
| 70 – 100               | 107,0                    | 102,0                                          | 4,9        |
| 50 – 100               | 141,1                    | 134,0                                          | 5,2        |

Für das vorliegende Beispiel fasst die oben dargestellte Tabelle die Fehler der berechneten Messstrecke aus den Beschleunigungswerten im Vergleich zur tatsächlich benötigten Messstrecke zusammen.

Je nachdem, welcher Beschleunigungswert zur Berechnung herangezogen wird, kann im Allgemeinen je nach Kurvenform ein deutlicher Fehler im Bereich von bis zu 20 % entstehen. Dies ist bei der Verwendung derartiger Werte und insbesondere bei der Umrechnung auf andere Geschwindigkeitsbereiche zu beachten und in die Interpretation der Werte mit einzu- beziehen. Wenn der Beschleunigungswert bzw. die benötigte Strecke für eine Rekonstruktion kritisch sind, müssen entsprechende Fahrversuche herangezogen werden, die den relevanten Geschwindigkeitsbereich konkret erfassen.

Ein weiteres Problem ergibt sich dann, wenn vorhandene Werte auf andere Geschwindigkeitsbereiche übertragen werden sollen. Wenn beispielsweise nur die Beschleunigung von 0 - 100 km/h bekannt ist, für die Unfallanalyse jedoch die Beschleunigung von 0 – 70 km/h notwendig ist, so kann nicht einfach mit dem mittleren Beschleunigungswert von 0 – 100 km/h für die Zeit bis 70 km/h zurückgerechnet werden.

Im vorliegenden Beispiel wurde die Beschleunigung von 0 – 100 km/h in 10,6 s, entsprechend einer mittleren Beschleunigung von 2,62 m/s<sup>2</sup> erreicht. Interpoliert man diesen Wert auf die Beschleunigung bis 70 km/h, so ergibt sich eine notwendige Beschleunigungszeit von 7,4 s. Dies liegt weit von den 6,4 s entfernt, die das Fahrzeug tatsächlich für diesen Beschleunigungsbereich benötigt (vgl. wiederum Abb. 1).

Bei der Anwendung von Beschleunigungswerten auf einen konkreten Fall ist daher immer zu beachten, dass je nach verwendetem Formelwerk oder berücksichtigten Geschwindigkeitsbereich in den zugrunde liegenden Messungen ein großer Fehler entstehen kann, der bei der Interpretation solcher Daten berücksichtigt werden muss.

Falls das Rekonstruktionsergebnis entscheidend von der Länge einer Beschleunigungsstrecke abhängt, bleibt nur die Möglichkeit, diese in einem Fahrversuch konkret zu messen. Getreu nach dem Motto ‚Wer misst, misst Mist‘ muss dabei aber auch beachtet werden, die immer vorhandenen Messfehler einzuschätzen und deren Einfluss zu berücksichtigen. Mit immer neuen Geräten und - aus technischer Sicht noch viel ungenauer – mit entsprechenden Handy-Apps steigt die Gefahr, dass jedem „Messwert“ geglaubt wird, den irgendein Gerät oder eine App anzeigt. Es sollte darauf geachtet werden, dass nur entsprechend zuverlässiges und geprüftes Equipment zum Einsatz kommt, dessen Funktionsweise und Berechnungsweg genau bekannt sind.

Bezogen auf den obigen Fall ist der einfachste und eindrucksvollste Weg, die erreichte Geschwindigkeit eines Pkw an der Unfallstelle mit Hilfe einer kalibrierten Lichtschranke zu messen. Bei dieser direkten Art der Messung gibt es wenig Risiko, durch falsche Messdatenverarbeitung zusätzliche Fehler zu erzeugen.

Unabhängig von der Ausführung der Messung stellt jedoch die Berechnung einer Beschleunigungsstrecke auf Basis der mittleren Beschleunigung einen Fehler dar, der auch in Gutachten vieler Sachverständiger zu finden ist.

IMPRESSUM

Der Ureko-Spiegel ist eine  
Publikation des Ingenieurbüros  
Simmelpfennig + Becke  
Münsterstraße 101, 48155 Münster.



Für den Inhalt der einzelnen Artikel  
zeichnen die Autoren verantwortlich.

Verantwortliche Redakteure i.S.d.P.:  
Dipl.-Ing. Stephan Schal  
Dipl.-Ing. Lars Hoffmeister

www.ureko.de  
Email: kontakt@ureko.de  
T : 02506 / 820 - 0  
F : 02506 / 820 - 99

www.mtg-gutachter.de  
Email: kontakt@mtg-gutachter.de  
T : 02506 / 820 - 12  
F : 02506 / 820 - 99

Weitere Büros in:  
Hannover/Dresden  
[www.hanreko.de](http://www.hanreko.de)  
  
Lüdenscheid  
[www.suedwestreko.de](http://www.suedwestreko.de)  
  
Lübeck/Schwerin  
[www.nordreko.de](http://www.nordreko.de)  
  
Düsseldorf  
[www.westreko.de](http://www.westreko.de)