

Der Vollbremsvorgang eines Motorrades

von Dipl.-Ing. Uwe Golder, Münster*

Gerät ein Fahrzeugführer in eine Gefahrensituation, versucht er durch Bremsen, Ausweichen oder durch eine überlagerte Brems-/Ausweichreaktion einen Unfall zu vermeiden. Hinsichtlich der Brems- und Fahrdynamik bestehen Unterschiede zwischen einem Zweispurfahrzeug (Pkw, Lkw) und einem Einspurfahrzeug (Motorrad).

Die folgenden Ausführungen erläutern die Besonderheiten, die es bei der Bewertung einer Vollbremsung eines Motorrades zu beachten gilt.

I. Problemdarstellung

Unterschiedliche Bremsanlagen bei Pkw und Motorrad

Der erste große Unterschied zwischen der Bremsanlage eines Pkw/Lkw und eines Motorrades besteht in deren Konstruktion. Bei einem Pkw werden über das Bremspedal alle vier Räder gleichzeitig abgebremst. Führt ein Pkw-Fahrer eine **Vollbremsung** durch, muss er hierfür nur mit maximaler Fußkraft das Bremspedal betätigen, um eine hohe Verzögerung zu erreichen. Sofern die Bremsanlage technisch in Ordnung ist und an allen vier Rädern gleiche Reibwertverhältnisse herrschen, besteht keine Gefahr, dass das Fahrzeug ins Schleudern gerät oder anderweitig instabil wird.

Komplexere Anforderungen an Motorradfahrer

An den Fahrer eines Motorrades werden in einer solchen Situation viel höhere Anforderungen gestellt, die auf die **Fahrdynamik** und die **Bremskonstruktion** eines solchen Fahrzeuges zurückzuführen sind. Um das Motorrad in einer Gefahrensituation in einem stabilen Fahrzustand zu halten, muss der Kradfahrer viel komplexere Regelvorgänge durchführen.

Getrennte Bremskreise

Auch bei einem Motorrad werden alle Räder abgebremst, wobei aber bei einem „normalen“ Motorrad Vorder- und Hinterrad über einen vollständig voneinander getrennten Bremskreis angesteuert werden. Über den seitlich rechts neben dem Motor angebrachten Fußbremshebel wird bei dem „normalen“ Motorrad allein nur das Hinterrad abgebremst. Die Vorderradbremse wird hingegen getrennt davon über den Handbremshebel betätigt, der auf der rechten Lenkerseite montiert ist.

Bild 1: Bremsanordnung



Fußbremshebel (Hinterradbremse)



Handbremshebel (Vorderradbremse)

Hinterrad-/Vorderradbremse

Um eine optimale Bremsverzögerung zu erreichen, sind zwei verschiedene Handlungen erforderlich. Der Fahrer muss mit dem rechten Fuß die Hinterradbremse und mit der rechten Hand die Vorderradbremse betätigen. An dieser Stelle setzt jetzt die komplexe Regelanforderung an den Fahrer ein. Die Fußbremse (= Hinterradbremse) kann mit maximaler Kraft betätigt werden. Hierdurch gelang das **Hinterrad** zwar in den Blockierzustand, was aber bei einer Geradeausbremsung hinsichtlich der Fahrstabilität unkritisch ist.

Blockierzustand

Bei einer **Vorderradbremse** ist der Blockierzustand aber tunlichst zu vermeiden. Wird dieser Zustand erreicht, gehen die sog. Kreiselkräfte des Vorderrades verloren, die dafür sorgen, dass ein Zweirad überhaupt stabil geradeaus fahren kann und nicht umstürzt. Ein blockiertes Vorderrad führt unweigerlich zur Instabilität und zum Sturz, wenn dieser Zustand nicht sofort aufgehoben wird.

