

Ralf Krause*, Detlev Saat**

Interpretation von Reifen-Kontakts Spuren im gleichläufigen Verkehr

1 Einleitung

Bei einigen Unfallkonstellationen lassen sich an Fahrzeug-Seitenflächen Abriebspuren von einem Reifen oder Kontakts Spuren einer Felge wiederfinden. Erstrecken sich die Spuren z.B. ausgehend von einem weichen Türblatt über eine struktursteiße B-Säule, so ist im Regelfall eine Aussage zur Anstreifrichtung möglich. Bei guter Dokumentation des Spurenbildes ergeben sich sogar Hinweise zum Geschwindigkeitsverhältnis bzw. zur Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge.

Nachfolgend werden einige, in der Praxis immer wiederkehrende Unfallsituationen analysiert und das zugehörige Spurenbild diskutiert. Insbesondere wird neben der Interpretation der Spuren auch ein Weg aufgezeigt, mit dem sich das Geschwindigkeitsverhältnis der Fahrzeuge zum Erstkontaktzeitpunkt berechnen lässt.

Bereits an dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass sich die nachfolgenden Überlegungen nicht auf den Fall projizieren lassen, bei dem die Geschwindigkeiten der beteiligten Fahrzeuge während des Kontaktes bereits im Rahmen einer fahrdynamischen Änderung durch den Fahrer oder ein Regelsystem (ABS, ESP u.s.w.) verändert bzw. reduziert wurden.

2 Theoretischer Hintergrund

Die folgenden Überlegungen basieren auf den Ausführungen in [1].

2.1 Definitionen und Vereinfachungen

In den anschließenden Ausführungen wird das Fahrzeug als **Bild-Fahrzeug** bezeichnet, an dessen Flanke sich die Spuren wiederfinden.

Der Reifen (und das zugehörige Fahrzeug), der die Abriebspuren erzeugt, wird nachfolgend als „**Zeichner**“ deklariert. Diese Definition wurde gewählt, um nicht ständig vom „streichenden“ oder „gestreiften“ Fahrzeug sprechen zu müssen (was sehr schnell zu Verwechselungen führen kann).

Die prinzipiell entstehenden Anstreifspuren eines drehenden Rades an einer ebenen, bewegten Fläche sind auf den **Bildern 1 und 2** abgebildet.

Die auf den Skizzen ausgewiesene Variable z beschreibt das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen dem Zeichner-Fahrzeug und dem Bild-Fahrzeug. Damit hängt die Krümmung von der Relativgeschwindigkeit zwischen den Fahrzeugen ab:

$$z = \frac{v_{\text{Zeichner}}}{v_{\text{Bild}}}$$

*Dipl.-Ing. Ralf Krause

**Detlef Saat

c/o Schimmelpfennig + Becke, Münsterstraße 101, 48155 Münster

Der Vollständigkeit halber ist noch darauf hinzuweisen, dass die Ausprägung auch vom Abstand zum Momentanpol abhängig ist. Die Spur einer Felge kann im Vergleich zum Gummiantrag des Reifens einen vollständig anderen Krümmungsverlauf aufweisen.

Die Spurausprägungen auf den Bildern 1 und 2 wurden von einem Punkt am Außendurchmesser eines sich frei drehenden Rades erzeugt [1].

Das Bild 1 zeigt die grundsätzliche Ausprägung, wenn sich das Bild-Fahrzeug schneller bewegt ($z < 1$).

Analog hierzu gibt das Bild 2 die entstehende Charakteristika wieder, wenn der Zeichner schneller ist ($z > 1$).

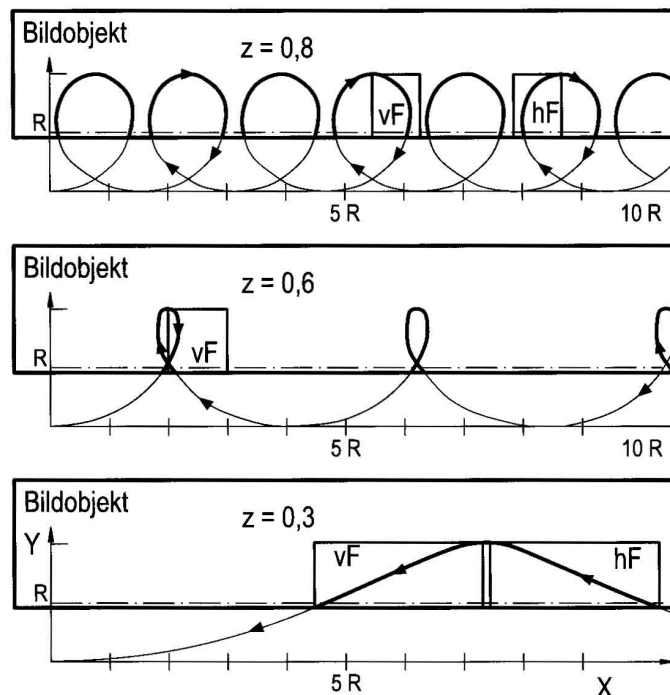


Bild 1 Das „Bild“ ist schneller ($z < 1$)

Die zuvor dargestellten Anstreifungen auf den Bildern 1 und 2 beziehen sich auf **einen Punkt** bzw. **ein Profilsegment** am Außendurchmesser eines Rades. Ein Beispiel, bei dem sich an einer Pkw-Flanke mehrere Stellen-Segmente (= Profil-Segmente) abzeichnen, gibt das **Bild 3** wieder.

Da es in der Praxis wohl kaum zu einem Kontakt zwischen einem Reifen und einer bewegten, ebenen Fläche kommt (sondern wohl eher zu einem Kontakt zwischen Reifen und Fahrzeugflanke), kann das Spurenbild eingegrenzt werden:

Wie das Bild 3 zeigt, liegt das Zentrum des Zeichner-Rades i.d.R. im Bereich des Schwellers des Bild-Fahrzeuges (bezogen auf den Kontakt zweier Pkw). Eine derartige Konstellation wurde auf das Bild 1 übertragen:

Die Unterkante des Bildobjektes liegt ungefähr in Höhe Zentrum des Zeichner-Rades. Es finden sich lediglich die Spuren über der Unterkante wieder (fett unterlegt). Da die Spuren nach unten durch die Unterkante des Bild-Fahrzeuges abgegrenzt werden, entfallen die Spuren zwischen Boden und Radmitte (zwischen 0 und R). Die untere Reifenhälfte kann keine Spuren erzeugen, da ihr die Reibungsfläche bzw. Unterlage für das Bild fehlt.

Zeichnet der Reifen auf einem weit heruntergezogenen Bildobjekt (z.B. einem Auflieger-Unterfahrschutz) liegt die Unterkante des Bildobjektes deutlich tiefer (s.a. Fensterunterkanten auf Bild 2).

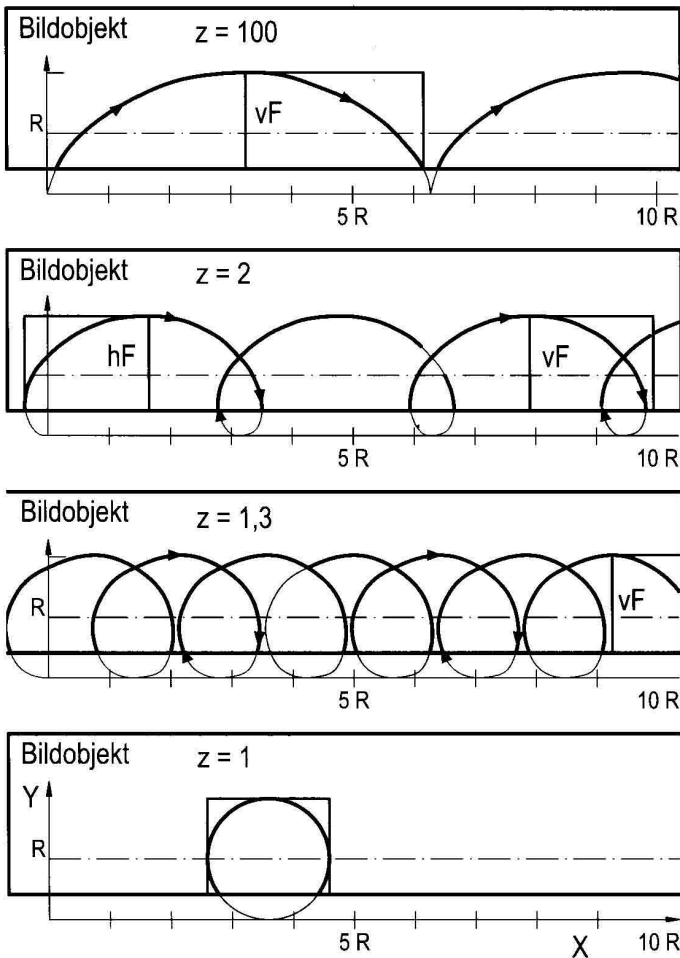


Bild 2 Das Zeichner-Fahrzeug ist schneller ($z > 1$) bzw. beide Fahrzeuge sind gleich schnell ($z = 1$)



