

Unfallrekonstruktion

Geschwindigkeitsermittlung vor Bremsbeginn

von Dipl.-Ing. Manfred Becke, Münster

Problem: Vollbremsung ohne Bremsspur

Heute haben nahezu alle Pkw (ca. 90%), die in Deutschland zugelassen sind, ein **Antiblockiersystem (ABS)**. Dieses sorgt dafür, dass die Reifen bei einer Vollbremsung nicht in einen Blockierzustand geraten. Der Hauptvorteil liegt darin, dass das Fahrzeug lenkfähig bleibt. Die Bremsanlage mit ABS führt i.d.R. zu Unfallkonstellationen, bei denen keine Spuren einen Vollbremsvorgang dokumentieren. Auch bei Unfällen auf nassen Straßen werden regelmäßig keine Blockierspuren gefunden. Häufig wird die Frage gestellt, ob bei Unfällen ohne Blockierspuren überhaupt noch eine Angabe einer Annäherungsgeschwindigkeit möglich ist. Die Antwort lautet: Nicht immer, aber sehr oft.

Im Folgenden soll kurz dargelegt werden, wie die klassische Geschwindigkeitsrückrechnung unter Berücksichtigung von Blockierspuren erfolgt und wie eine Geschwindigkeitsrückrechnung ohne Blockierspuren aussieht.

I. Geschwindigkeitsrückrechnung mit Blockierspuren

Hat ein Fahrzeug eine Blockierspur hinterlassen, so lässt sich die Geschwindigkeit am Anfang der Blockierspur, sofern keine Kollision vorliegt, sehr leicht nach folgender Formel berechnen, wobei „s“ die Blockierspurlänge darstellt und „a“ die Vollbremsverzögerung:

Gleichung 1:

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

v = Geschwindigkeit
 s = Blockierspurlänge
 a = Vollbremsverzögerung

Die Höhe der Bremsverzögerung hängt von der **Fahrzeugart** (Lkw, Pkw, Krad) und von der **Fahrbahngriffigkeit** ab. Folgende Verzögerungen können als **Anhaltswerte** herangezogen werden.

Anhaltswerte abhängig von Fahrzeugart und Fahrbahngriffigkeit

Übersicht: Höhe der Bremsverzögerung

Trockene Fahrbahn:

- Pkw 7 bis 8 m/s², vereinzelt bis 10 m/s²
- Krad 5 bis 9 m/s² (im Wesentlichen abhängig von der Fahrerfahrung)
- Lkw 5 bis 7 m/s² (im Wesentlichen abhängig von der Bremsanlage und der Beladung, vorgeschriebene Mindestverzögerung 4 m/s²)

Nasse Fahrbahn:

- Pkw 6 bis 7 m/s²
- Krad 4 bis 7 m/s² (im Wesentlichen abhängig von der Fahrerfahrung)
- Lkw 4 bis 6 m/s²

Schnee- und Eisglätte:

- Bremsvorgänge auf Schnee 1,5 bis 3,5 m/s² (stark abhängig von Schneebeschaffenheit und Bereifung)
- Eisglätte ca. 1 m/s²

Fand am Ende der Blockierspur noch eine Kollision statt, so ist zunächst über kollisionsmechanische Betrachtungen, bspw. über die Verformungen und die Auslaufbewegungen der Fahrzeuge, die Kollisionsgeschwindigkeit zu bestimmen. Dieses soll hier nicht weiter erläutert werden. Unterstellt, wir wüssten die Kollisionsgeschwindigkeit am Ende der Blockierspur, so darf keineswegs der Geschwindigkeitsabbau über die Blockierspurlänge anhand der o.g. Formel $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$ bestimmt und das Ergebnis mit der Kollisionsgeschwindigkeit addiert werden. Dieses führt zu einer viel **zu hohen Ausgangsgeschwindigkeit**.

Kollision am Ende der Blockierspur

Praxistipp:

Tatsächlich muss wie folgt vorgegangen werden: Unter Berücksichtigung einer Blockierspur müssen die Anteile aus Kollisionsgeschwindigkeit und aus der Berechnung über die Bremsspur als Wurzelausdruck berechnet werden.