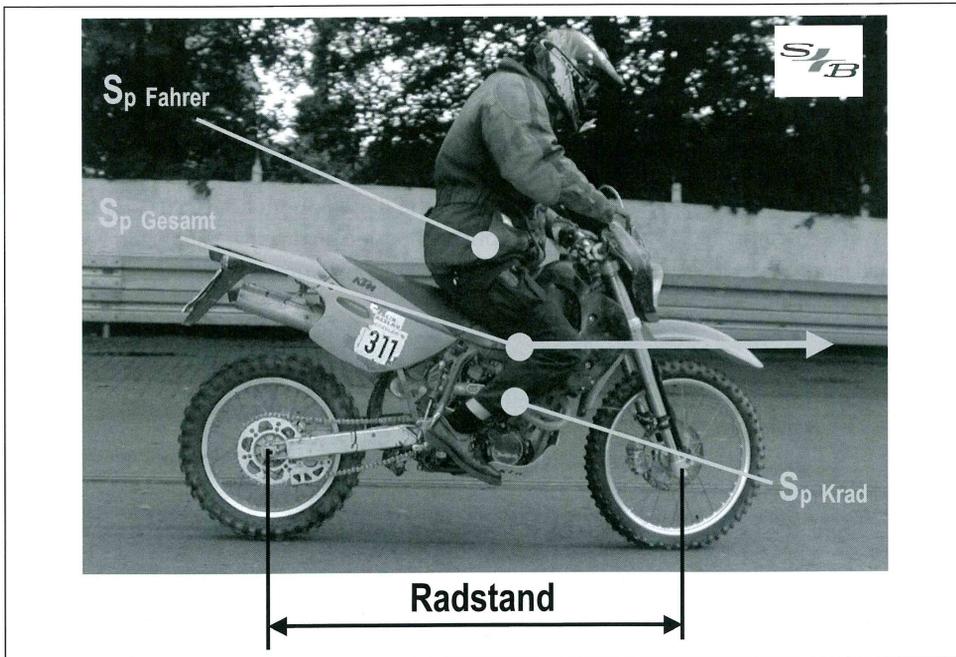
* Der Autor ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, Schimmelpfennig + Becke, Münster.

Der Kradfahrer darf die Vorderradbremse daher nur dosiert betätigen und muss sich langsam an den **idealen Druckpunkt** heranbremsen. Erschwert wird dieser Regelvorgang durch die sich dabei ändernde Radlast.

Bei einem Motorrad liegt ein ungünstiges Verhältnis zwischen **Radstand** und **Schwerpunkthöhe** vor.

Dosierte Betätigung der Vorderradbremse

Bild 2:
Schwerpunktslage

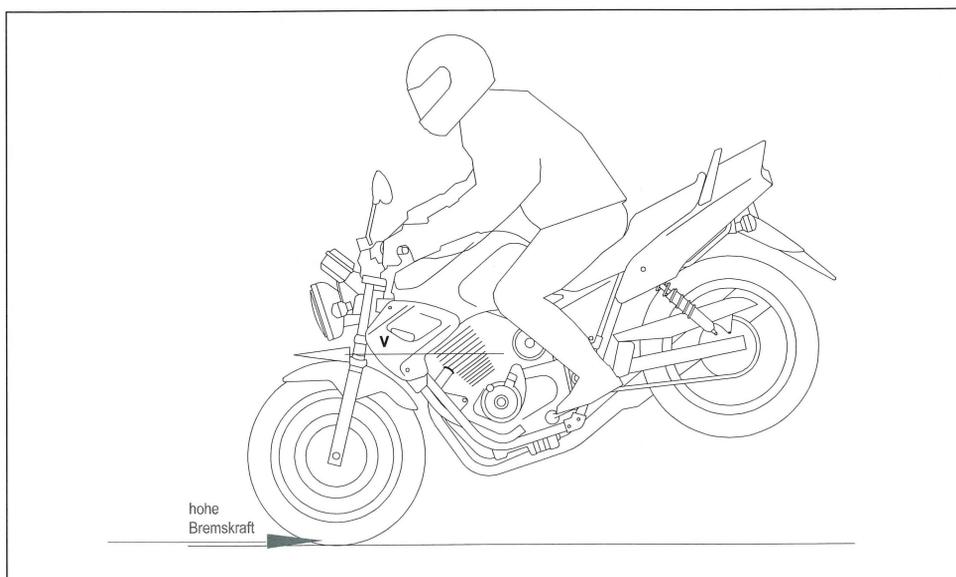


Ein kurzer Radstand mit einer vergleichsweise relativ hohen Schwerpunktslage führt bei einem Bremsvorgang zu einer großen Radlastverlagerung nach vorne. Bei einem Pkw ist diese weniger stark ausgeprägt, da der Radstand größer ist. Bei einem Motorrad beträgt der Radstand ca. 1,5 m, bei einem Mittelklasse-Pkw ca. 2,7 m. Der **Gesamtschwerpunkt** beim Motorrad (inkl. Fahrer) liegt in einer Höhe von ca. 50 – 60 cm und damit ungefähr in gleicher Höhe, wie bei einem Pkw. **Die dynamische Radlastverlagerung** führt dazu, dass mit zunehmender Bremsverzögerung das Vorderrad immer mehr belastet und das Hinterrad gleichzeitig entlastet wird.