Bild 3 Spurzeichnung mehrerer Profilsegmente

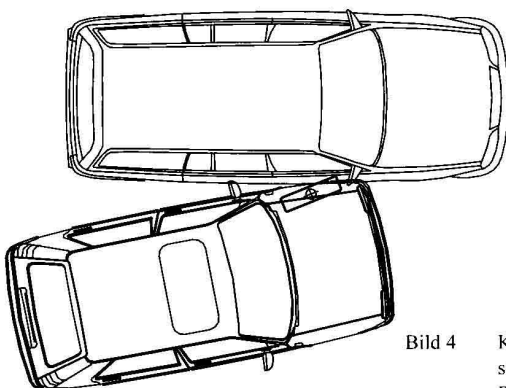


Bild 4 Kontakt einer ausgestellten vorderen Reifenflanke („vF“)

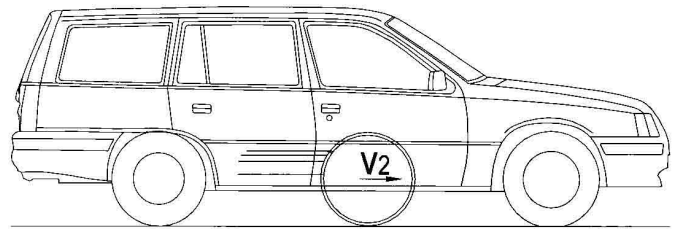


Bild 5 Anstreichungen eines blockierten Rades

Des Weiteren kann noch eine weitere Unterscheidung vorgenommen werden: Ist die **vordere Reifenflanke** ausgestellt (das spurzeichnende Fahrzeug wird auf das Bild-Fahrzeug zugelenkt/ **Bild 4**), kann nur der mit „vF“ auf den Bildern 1 und 2 in den entsprechend bezeichneten Fenstern markierte Spurenverlauf entstehen. Erzeugte die **hintere Flanke** des Reifens den Abrieb, so muss die mit „hF“ fixierte Spurausprägung vorliegen.

2.2 Grundsätzlich mögliche Konstellationen

Um eine bessere und schnellere Übersicht zu ermöglichen, werden die grundsätzlich möglichen Spurausprägungen aufgeführt: Die **Bilder 5** und **6** zeigen den Spurenverlauf für die einfachsten Konstellationen. Das Bild 5 dokumentiert, was passiert, wenn ein blockiertes Rad zeichnet. Wie zu erwarten, finden sich an der Fahrzeugflanke des Bild-Pkw horizontal verlaufende Antrags Spuren wieder. Diese sehr einfache Variante findet sich auch auf der Übersichtsdarstellung im Anhang unter dem Punkt S1 wieder.

Das Bild 6 gibt das Spurenbild wieder, wenn beide Fahrzeuge ungefähr gleich schnell sind ($z \approx 1$). Das Spurenbild stammt aus einem zweifachen Anprall eines Pkw-Reifens gegen eine Pkw-Flanke (Variante S2 im Anhang).

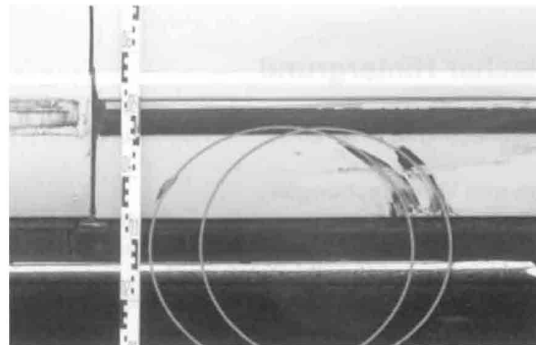


Bild 6 Zweimaliger Kontakt eines Pkw-Reifens ($z \approx 1$)

Grundsätzlich sind acht weitere, voneinander verschiedene Antragskonstellationen denkbar: Die nachfolgenden Varianten auf der Übersichtsdarstellung dokumentieren die Spurausprägung bei frei drehenden Rädern. Die Übersichtsdarstellung befindet sich am Ende dieses Artikels. Die Spuren A und B wurden jeweils durch eine vordere Reifenhälfte erzeugt, während die Konstellationen C und D mit dem Anprall einer hinteren Reifenhälfte korrespondieren.

Liegt eine signifikante Krümmung im Verlauf der Spur vor (**Bilder A1 bis D1** auf der Übersichtsdarstellung), lässt sich feststellen, welche Reifenhälfte ausgestellt und welches der beiden Fahrzeuge zum Kontaktzeitpunkt schneller war.

Es ist jedoch dezidiert darauf hinzuweisen, dass bei geringen Relativgeschwindigkeiten die Wahrscheinlichkeit einer Verwechslung der Konstellationen A1 und B1 relativ hoch ist. Wie das **Bild 7**

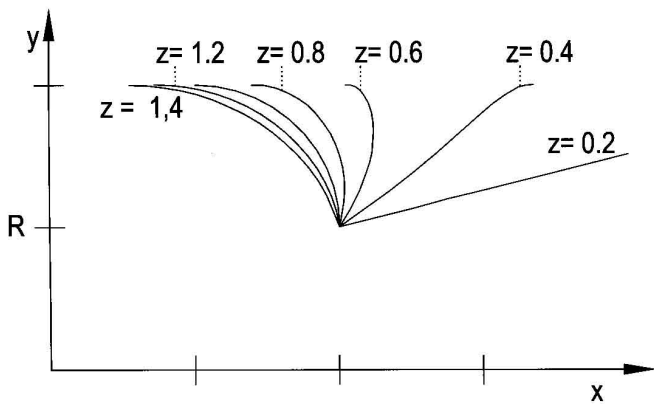


Bild 7 Veränderung der Krümmung mit abnehmendem z ($z = 0,2$ bis $1,4$)

zeigt, resultiert für den Bereich $1,4 > z > 0,8$ eine sehr ähnliche Ausprägung. Dem Bild 7 ist im Weiteren zu entnehmen (auch auf der Variante B1 auf der Übersichtsanlage andeutet), dass sich der Krümmungsverlauf zwischen $z = 0,4$ und $0,6$ vollständig ändert.

Eine weitere Unterscheidung muss zwischen gekrümmten Abriebspuren (Konstellationen A1 bis D1) und geradlinig verlaufendem Reifenabrieb (Konstellationen A2 bis D2 auf der Übersichtsdarstellung) vorgenommen werden.

Bereits bei der Betrachtung des Bildes 3 wird sich der ein oder andere Leser gefragt haben, um welche Konstellation es sich bei dieser Spur handelt. Denn: Der Abrieb verläuft annähernd geradlinig. Mit den zyklodischen Verläufen auf den Bildern 1 und 2 scheint das Bild 3 nicht viel gemeinsam zu haben.

Eine erste Erklärung liefert der Verlauf für $z = 0,3$ auf dem Bild 1. Die Spur weist auf der Y-Achse im Bereich um $0,5 R$ bis $1,5 R$ nahezu keinerlei Krümmung auf. Lediglich im Bereich der Wendepunkte liegt eine stärkere Krümmung vor.

Es lässt sich ableiten, dass bei großen Geschwindigkeitsunterschieden zwischen Zeichner- und Bild-Fahrzeug ($v_z \gg v_B$ oder $v_B \gg v_z$) fast immer ein nahezu ungekrümmter Verlauf der Spuren resultiert. Die nachfolgenden Beispiele auf den Bildern 19, 20, und 22 bestätigen diese Annahme ($z < 0,4$).

Da eine Festlegung der Krümmung für derlei Konstellationen nahezu unmöglich ist, müssen bei der Festlegung der Anstreifrichtung weitere Indizien herangezogen werden.

2.3 Berechnung des Geschwindigkeitsverhältnisses mit Hilfe des Spurtangentenwinkels

In der Praxis findet man häufig Spurenfragmente vor. Im Weiteren soll ein Weg aufgezeigt werden, wie anhand des Spurfragmentes eine Aussage zur Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge getroffen werden kann.