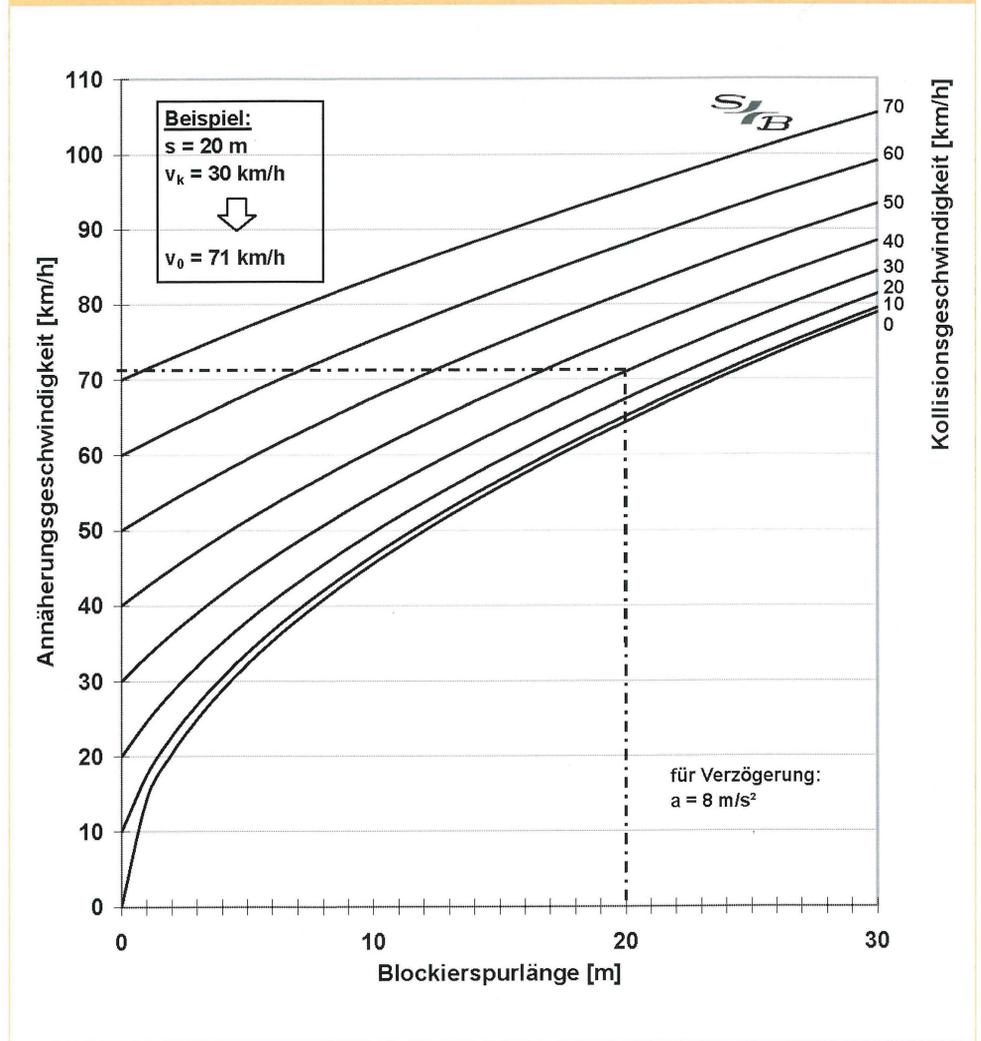
Gleichung 2:

$$v_0 = \sqrt{v_k^2 + 2 \cdot a \cdot s}$$

v_0 = Annäherungsgeschwindigkeit
 v_k = Kollisionsgeschwindigkeit

Diese Gleichung kann für eine Verzögerung „a“ und verschiedene Kollisionsgeschwindigkeiten auch als leicht handhabbares Diagramm dargestellt werden.

Diagramm: Verzögerung und verschiedenen Kollisionsgeschwindigkeiten



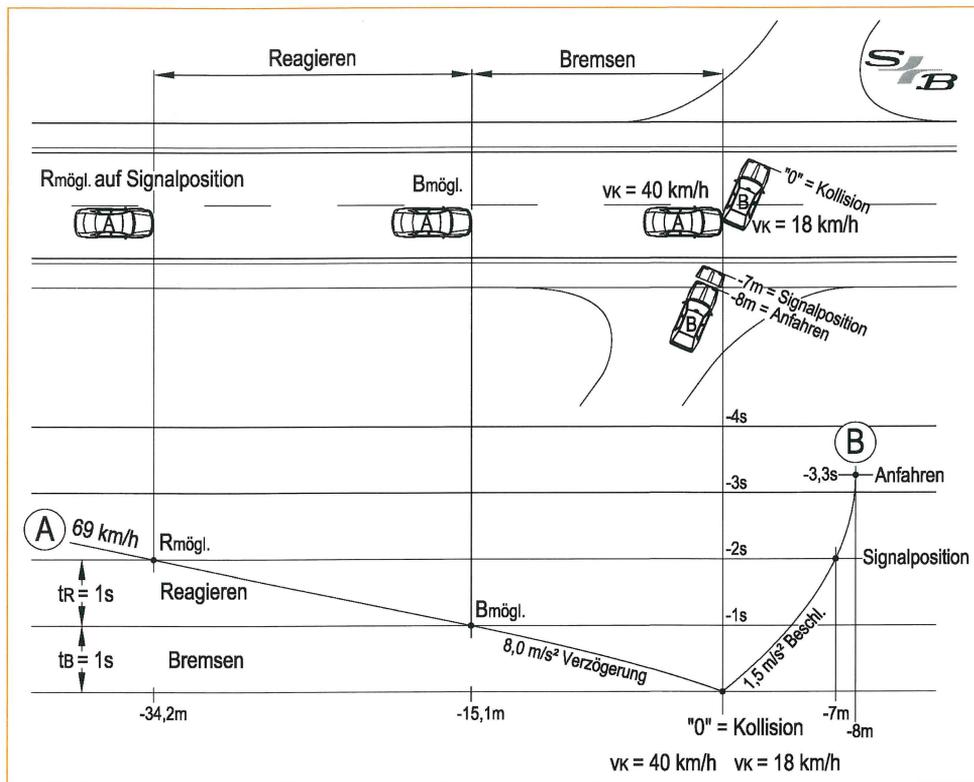
II. Berechnung der Annäherungsgeschwindigkeit ohne Blockierspur