Radlastverlagerung nach vorne

Bei zu stark betätigter Vorderradbremse besteht bei einem Motorrad, neben dem Erreichen des Blockierzustandes, die weitere Gefahr, dass sich das Motorrad aufstellen (Bild 3) und u.U. auch überschlagen kann. Ein Pkw-Fahrer braucht sich über solche Gefahren keine Gedanken zu machen.

Bild 3:
Aufstellendes Motorrad



Antiblockier- und Integralbremsysteme

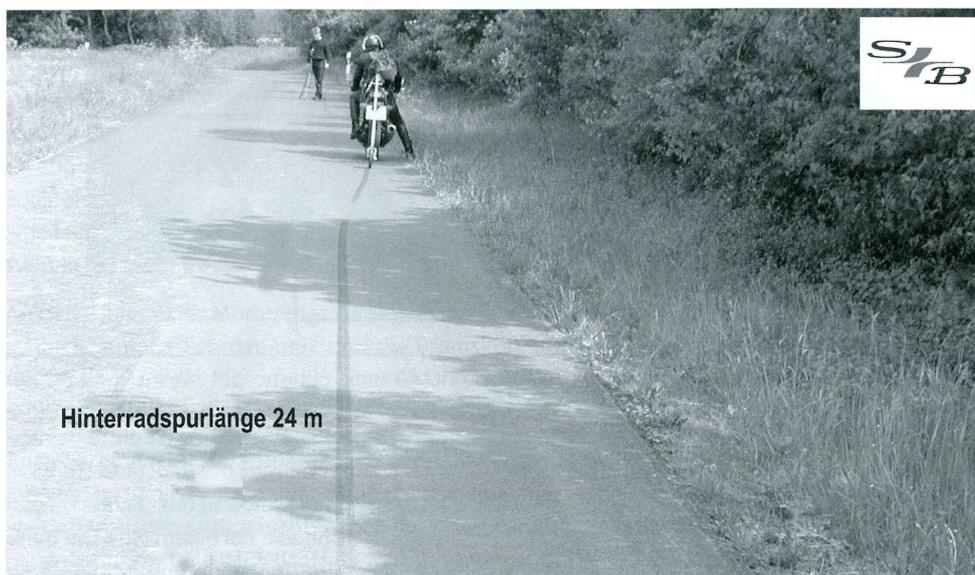
Gerade für einen Motorradfahrer bietet ein Antiblockiersystem eine große Hilfe in einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation, da dieses dem Fahrer das ideale Regelverhalten abnimmt. Verschiedene Hersteller bieten heutzutage auch sog. Integralbremsysteme an, wobei zwischen dem **teilintegralen** und dem **vollintegralen** System zu unterscheiden ist.

Beim teilintegralen System wirkt der Fußbremshebel weiterhin allein nur auf das Hinterrad, während über den Handbremshebel Vorder- und Hinterrad gleichzeitig abgebremst werden. Im Unterschied dazu verzögert das Vollintegralsystem immer gemeinsam Vorder- und Hinterrad, ganz gleich, ob mit dem Fuß- oder Handbremshebel das Krad abgebremst wird.

II. Hinterradbremung

Entstand im Rahmen eines Unfallgeschehens eine lange, weitestgehend geradlinige Blockierspur und blieb das Motorrad in aufrechter Position, so konnte diese Spur nur durch das Hinterrad gezeichnet worden sein. In Bild 4 ist eine solche typische Blockierspur in einer Länge von 24 m zu sehen, die bei einer alleinigen Abbremsung des Hinterrades erzielt wurde.

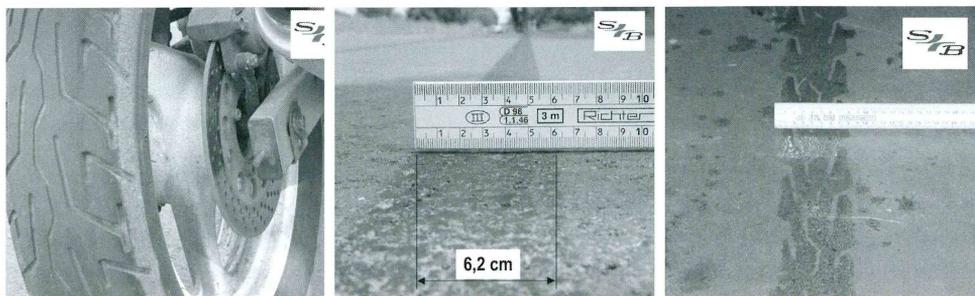
Bild 4:
Hinterradblockierspur



Unterschiedliche Breite der Reifenspür beim Bremsvorgang

Im normalen Fahrbetrieb wies der Reifen des benutzten Versuchsmotorrades eine Aufstandsweite von 8 cm auf. Durch die bei einer Abbremsung eingetretene Radlastverringerng am Hinterrad zeichnete der Reifen nur noch eine schmalere Spur, die bei diesem Versuch mit 6,2 cm ausgemessen werden konnte (Bild 5).