2.3.1 Definition Spurtangentenwinkel

Eine Aussage zum Geschwindigkeitsverhältnis z der Fahrzeuge kann mit Hilfe des Winkels zwischen der Horizontalen (bzw. hier dem Fahrzeugschweller) und einer Tangente (die an die Spur angelegt wird) gewonnen werden.

In dem ersten Schritt ist die Tangente an einen Spurpunkt anzulegen. Wie sich nachfolgend noch zeigen wird, bietet es sich an, einen Punkt innerhalb der Spur auf dem Bild-Fahrzeug auszuwählen, der in Y-Richtung auf Höhe Zentrum des zeichnenden Rades liegt (Abstand 0-Linie bis Spurpunkt = R). Der Winkel zwischen der Waagerechten bzw. Horizontalen und der Tangente entspricht dann dem Spurtangentenwinkel α (s.a. Bild 8):

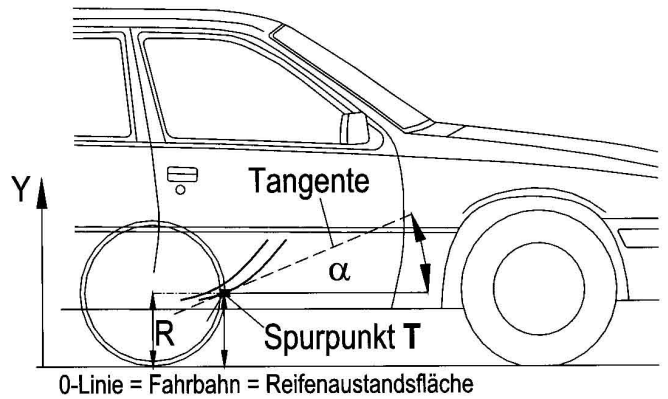


Bild 8 Definition Spurtangentenwinkel

In der Praxis findet man bei den meisten Fällen Spuren vor, die von einer Vorderflanke erzeugt wurden. Trotzdem muss vor dem eigentlichen Berechnungsvorgang festgestellt werden, ob die Spuren von der Vorder- oder Hinterflanke eines Reifens erzeugt wurden. Für die beiden Konstellationen gelten die auf den Bildern 9 und 10 skizzierten Vorgaben:

Zwischen der Tangente und der Horizontalen sind Zeiger aufgespannt, wobei der untere Basiszeiger immer in Fahrtrichtung (also in Richtung der Front des Bild-Fahrzeugs) auszurichten ist. Durch ein Verdrehen dieses Basiszeigers auf die Tangente erhält man den gesuchten Winkel. Bei Spuren, die durch die Reifenvorderflanke erzeugt wurden, muss der Zeiger gegen den Uhrzeigersinn verdreht werden (Bild 9). Bei Abrieb einer Reifenhinterflanke ist eine Verdrehung im Uhrzeigersinn vorzunehmen (Bild 10).

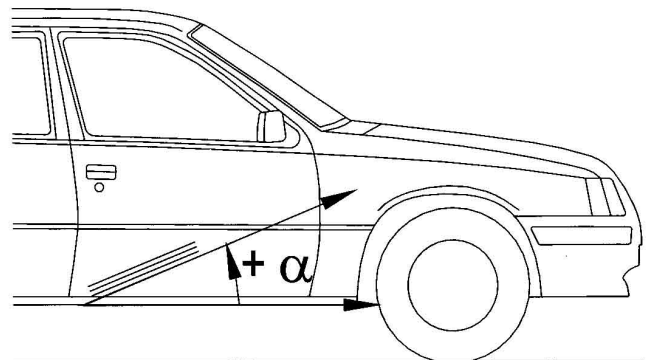


Bild 9 Definition des Winkels bei Spuren einer Reifenvorderflanke

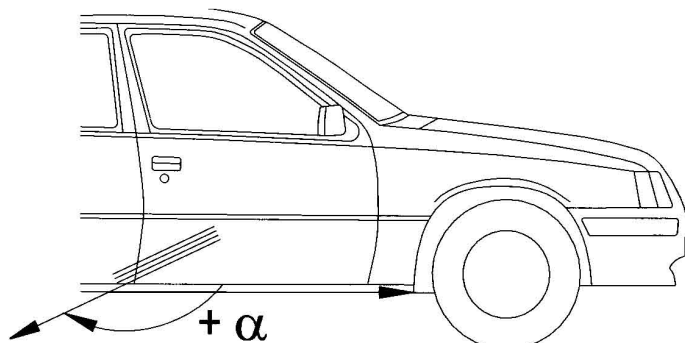


Bild 10 Definition des Winkels bei Spuren einer Reifenhinterflanke

2.3.2 Berechnungsansatz

Die Basis bei der Ermittlung von z liefern die Gleichungen, mit der sich die Radantragsspur berechnen lassen. Die auf den Bildern 1 und 2 ausgewiesenen Spuren sind funktional [1]:

$$x^* = \frac{x}{R} = \left(1 - \frac{1}{z}\right) \cdot \omega \cdot t + \cos(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad \text{Gl. 1}$$

$$y^* = \frac{y}{R} = 1 - \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

oder durch einen Ortsvektor $\vec{p}$ zu beschreiben (φ_0 kann für die nachfolgenden Ausführungen vernachlässigt werden):

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} \left(1 - \frac{1}{z}\right) \cdot \omega \cdot t + \cos(\omega \cdot t) \\ 1 - \sin(\omega \cdot t) \end{pmatrix} \quad \text{Gl. 2}$$

Bei den Gleichungen bezeichnet ω die Winkelgeschwindigkeit des Zeichner-Pkw und t die Zeit. Das Produkt ωt entspricht somit der Geschwindigkeit des Zeichner-Fahrzeugs. Das Produkt ωt ist somit nichts anderes als der Winkel, um den sich das Rad während der Zeit t gedreht hat. Beträgt ω z.B. 2 Umdrehungen pro Sekunde so hat sich ein Punkt auf dem Reifen nach 0,25 s um 180° verdreht ($\omega t = 2 \text{ U/s} \cdot 0,25 \text{ s} = 0,5 \text{ Umdrehungen} \rightarrow 180^\circ$).

Aus der Mathematik ist bekannt, dass sich die Tangentensteigung für einen Punkt einer beliebigen Funktion mit Hilfe der Ableitung berechnen lässt.

Analog hierzu kann auch der Winkel α zwischen der Spurtangente und dem Schweller (bzw. der Horizontalen) berechnet werden. Dabei ist zunächst die Ableitung des Ortsvektors $\vec{p}'(t)$ zu bilden:

$$\vec{p}' = \begin{pmatrix} \left(1 - \frac{1}{z}\right) \cdot \omega - \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ -\omega \cdot \cos(\omega \cdot t) \end{pmatrix} \quad \text{Gl. 3}$$

Für die Bestimmung des Tangentenwinkels α gilt analog zu dem Beispiel:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{-\cos(\omega \cdot t)}{\left(1 - \frac{1}{z}\right) - \sin(\omega \cdot t)} \quad \text{Gl. 4}$$

Die Umstellung der obigen Gleichung führt dann auf die Gl. 5:

$$z = \frac{1}{1 - \sin(\omega \cdot t) + \frac{\cos(\omega \cdot t)}{\tan \alpha}} \quad \text{Gl. 5}$$

2.3.3 Vereinfachung der Gleichung / Auswahl eines Spurpunktes auf Höhe der Mitte des zeichnenden Rades

Um besser mit der Gleichung für z (Gl. 5) arbeiten zu können, soll eine Vereinfachung vorgenommen werden. Für die nachfolgende Betrachtung wird $\omega t = 0$ gesetzt.

Mit dieser Bedingung muss ein Spurpunkt am Bild-Fahrzeug einbezogen werden, der in Höhe des Zentrums des zeichnenden Rades liegt.

Oder anders beschrieben: Damit die Bedingung $\omega t = 0$ erfüllt wird, muss der Abstand des Spurpunktes T (an den die Tangente angelegt wird) bis zum Boden (Strecke $\overline{OT}$) exakt dem Maß R (Radius des Zeichner-Reifens) entsprechen (s.a. Bild 8). Wie das Bild 3 zeigt, liegt dieser Punkt bei zwei Pkw i.d.R. im Bereich des Schwellers des Bild-Fahrzeugs (da die Höhen von Schwellerober- und -unterkante bei jedem Fahrzeug individuell variieren, muss ggf. jedoch ein Vergleichsfahrzeug besichtigt werden). Eine Hilfestellung und Angaben zur Berechnung von Reifengrößen und Radian bietet die Internet-Adresse www.alfisti.net/english/service/reifendaten.htm.