Weg-Zeit-Betrachtung

Die Berechnung der Annäherungsgeschwindigkeit eines Fahrzeuges, das keine Blockierspur hinterlassen hat, geschieht auf sehr viel komplexere Art. Hierzu ist es erforderlich, eine Weg-Zeit-Betrachtung durchzuführen. Damit kann die Bremsdauer, die dem Fahrzeugführer zur Verfügung stand, bestimmt werden. I.d.R. ist dieses die Zeit zwischen der Reaktionsaufforderung und der Kollision abzgl. der Reaktionsdauer. Bei einem Alleinunfall, bei dem ein Fahrzeug bspw. gegen einen Baum geprallt ist, ist eine derartige Betrachtungsweise nicht möglich. I.d.R. kann jedoch so vorgegangen werden, wenn ein weiterer Verkehrsteilnehmer beteiligt war, sei es als Fußgänger oder Fahrradfahrer.

Fallgestaltung

Eine einzige Fallgestaltung wird in der folgenden Darstellung behandelt. Im oberen Bereich ist eine Skizze der Örtlichkeit wiedergegeben. Darunter befindet sich ein Weg-Zeit-Diagramm, in dem die Zeit von oben nach unten verläuft. Die waagrecht verlaufenden Hilfslinien entsprechen einer Sekunde. In waagerechter Richtung verläuft die Wegachse, wobei die Annäherung des Fahrzeuges A direkt in die Skizze hochgelotet werden kann, während die Fahrbewegung des Fahrzeuges B gegen den Uhrzeigersinn verdreht in die Zeichenwaagerechte gebracht wurde.



t_R = Reaktionsdauer
 t_B = Bremsdauer
 v_K = Kollisionsgeschwindigkeit

Bei diesem Beispiel soll sich das Fahrzeug B über eine Strecke von 8 m aus einer Anfahrposition (-8 m) in die Kollisionsposition („0“) bewegt haben. Die **mittlere Anfahrbeschleunigung** wird mit $1,5 \text{ m/s}^2$ berücksichtigt. Die Signalposition (-7 m) soll nach einer Anfahrstrecke von 1 m durchfahren worden sein. Bei dieser Fahrgestaltung ergibt sich eine **gesamte Anfahrdauer** des Fahrzeuges B von ca. 3,3 Sekunden. Etwa 2 Sekunden vor der Kollision wurde die Signalposition durchfahren. Es wird unterstellt, dass der Fahrzeugführer A auf diese Situation reagierte (Rmögl.). Als Reaktionsdauer vom Beginn des Signals bis zur Vollbremsung wird in diesem Beispiel eine Zeitdauer „tR“ von 1 Sekunde berücksichtigt. Dieses führt zu dem Ergebnis, dass noch eine Zeitdauer von noch 1 Sekunde zwischen einem möglichen Vollbremsbeginn und der Kollision vorlag. Unterstellt man eine derartige Reaktion des Fahrzeugführers A, so lässt sich auch unter Kenntnis der Kollisionsgeschwindigkeit die Geschwindigkeit beim Bremsbeginn, d.h. die Annäherungsgeschwindigkeit berechnen. Die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges B soll in diesem Beispiel 40 km/h betragen.