Bild 5:
Spurenbild



Reifengröße: 140/80 V 17

Reifenaufstandsweite 8 cm

Bremsverzögerung durch Sozios bei Hinterradbremung

Ein Straßenmotorrad, besetzt nur mit dem Fahrer, erreicht auf trockener Fahrbahn bei einer Hinterradblockierbremsung eine mittlere Vollbremsverzögerung von ca. 4 m/s^2 . Befindet sich auf einem Motorrad zusätzlich ein Sozius, so liegt eine **zusätzliche Belastung des Hinterrades** vor. Dies lässt vermuten, dass die erreichbare Verzögerung bei einer Hinterradbremung gegenüber dem Solobetrieb ansteigt. Durchgeführte Versuche zeigten, dass dies aber nicht unbedingt der Fall sein muss. Dadurch, dass eine zweite Person auf dem Motorrad sitzt, wird – gegenüber dem Solobetrieb – der **Gesamtschwerpunkt des Motorrades** angehoben. Diese ungünstige Veränderung führt dazu, dass

die Radlastverlagerung nach vorne zunimmt. Je nachdem, wie intensiv sich der Sozius am Fahrer festklammert und mit diesem eine Bewegung nach vorne macht, wurde bei den Versuchen eine **Vollbremsverzögerung** festgestellt, die auf gleichem Niveau lag, wie im Solobetrieb oder auch bis zu ca. $0,5 \text{ m/s}^2$ darüber.

Der Verzögerungsverlauf bei einer Motorradblockierbremsung mit dem Hinterrad ähnelt demjenigen einer Pkw-Vollbremsung. Nachdem die Bremsschwellphase (Zeitdauer für den Verzögerungsanstieg vom Bremsbeginn bis zum Maximalwert) abgeschlossen ist, bleibt bis zum Ende der Bremsung die Verzögerung auf einem nahezu konstanten Niveau. Bild 6 zeigt diesen **Verzögerungsverlauf** für eine Motorradhinterradblockierbremsung und eine Pkw-Vollbremsung, die auf der gleichen Fahrbahn aufgezeichnet wurden.

Ähnlichkeiten zur
Pkw-Vollbremsung

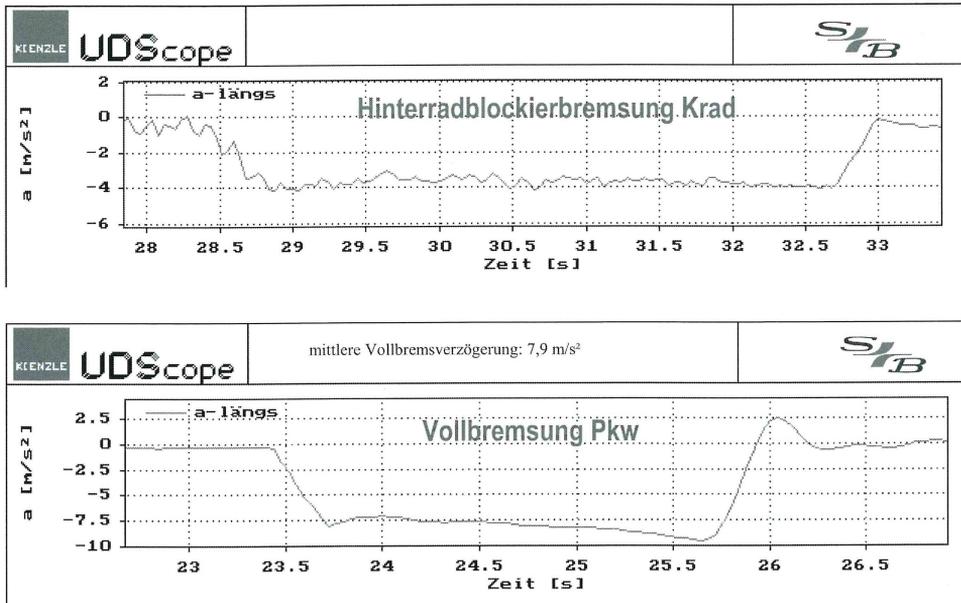


Bild 6:
Verzögerungsverlauf

Nicht nur bei der erreichten Höhe der Verzögerung bestand bei diesen beiden Versuchen ein Unterschied zwischen Motorrad und Pkw, sondern auch in der Länge der Bremsschwellphase. Beim Pkw fiel diese **Bremsschwellphase** deutlich kürzer aus. Der Kradfahrer traute sich nicht, sofort voll den Fußbremshebel zu betätigen und das Hinterrad in den Blockierzustand zu bringen.