Für $\omega t = 0$ folgt dann:

$$z = \frac{1}{\frac{1}{\tan \alpha} + 1} \quad \text{Gl. 6}$$

Das Bild 11 gibt den Funktionsverlauf der Gl. 6 wieder:

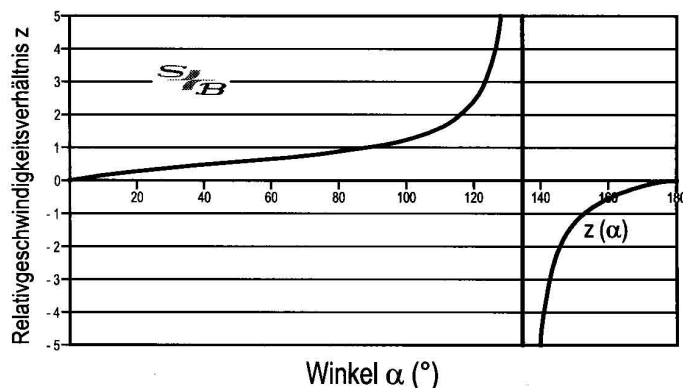


Bild 11 Relation zwischen α und z ($\alpha = 0^\circ$ bis 180°)

Es zeigt sich, dass die Funktion für Werte zwischen $0^\circ < \alpha < 100^\circ$ annähernd linear verläuft. Für Winkel ab 120° kommt es auf Grund der Tangensfunktion dann zu Unstetigkeiten, bei denen selbst kleinste Fehler beim Messen des Winkels α zu extremen Abweichungen bei der Berechnung von z führen. Größere Winkel als 135° können nicht vorliegen, da z dann negativ wird (gegenläufiger Verkehr).

2.3.4 Fehlerbetrachtung

Anhand der anschließenden Fehlerbetrachtung kann festgestellt werden, mit welcher Genauigkeit sich z berechnen lässt:

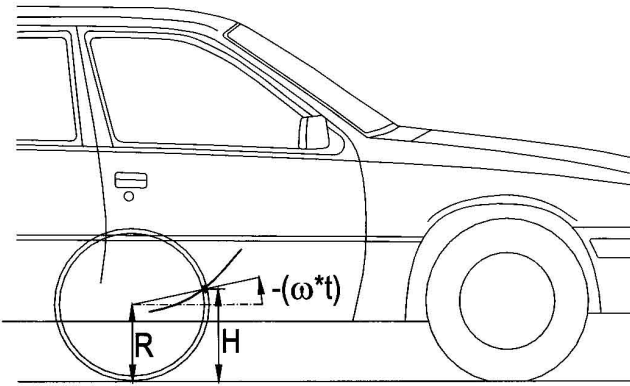


Bild 12 Erklärung der Maße R und H

Zwei Fehler können bei der Auswertung des Spurtangentenwinkels auftreten:

1. Beim Ausmessen des Winkels ist ein Messfehler von $\Delta\alpha = \pm 5^\circ$ denkbar.
2. Ein weiterer Fehler entsteht, wenn der ausgewählte Punkt, an den die Tangente angelegt werden soll, nicht auf Höhe der Radmitte des spurzeichnenden Rades R liegt ($\omega \neq 0$ bzw. $0T \neq R$, s.a. Anhang), z.B. auf der Höhe H (s.a. Bild 12).

Um eine Vorstellung von der Größenordnung des Fehlers vermitteln zu können, wird zunächst noch einmal der Raddrehwinkel $\omega \cdot t$ näher erklärt:

Ausweislich der Gl. 2 gilt für die y-Komponente des spurzeichnenden Rades:

$$y^* = \frac{y}{R} = 1 - \sin(\omega \cdot t)$$

$$y = H - R = R - R \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{Gl. 7}$$

$$H - R = -R \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Wenn man den Radius des Zeichner-Reifens und die Höhe H eines Spurpunktes kennt, kann der Winkel $\omega \cdot t$ über die oben aufgeführte Gleichung bestimmt werden.

Der Bezugspunkt bei der Messung des Winkels liegt in Höhe der Radmitte (für $\omega \cdot t = 0^\circ$ ist $y = R$). Für eine Lage des Spurpunktes oberhalb von R bekommt der Winkel auf Grund der Definitionen der Gl. 7 + 8 ein negatives Vorzeichen: $-\omega \cdot t$ (s.a. Bild 12).

Mit Hilfe der Maße R und H, lässt sich $\omega \cdot t$ wie folgt berechnen:

$$\Delta h = H - R$$

$$\frac{\Delta h}{R} = -\sin(\omega \cdot t) \quad \text{Gl. 8}$$

$$\Leftrightarrow \omega \cdot t = \arcsin\left(\frac{-\Delta h}{R}\right)$$

Es wird des Weiteren angenommen, der Radius des spurzeichnenden Rades betrage $R = 30 \text{ cm}$. Die Höhe des Spurpunktes auf dem Bild-Fahrzeug (an den die Tangente angelegt wird) liegt auf einer Höhe von $H = 35 \text{ cm}$. Damit kann der Winkel $\omega \cdot t$ zwischen den Punkten in den Höhenlagen R und H berechnet werden:

$$\Delta h = H - R = 35 \text{ cm} - 30 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta h}{R} = -\sin(\omega \cdot t)$$

$$\Leftrightarrow \omega \cdot t = \arcsin\left(\frac{-\Delta h}{R}\right) = \arcsin\left(\frac{-5 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right) = -9,6^\circ$$

Der Verdrehwinkel $\omega \cdot t$ des zeichnenden Rades zwischen den Punkten bzw. Höhen H und R beträgt somit $-9,6^\circ$.

Es ist nun leicht nachzuvollziehen, dass sich die Höhe für den Punkt H am Bild-Fahrzeug (an den die Tangente angelegt werden soll), nicht mehr exakt bestimmen lässt, wenn nur noch Lichtbilder vorliegen, jedoch das Fahrzeug nicht mehr besichtigt werden kann. Würde man dann fälschlicherweise annehmen, der Punkt H liege auf Höhe Radmitte des Zeichners, resultiert ein Fehler $\Delta(\omega \cdot t) \approx 10^\circ$.

Die aus den zuvor diskutierten Fehlern 1. und 2. resultierende Abweichung lässt sich mit Hilfe des totalen Differentialies der Gl. 5 berechnen. Detailliertere Angaben zum Berechnungsvorgang finden sich im Anhang wieder.

Auf dem Bild 13 ist der prozentuale Fehler für drei verschiedene Konstellationen aufgetragen: Als Relativfehler wurden für den Fehler beim Ausmessen des Tangentenwinkels $\Delta\alpha = \pm 5^\circ$ und für die Höhenabweichung $\Delta(\omega \cdot t) = \pm 5^\circ \dots 10^\circ$ in Ansatz gebracht.

$$A: \Delta\alpha = \pm 5^\circ / \Delta(\omega \cdot t) = \pm 10^\circ$$

$$B: \Delta\alpha = \pm 5^\circ / \Delta(\omega \cdot t) = \pm 5^\circ$$

$$C: \Delta\alpha = \pm 5^\circ$$

Dem Bild 13 ist zu entnehmen, dass z für Tangentenwinkel zwischen $30^\circ < \alpha < 70^\circ$ (Konstellation A), $22^\circ < \alpha < 97^\circ$ (Variante B) oder $21^\circ < \alpha < 112^\circ$ (Variante C) zuverlässig berechnet werden kann. Innerhalb dieser Bandbreiten liegt der maximale, prozentuale Fehler bei 20 %.

Bei der Berechnung von z sind jedoch noch weitere Aspekte zu beachten:

1. Zunächst ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass sich die vorangestellten Überlegungen auf die Gl. 6 beziehen. Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass diese nur dann herangezogen werden darf, wenn der Spurlpunkt (an den die Tangente angelegt wird) sich etwa in Höhe der Radmitte des Zeichner-Fahrzeugs befindet!