Der Geschwindigkeitsabbau „ Δv “ innerhalb der Bremsdauer „tB“ lässt sich leicht nach folgender Formel berechnen:

Gleichung 3:

$$\Delta v = a \cdot t_B$$

Δv = Geschwindigkeitsabbau
 t_B = Bremsdauer

Setzt man im vorliegenden Fall für die Verzögerung 8 m/s^2 und für die Zeitdauer t_B 1 Sekunde ein, so ergibt sich ein Δv von 8 m/s . Umgerechnet in km/h ergibt dieses einen Wert von $28,8 \text{ km/h}$ ($1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$). Die Geschwindigkeit beim Bremsbeginn lässt sich nun nach folgender Gleichung bestimmen:

Gleichung 4:

$$v_0 = v_k + \Delta v$$

$v_0 = 40 \text{ km/h} + 28,8 \text{ km/h}$
 $v_0 = 68,8 \text{ km/h}$, gerundet 69 km/h

v_0 = Annäherungsgeschwindigkeit
 v_k = Kollisionsgeschwindigkeit
 Δv = Geschwindigkeitsabbau

Hinweis:

Bei der Geschwindigkeitsrückrechnung mit Hilfe der Bremsdauer addiert man linear die Kollisionsgeschwindigkeit mit dem errechneten Geschwindigkeitsabbau während der Bremsdauer.

Gleichung 5:

Die bei dieser Betrachtungsweise zurückgelegte Bremsstrecke s lässt sich nach Umformen der Gleichung 2 bestimmen.

$$v_0 = v_k + a \cdot t_B$$

Gleichung 6:

$$s = (v_0^2 - v_k^2) / 2a$$

Es ist zu beachten, dass die Geschwindigkeiten immer in der Dimension m/s eingegeben werden müssen. Im vorliegenden Beispiel ergibt sich eine Bremsstrecke (ohne Spurzeichnung) von 15,1 m. Damit liegt der Ort des Bremsbeginns fest.

Für den Fahrer A ist eine Reaktionsdauer von 1 Sekunde berücksichtigt worden. Somit lässt sich auch die Position des Fahrzeuges A zum Zeitpunkt der Reaktion bestimmen. Eine Geschwindigkeit von 68,8 km/h entspricht 19,1 m/s. Da die Reaktionsdauer gerade 1 Sekunde betragen soll, lag somit die Reaktion 19,1 m vor dem Bremsbeginn. Die Entfernung zur Kollisionsstelle ergibt sich aus der Strecke, die das Fahrzeug bremsend zurücklegte (15,1 m) und der Strecke, die das Fahrzeug während der Reaktionsdauer durchfuhr (19,1 m), in der Summe 34,2 m. Diese Position wurde auch im Weg-Zeit-Diagramm eingetragen.

Variation der Parameter

Variiert man die Parameter, wie Anfahrbeschleunigung, Lage der Signalposition und Reaktionsdauer, so ergeben sich naturgemäß **Bandbreiten** für die noch zur Verfügung stehende Bremsdauer und somit auch Bandbreiten für die so darstellbare Annäherungsgeschwindigkeit.

Genauerer Ergebnis bei nur 2 Parametern

Da bei der Berechnung der Annäherungsgeschwindigkeit auf der Basis einer Bremsspurlänge nur 2 Parameter einfließen (Kollisionsgeschwindigkeit und Verzögerung) ist das Ergebnis naturgemäß mit einer geringeren Toleranz behaftet. Somit ist es genauer, als eine Geschwindigkeitsbestimmung über die Weg-Zeit-Betrachtung bei der 5 Parameter einfließen (Kollisionsgeschwindigkeit, Verzögerung, Fahrbewegung des 2. Fahrzeuges, Signalposition des 2. Fahrzeuges, Länge der Reaktionsdauer).

III. Bedeutung für die Praxis

Vergleicht man die beiden Möglichkeiten, die Annäherungsgeschwindigkeit zu bestimmen, so gilt:

(1) Blockierspur vorhanden

Beweissicherer Geschwindigkeitsnachweis möglich

Bei der Berechnung über eine **Blockierspur** ist ein Nachweis einer Geschwindigkeit möglich. Es ist bspw. möglich, eine überhöhte Geschwindigkeit beweissicher darzustellen.

(2) Keine Blockierspur vorhanden

Alternativbetrachtung

Bei der Geschwindigkeitsrückrechnung **ohne Blockierspur** kann ebenfalls eine Annäherungsgeschwindigkeit aufgezeigt werden, allerdings unter der Prämisse, dass der Fahrzeugführer tatsächlich so reagierte, wie angenommen. Kommt man bspw. im Ergebnis zu einer überhöhten Annäherungsgeschwindigkeit, so ist diese jedoch nicht sicher nachweisbar, da alternativ die Möglichkeit besteht, dass der Fahrzeugführer stark verspätet reagierte. Letztlich kann der Techniker in einem derartigen Fall nur die Alternativbetrachtung bieten, entweder eine **stark verspätete Reaktion** oder eine **überhöhte Annäherungsgeschwindigkeit**.