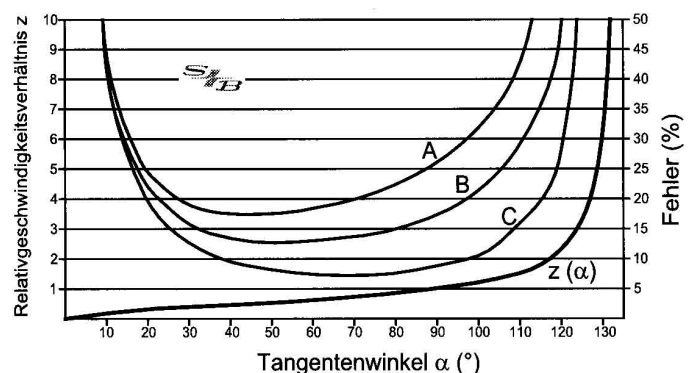


Bild 13 Relation $z(\alpha)$ für $(\alpha = 0^\circ \text{ bis } 135^\circ)$ und prozentualer Fehler der Konstellationen A, B und C

Eine Ausnahme liegt vor, wenn ein linienförmiger Verlauf (die Spuren weisen keine Krümmung auf) vorliegt (wie z.B. auf den Bildern 19, 20 und 22). In dem Fall entspricht der Winkel der Spur auch gleichzeitig dem Tangentenwinkel.

- Es können nur die Spuren ausgewertet werden, die zum Erstkontaktzeitpunkt entstanden. Die Reibung zwischen Rad und Karosseriekörper kann bei längerem Kontakt zu einer Abnahme der Drehgeschwindigkeit des spurzeichnenden Reifens führen.
- Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, dass die nachfolgenden Einflüsse ebenfalls zu Fehlern führen können: Schrägstellung des Reifens bzw. Lenkeinschlags, Wank- und Federbewegungen der kontaktierenden Fahrzeugkonturen und Antriebs- bzw. Bremsschlupf. Die Versuche zeigten jedoch nur einen sehr geringen Einfluss dieser Parameter bei der Berechnung von z (s.a. Anhang A 2.3).

2.3.5 Beispielrechnung

Die zuvor beschriebene Theorie soll anhand eines Beispiels anschaulich in die Praxis übertragen werden:

Für den auf Bild 19 wiedergegebenen Abrieb kann für die ersten Spuren einer Reifenvorderflanke auf dem Schweller (unterhalb der Türvorderkante → Spurenbeginn) ein Tangentenwinkel von 36° gemessen werden. Mit Hilfe der Gl. 6:

$$z = \frac{1}{\frac{1}{\tan \alpha} + 1}$$

ist für $z = 0,42$ zu berechnen. Der Fehler bei der Auswertung des Winkels liegt bei maximal $\Delta\alpha = \pm 5^\circ$. Die Höhenabweichung kann mit $\Delta(\omega t) = \pm 5^\circ$ abgeschätzt werden. Ausweislich des Bildes 13 kann der absolute Fehler lediglich 13 % betragen:

$$z = 0,42 \pm 0,06 = 0,36 \dots 0,48$$

Bei dem Versuch konnte die Geschwindigkeit der Pkw mit Hilfe von UDS-Geräten ausgewertet werden:

$$z = \frac{v_{\text{Zeichner}}}{v_{\text{Bild}}} = \frac{8 \text{ km/h}}{20 \text{ km/h}} = 0,4$$

Das tatsächliche Geschwindigkeitsverhältnis von $z = 0,4$ bestätigt das Ergebnis und die zuvor behandelte Theorie. Auch die weiteren Beispiele auf den Bildern 6, 19, 20 und 22 bestätigen die Überlegungen:

Bild	gemessener Winkel	berechnetes z	tatsächliches z
6	90°	1	1
19	36°	0,42	0,4
20	16°	0,22	0,2
22	37°	0,43	0,41

Bild 14 Versuchsergebnisse

Die Abweichungen fallen gering aus und die Versuche machen deutlich, dass sich anhand des Spurtangentenwinkels tatsächlich das Geschwindigkeitsverhältnis z berechnen lässt.

2.3.6 Berechnung von z für eine beliebige Höhenlage

Die Berechnung von z für eine beliebige Höhenlage des Spurpunktes (unter Einbeziehung des Spurtangentenwinkels) erfolgt im Anhang (unter A.1).

3 Fallbeispiele und Analyse

Die Schwierigkeiten, die typischerweise bei der Spureninterpretation entstehen, sollen im Rahmen einiger Beispiele diskutiert werden:

3.1 Fallbeispiel A

Der Spurausprägung im Beispiel A auf Bild 15 begegnet man in der Praxis sehr häufig.



Bild 15 Spuren einer Reifenvorderflanke



Bild 16 ($z \approx 1,1$)

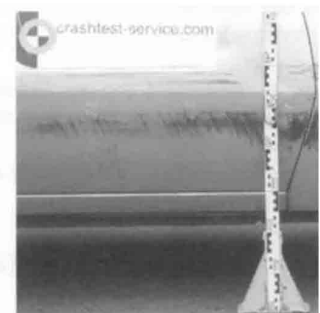


Bild 17 ($z \approx 0,9$)

Zunächst ist eindeutig festzustellen, dass die Spuren durch eine Reifenvorderflanke erzeugt wurden. Das Spurenfragment erweckt den Eindruck, als seien die einzelnen Segmente aus einem Kreis ausgeschnitten. Dieser Sachverhalt lässt auf eine geringe Relativgeschwindigkeit schließen. Prinzipiell möchte man die Spur damit der Konstellation A 1 auf der Übersichtsanlage zuordnen. Anhand einer Versuchsreihe (Bilder 16 und 17) konnte jedoch aufgezeigt werden, dass sich bei kleineren Relativgeschwindigkeiten ($z \approx 0,8 \dots 1,4$) eine Aussage zur Relativbewegung als sehr problematisch erweist.

Die Spurausprägungen der Bilder 16 und 17 unterscheidet sich nur geringfügig und ist optisch kaum zu unterscheiden. Auch eine Berechnung von z mit Hilfe des Spurtangentenwinkels ist hier nicht ohne weiteres möglich, da offensichtlich ist, dass sich der Abrieb deutlich oberhalb der Radmitte des Zeichner-Rades befindet (einen guten Anhaltspunkt bietet immer der Schweller des Bild-Pkw und hier auch die Radmitte des Bild-Pkw).

Auf Bild 16 war das Bild-Fahrzeug langsamer ($v_{\text{Bild}} = 40 \text{ km/h}$, $v_{\text{Zeichner}} = 45 \text{ km/h}$, $z = 1,1$). Die Ausprägung auf Darstellung 17 entstand bei einer genau umgekehrten Anstoßkonstellation ($v_{\text{Bild}} = 45 \text{ km/h}$, $v_{\text{Zeichner}} = 40 \text{ km/h}$, $z = 0,9$).

Die Ähnlichkeit der Anstreichungen zeigt, dass beide Varianten in der Praxis kaum zu unterscheiden sind. Die Relativbewegung des Bild-Fahrzeuges zum Zeichner-Pkw war so gering, dass keine signifikante Längsverschiebung der einzelnen Spurpunkte entstand, anhand derer man die Anstreichrichtung festlegen könnte.

Das Spurenbild auf Bild 15 führt des weiteren häufig zu der fälschlichen Annahme, dass die Reifenvorderflanke des Zeichner-Fahrzeuges ausgestellt gewesen sein muss, denn wie sollten sonst die Spuren entstanden sein!? Dies würde bedeuten, dass das Zeichner-Fahrzeug auf den Bild-Pkw zugelenkt wurde, was einen erheblichen Einfluss auf die Schuldfrage haben dürfte.

Aber: Die zuvor formulierte Vermutung ist sehr kritisch zu prüfen: Es ist zwar richtig, dass die Spur in jedem Fall der vorderen Reifenhälfte entstammen muss, jedoch kann sie auch ohne einen Radeinschlagswinkel erzeugt worden sein, wenn es zu einem Kontakt zwischen zwei strukturweichen bzw. elastischen Bauteiloberflächen kam (z.B. bei einem Kontakt zwischen Kotflügel und Radhaus).

Des Weiteren begünstigt ein leichter Relativwinkel (zwischen den Fahrzeuglängsachsen) die Spurentstehung. Zusätzlich ist noch zu beachten, dass sich die Seitenkonturen im Front- und Heckbereich bei nahezu allen modernen Fahrzeugtypen verjüngen. Dieser geometrische Aspekt ist der zuvor benannten Entstehungsweise ebenfalls zuträglich (s.a. Ausführungen in [2]).

3.2 Fallbeispiele B

Das nachfolgende Beispiel entspricht einer typischen Bagatellkollision auf einem Parkplatz (das **Bild 18** zeigt die prinzipielle Anstoßsituation).

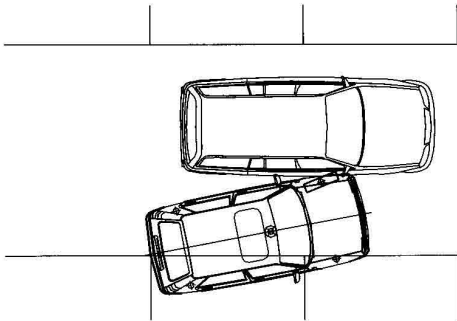


Bild 18 Anstoßsituation Parkplatzzunfall

Ein anfahrender und gleichzeitig nach links lenkender Renault 5 stößt mit ca. 8 km/h gegen die Seite eines vorbeifahrenden Opel Kadett ($v_{\text{Bild, Opel}} = 20 \text{ km/h}$, $z = 0,4$). Das nachfolgende Bild 19 zeigt die Spuren am Bild-Fahrzeug:

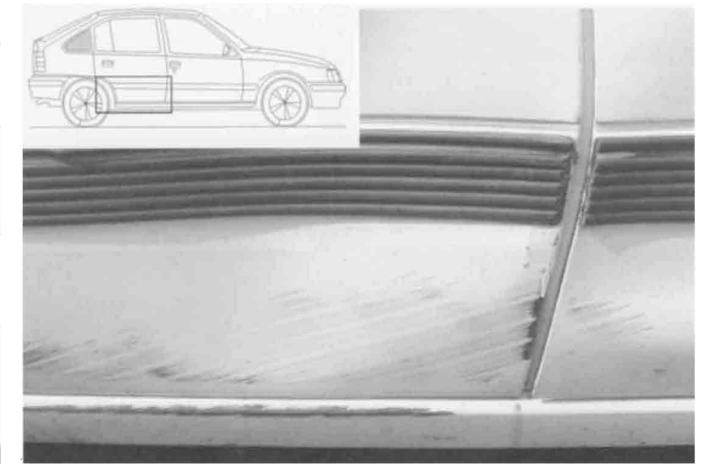
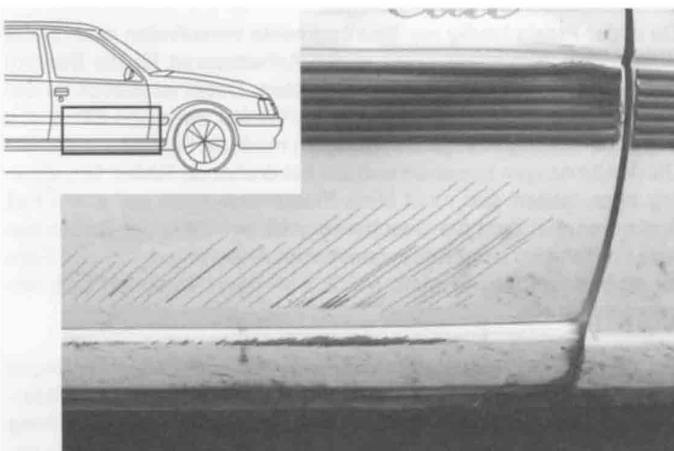


Bild 20 Spuren am Bild-Fahrzeug

Der Gummiabrieb verläuft nahezu geradlinig. Die Anstreichrichtung lässt sich jedoch mit Hilfe des massiven Spurantrages an der B-Säule festlegen: Es resultiert eine Anstreichrichtung von vorne nach hinten. Somit ist belegt, dass sich der Opel Kadett zum Kontaktzeitpunkt an dem Renault 5 vorbeibewegte.

Das Ergebnis einer nahezu identischen Anstoßkonfiguration dokumentiert das Bild 20. Diese Version korrespondiert zu einem innerstädtischen Unfall, bei dem ein Renault z.B. von einer Bushaltestelle aus in den fließenden Verkehr einfährt und einen mit 40 km/h vorbeistreichenden Opel Kadett kontaktiert. Die Kollisionsgeschwindigkeit des „Zeichner“-Pkw Renault liegt bei 8 km/h.

Wie bei dem zuvor diskutierten Beispiel, lässt sich auch hier keine Spurkrümmung erkennen. Die Frage, welche Reifenflanke zum Kontaktzeitpunkt ausgestellt war, ist daher nur anhand weiterer Beschädigungsdetails zu rekonstruieren. Eine Hilfestellung bieten die Reifenantragungen im B- und C-Säulenbereich des Kadett. Die Abriebspuren belegen eine eindeutige Richtung von vorne nach hinten. Es ist zweifelsfrei festzustellen, dass der Opel zum Unfallzeitpunkt das deutlich schnellere Fahrzeug war.

Bei einem Vergleich der resultierenden Spurenbilder 19 und 20 fällt auf, dass die Steigung der Spuren im Bild 20 deutlich flacher ist, als im Beispiel 19. Dieser Sachverhalt lässt den Rückschluss zu, dass das Bild-Fahrzeug im Beispiel B, im Vergleich zum Beispiel A, deutlich schneller gewesen sein muss.

3.3 Fallbeispiel C

Das Spurenbild im Fallbeispiel C tritt häufig im Rahmen von Manipulationsereignissen auf. Von den Beteiligten wird dabei eine Kollision im Zuge eines Spurwechselmanövers behauptet. Der Fahrer des Zeichner-Pkw „räumt ein“, den überholenden, schnelleren Pkw (Bild-Fahrzeug) übersehen zu haben, was einer klassischen Situation mit „totem Winkel“ entspräche.

Das **Bild 21** zeigt die zugehörige Spurausprägung am Bild-Pkw Opel.

Zunächst erweckt der sehr großradige Verlauf der Spuren im oberen Bereich (unterhalb der abgelösten Zierleiste) den Eindruck, dass das Zeichner-Fahrzeug zum Unfallzeitpunkt schneller war. Für diese Anstreichrichtung sprechen auch die weiteren Schadenmerkmale:

Bild 19 Resultierende Spuren

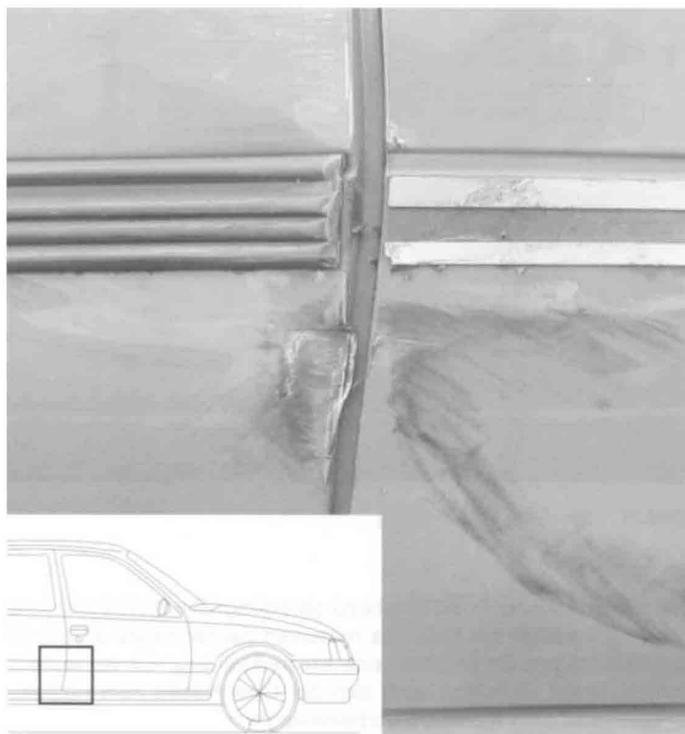


Bild 21 Spuren am Bild-Fahrzeug



Bild 22 Spurenbild am Bild-Pkw

Unterhalb der Zierleiste wurde die Seitenteilkante in Richtung der Tür eingedrückt und verzogen. Ein weiteres Indiz für die Anstreifrichtung von hinten nach vorne, bietet das abgerissene Schutzgummi an der Türaußenkante. Die Entstehungsrichtung steht also im Widerspruch zu der vorgetragenen Konstellation, bei der das Bild-Fahrzeug schneller gewesen sein, also überholt haben soll.

3.4 Fallbeispiel D

Das Beispiel D (Bild 22) könnte aus einem innerstädtischen Spurwechselmanöver resultieren. Bei diesem Versuch vollzog ein Opel Kadett einen Spurwechsel (Fahrgeschwindigkeit etwa 17 km/h) und kontaktierte dabei einen Ford Kombi (Fahrgeschwindigkeit des Ford: $v_{K, \text{Bild}} \approx 41 \text{ km/h}$ / $z = 0,425 \rightarrow$ s.a. Tangente im vorderen Bereich der Beifahrertür auf dem Bild 22).

Die Betrachtung der Spurkrümmung hinter der B-Säule verführt zu der Annahme, dass der Reifenabrieb einer ausgestellten hinteren Reifenflanke entstammt. Als Konsequenz ließe sich formulieren, dass der Verlauf der Spur nur dann erklärbar wäre, wenn sich der

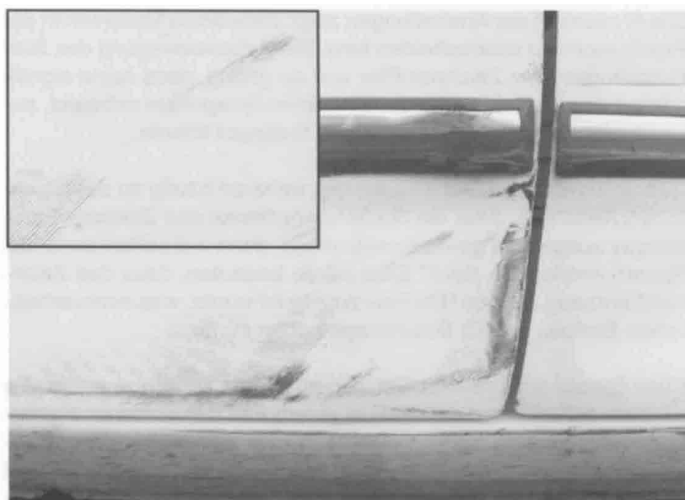


Bild 23 Detailaufnahmen

Opel schneller an dem weißen Ford vorbeibewegt hätte (was jedoch mit dem tatsächlich vorliegenden Ablauf nicht in Einklang zu bringen ist).

Erst mit Hilfe weiterer Detailfotos kann der scheinbare Widerspruch aufgeklärt werden:

Der bogenförmige Verlauf besteht aus einer Vielzahl von dünnen Spurrästen (die entweder von der Felge oder dem Reifen stammen). Die einzelnen Spurräste weisen eine Entstehungsrichtung von oben nach unten auf! Eine derartige Entstehungsrichtung kann nur eine Reifenvorderflanke erzeugen. Die zufällige Anordnung der Einzelspuren bzw. das Gesamtbild führt somit zunächst zu dem Trugschluss einer Anstreifrichtung von hinten nach vorne. Das Beispiel verdeutlicht die Schwierigkeit einer Einschätzung bei unzureichendem Fotomaterial.

4 Fazit

Dieser Aufsatz gibt einen Einblick in ein sehr komplexes Themengebiet. Das Ziel bestand darin, auf die Probleme und häufige Fehler bei der Analyse von Reifenspuren hinzuweisen und Erklärungs- und Berechnungsansätze zu liefern.

Im Rahmen einiger Beispiele konnte aufgezeigt werden, dass sich für eine Vielzahl von Spurkonstellationen das Geschwindigkeitsverhältnis z zwischen den Fahrzeugen zum Zeitpunkt des Erstkontaktes bestimmen lässt. Bei der Berechnung von z sind jedoch einige Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Da in der Praxis häufig nur Spurfragmente vorzufinden sind, bietet dieser Weg zumindest einen ersten Anhaltspunkt für die Bestimmung des Geschwindigkeitsverhältnisses. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Fehler i.d.R. nur für Winkel zwischen $21^\circ < \alpha < 112^\circ$ (bei günstigen Voraussetzungen) moderat ausfällt.

Die Ausführungen beziehen sich auf frei drehende Räder. Die Überlegungen lassen sich nicht ohne Einschränkungen auf einen Fall projizieren, bei dem die Geschwindigkeit des Zeichner-Rades bereits im Rahmen einer fahrdynamischen Änderung durch den Fahrer oder einem Regelsystem (ABS, ESP usw.) verändert bzw. abgebremst wurde.

Bei der Analyse und Interpretation von Reifenabriebspuren muss darauf hingewiesen werden, dass die Plausibilität einer Unfalldarstellung niemals bereits anhand einer einzelnen Spurkrümmung festgelegt werden darf. Der Eindruck einer Spurkrümmung kann be-

reits durch eine ungünstige Aufnahmeperspektive entstehen oder darauf zurückgeführt werden, dass der Abrieb innerhalb einer Einbeulung liegt.

Die Beispiele haben gezeigt, dass die Festlegung der Anstreifrichtung bzw. die Ermittlung der Relativbewegung der Pkw bei geringen Differenzgeschwindigkeiten sehr schwierig ist.

Auch wenn man glaubt, anhand der Spurkrümmung den Unfallablauf festlegen zu können, sollten weitere Indizien zur Bestätigung des vermuteten Hergangs gewonnen werden (Anstreifrichtung durch z.B. Spurantragungen in Übergangsbereichen zwischen Türen, Steigung der Spuren, Geschwindigkeitsverhältnis der Fahrzeuge usw.).

Erst wenn sich auch alle weiteren Spurmerkmale (sofern vorhanden) widerspruchsfrei einbeziehen lassen, ist die Frage, wer schneller war, oder das Geschwindigkeitsverhältnis der Fahrzeuge eindeutig zu klären.

In einer nachfolgenden Veröffentlichung sollen die Möglichkeiten der Interpretation von Kontakts Spuren bei Unfällen im gleichläufigen Verkehr beschrieben werden. Im Rahmen dieser Vervollständigung soll auch ein Programm (z.B. für Excel) erstellt werden, dass die genaue Berechnung von z ermöglicht.

Anhang:

A.1 Berechnung von z für einen beliebigen Punkt innerhalb der Abriebspur

Mit Hilfe der unter 2.3 ausgewiesenen Gl. 1:

$$x^* = \frac{x}{R} = \left(1 - \frac{1}{z}\right) \cdot \omega \cdot t + \cos(\omega \cdot t)$$

$$y^* = \frac{y}{R} = 1 - \sin(\omega \cdot t)$$

kann z für jeden beliebigen Punkt innerhalb einer Abriebspur ermittelt werden.

Dafür müssen jedoch der Radius R des „Zeichner“-Rades und die Höhe H ($y = H$ und $H = \Delta h + R$) des Kontaktpunktes bekannt sein (s.a. Bild 24):

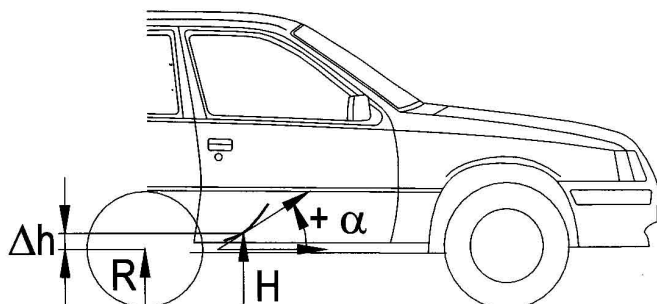


Bild 24 Höhenverhältnisse

Mit den Größen H und R kann $\omega \cdot t$ bestimmt werden:

$$y = H = R - R \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\Leftrightarrow \Delta h = H - R = -R \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\Delta h}{R} = -\sin(\omega \cdot t) \quad \text{Definition Gl. 7 + 8}$$

$$\Leftrightarrow \omega \cdot t = \arcsin\left(-\frac{\Delta h}{R}\right)$$

Δh entspricht dem Abstand zwischen dem Reifenmittelpunkt des

Zeichner-Fahrzeugs und der Höhe des Punktes, an den die Tangente angelegt wird. Die Gleichung für den Spurtangentenwinkel

$$\tan \alpha = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{-\cos(\omega t)}{\left(1 - \frac{1}{z}\right) - \sin(\omega t)} \quad \text{Gl. 4}$$

lässt sich somit nach z umformen:

$$z = \frac{1}{1 - \sin(\omega t) + \frac{\cos(\omega t)}{\tan \alpha}} \quad \text{Gl. 5}$$

oder mit $\sin(\omega t) = -\Delta h/R$:

$$z = \frac{R \cdot \sin \alpha}{\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot \cos \alpha + (\Delta h + R) \cdot \sin \alpha} \quad \text{Gl. 9}$$

A.2 Fehlerbetrachtung

Um z für eine beliebige Stelle der Spur zuverlässig berechnen zu können, ist eine Abschätzung des Fehlers unumgänglich! Es gibt zwei Möglichkeiten den Fehler einzugrenzen.

Um ein Gefühl für die Höhe des Fehlers zu erhalten, sollte in dem ersten Schritt z unter Einbeziehung der möglichen Toleranzen berechnet werden. Die Vorlage für eine Beispielrechnung liefert das Bild 24: Der Tangentenwinkel α beträgt 32° und über die Beziehung $\Delta h / R \approx 0,28$ kann $\omega t = -16^\circ$ berechnet werden. Das tatsächliche z beträgt somit $z = 0,355$.

Würde man jedoch z.B. bei unzureichendem Fotomaterial für $\alpha = 30^\circ$ und $\omega t = -12^\circ$ einsetzen, ergäbe sich $z = 0,344$. Die prozentuale Abweichung liegt somit bei 3 %. Für eine Konstellation mit $\alpha = 35^\circ$ und $\omega t = -20^\circ$ ergibt sich ein $z = 0,388$ (Abweichung 9 %). Die Berechnungen zeigen, dass sich z relativ sicher für diese Konstellation ermitteln lässt. Bei diesem ersten Ansatz handelt es sich jedoch nur um eine überschlägige Berechnung.

Um den Fehler formal richtig zu ermitteln, müssen die allgemeinen Grundlagen der Fehlerrechnung angewendet werden. Dabei ist der Einsatz von (Mathematik-) Software angezeigt bzw. unabdingbar (Excel, Mathcad, Derive usw.).

A.2.1 Allgemeine Grundlagen der Fehlerrechnung

Ganz allgemein ist für die Größe y , die von n unabhängigen Messgrößen $x_1, x_2, \dots, x_n$ mit systematischen Fehlern $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ abhängt, ein Fehler Δy an der Stelle x_i mit dem totalen Differential zu berechnen:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i$$

Die Differentiale und die wahren Größenwerte werden durch die hinreichend kleinen Fehler und die gemessenen Werte ersetzt. Da die Vorzeichen nicht bekannt sind, gilt für den ungünstigsten Fall:

$$\Delta y_{\max} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right|$$

Damit ergibt sich ein relativer Fehler:

$$x_w = \left(\frac{\Delta y_{\max}}{y_m} \right) \cdot 100\%$$

Anhand dieser Vorgaben soll nun der relative Fehler für die Gl. 5 und 9 bestimmt werden. Zunächst erfolgt die Berechnung des Fehlers für Gl. 5.

A.2.2 Fehlerbetrachtung Gl. 5

Bei der Fehlerbetrachtung sind zunächst die partiellen Ableitungen zu bilden (hier unter Anwendung von Derive):

$$z(\alpha, \omega t) = \frac{1}{1 - \sin \omega t + \frac{\cos \omega t}{\tan \alpha}}$$

$$A = \frac{dz}{d\alpha} = \frac{\cos \omega t}{(\cos \alpha \cdot \cos \omega t + \sin \alpha \cdot (1 - \sin \omega t))^2}$$

$$B = \frac{dz}{d(\omega t)} = \frac{\sin \alpha \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \omega t + \sin \alpha \cdot \cos \omega t)}{(\cos \alpha \cdot \cos \omega t + \sin \alpha \cdot (1 - \sin \omega t))^2}$$

Im Weiteren müssen dann die Abweichungen für α und ωt festgelegt werden. Überschlägig kann für $\Delta \alpha = \pm 5^\circ$ bzw. $\Delta(\omega t) = \pm 5^\circ \dots 10^\circ$ eingesetzt werden.

Der maximale, prozentuale Fehler beträgt dann:

$$\Delta F = \left| \frac{A \cdot \Delta \alpha + B \cdot \Delta \omega t}{z} \right| \cdot 100\%$$

A.2.3 Fehlerbetrachtung Gl. 9

Die partiellen Ableitungen für die Gl. 9 lauten:

$$z(\alpha, R, \Delta h) = \frac{R \cdot \sin \alpha}{\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot \cos \alpha + (\Delta h + R) \cdot \sin \alpha}$$

$$A = \frac{dz}{d\alpha} = \frac{|R| \cdot \sqrt{R^2 - \Delta h^2}}{(\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot \cos \alpha + (\Delta h + R) \cdot \sin \alpha)^2}$$

$$H = \frac{dz}{d\Delta h} = \frac{R \cdot \sin \alpha \cdot (\Delta h \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \sqrt{R^2 - \Delta h^2})}{\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot (\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot \cos \alpha + (\Delta h + R) \cdot \sin \alpha)^2}$$

$$R = \frac{dz}{dR} = \frac{h \cdot \sin \alpha \cdot (\sin \alpha \cdot \sqrt{R^2 - \Delta h^2} - \Delta h \cdot \cos \alpha)}{\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot (\sqrt{R^2 - \Delta h^2} \cdot \cos \alpha + (\Delta h + R) \cdot \sin \alpha)^2}$$

Die Fehler für die einzelnen Messgrößen lassen sich zu $\Delta \alpha = \pm 5^\circ$ / $\Delta h \pm 0,05$ m abschätzen. Der maximale, prozentuale Fehler beträgt dann:

$$\Delta F = \left| \frac{A \cdot \Delta \alpha + H \cdot \Delta h + R \cdot \Delta R}{z} \right| \cdot 100\%$$

A.2.4 Weitere Einflussgrößen

Schlussendlich ist noch darauf hinzuweisen, dass folgende Einflüsse ebenfalls zu Fehlern führen können:

1. Schrägstellung des Zeichner-Rades bzw. Lenkeinschlag
2. Wank- und Federbewegungen der kontaktierten Fahrzeugkon-
tur
3. Antriebs- und Bremsschlupf
4. Krümmung der Fahrzeugflanke

1. Zum ersten Punkt ist anzumerken, dass die Schrägstellung des zeichnenden Reifens immer zu einer Stauchung des Spurenbildes führt. Da bei Konstellationen im gleichläufigem Verkehr im Regelfall nur sehr kleine Schrägläufwinkel zu erwarten sind, ist dieser Fehler zu vernachlässigen. Selbst bei sehr großen Winkeln (bis $\alpha = 20^\circ$) wird die Spur nur um den Faktor 0,94 gestaucht ($\cos 20^\circ$). Damit ist der Einfluss dieser Fehlergröße ohne weitere Bedeutung.

2. Der zweite Punkt ist von sehr vielen weiteren Einzelfaktoren abhängig (Ein- und Ausfederbewegungen durch Fahrbahnebenheiten, Wankbewegungen durch Flieh- oder Kollisionskräfte usw.), die in der Praxis häufig nicht mehr festgestellt werden können. Die Auswertungen der Versuche hat jedoch eine relativ hohe Genauigkeit der Ergebnisse offenbart. Ein dominanter oder schwerwiegender Einfluss von Wank- oder Federbewegungen ist somit nicht zu erwarten.

3. Wie bereits in der Einleitung aufgeführt, ist eine Aussage zum Geschwindigkeitsverhältnis nur sehr bedingt brauchbar, wenn bekannt ist, dass das Zeichner-Fahrzeug zum Anstoßzeitpunkt stark verzögert wurde.

Ob der Faktor z einen Aussagewert hat, wenn das Zeichner-Fahrzeug während des Kontaktes beschleunigt wird, hängt wesentlich vom Geschwindigkeitsniveau ab. Eine Aussage bei sehr kleinen Geschwindigkeiten und z.B. einem durchdrehenden Zeichner-Rad ist natürlich nicht möglich. Dahingegen liegt für eine Spur, die während eines Spurwechselmanövers auf der Autobahn entstand, ein hohe Aussagekraft vor, da hier nur geringe Antriebsschlupfkräfte zu erwarten sind.

4. Die auf den Bildern 1 und 2 ausgewiesenen Spuren, entstehen beim Kontakt eines Reifens mit einer ebenen Fläche.

Beim Kontakt des Reifens mit einem Pkw führt die Krümmung der Fahrzeugflanke dazu, dass nur ein kleinerer Bereich der spurzeichnenden Reifenseitenwand an der Fahrzeugfläche anliegt. Wie die Praxisbeispiele zeigten, ergeben sich aus diesem Umstand jedoch keine Probleme bei der Berechnung des Geschwindigkeitsverhältnisses z .

Die zuvor beschriebenen Einflussfaktoren und ihre Auswirkungen werden auch ausführlich und anschaulich in [3] diskutiert.

Literaturnachweis

- [1] Weber, M.: Die Aufklärung des Kfz-Versicherungsbetrugs, Schriftenreihe Unfallrekonstruktion, Münster, 1995
- [2] Pfeufer, H.; Weber, M.; Oberländer, T.: Kontaktvorgänge im gleichgerichteten Verkehr, EVU-Tagung 2002, Portoroz, Slovenija, 2002
- [3] Gerlach, A.: Experimentelle Untersuchung zur Bestimmbarkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses zwischen den Kollisionspartnern aus den von der Seitenwand eines Reifens gezeichneten Aufriebspuren, Technische Universität Berlin, Institut für Straßen- und Schienenverkehr, Diplomarbeit, 2000



www.crashtest-service.com

Versuchsergebnisse_online_kompetent_vielseitig