III. Vorder- und Hinterradbremung

Die vorherigen Ausführungen zeigten, dass ein Motorrad allein mit einer **Hinterradblockierbremsung** nur ca. 50 % der Pkw-Vollbremsverzögerung erreichen kann. Dies bedeutet, dass sich der Bremsweg des Motorrades gegenüber dem des Pkw verdoppelt. Bremsst ein Pkw aus 70 km/h, kommt er nach 23,6 m zum Stillstand (Verzögerung $a = 8 \text{ m/s}^2$). Bei einer alleinigen Hinterradblockierbremsung ($a = 4 \text{ m/s}^2$) fährt das Motorrad an dieser Stelle noch mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h. Es käme erst nach weiteren 23,6 m zum Stehen.

Doppelter Bremsweg des
Motorrads im Vergleich zum
Pkw bei Hinterradbremung

Um eine **optimale Verzögerung** zu erreichen, die auf dem Niveau einer Pkw-Vollbremsung liegt, bleibt einem Kradfahrer nichts anderes übrig, als zusätzlich die Vorderradbremse zu betätigen. Im täglichen Fahrbetrieb ist es auch die Bremse, die am intensivsten genutzt wird, da sie die effektivste Verzögerung bietet. Der Kradfahrer ist also gewohnt, die Vorderradbremse dosiert und kontrolliert einzusetzen.

Annähernd gleicher
Bremsweg bei zusätzlicher
Vorderradbremung

Liegt eine **Blockierspurzeichnung des Hinterrades** vor, wäre es falsch, für den gesamten Bremsvorgang davon auszugehen, dass das Krad nur mit dem Hinterrad abgebremst wurde und die Vorderradbremse, deren Handhabung der Kradfahrer im täglichen Straßenverkehr dauernd ausübt, außer Funktion blieb.

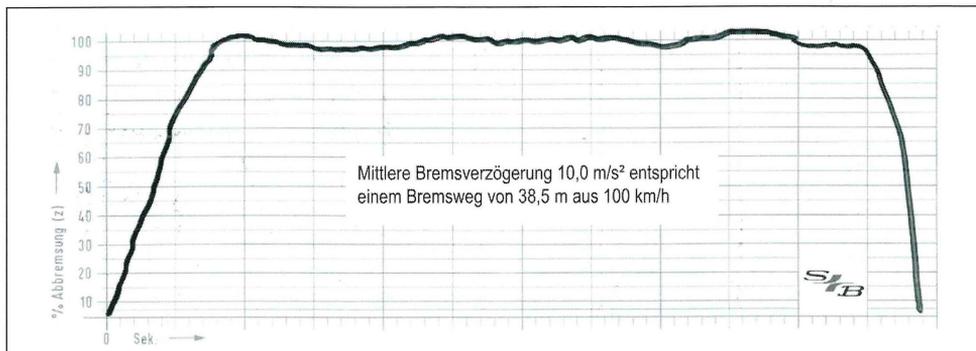
Es stellt sich für den Sachverständigen die Frage, in welcher Intensität der Fahrer in der Gefahrensituation die Vorderradbremse mit betätigte. Als Maßstab dafür dürfen sicherlich **nicht die Verzögerungswerte aus Testberichten in Motorradzeitschriften herangezogen** werden. Dies sind ideal

Maßstab für die Intensität der
Vorderradbremung

durchgeführte Bremsvorgänge von äußerst erfahrenen Fahrern, die berufsbedingt solche Vollbremsungen in großer Anzahl vornehmen. Der Normalfahrer macht dies nicht, weder als Krad- noch als Pkw-Fahrer.

Bild 7 zeigt den prinzipiellen Verzögerungsverlauf einer Motorradvollbremsung, bei der Vorder- und Hinterradbremse optimal eingesetzt wurden. In Motorradtestzeitschriften werden bei einer solchen idealen Vollbremsung aus 100 km/h mittlere Bremsverzögerungen von ca. 10 m/s^2 erreicht.

Bild 7:
Ideale Vollbremsung
Motorrad

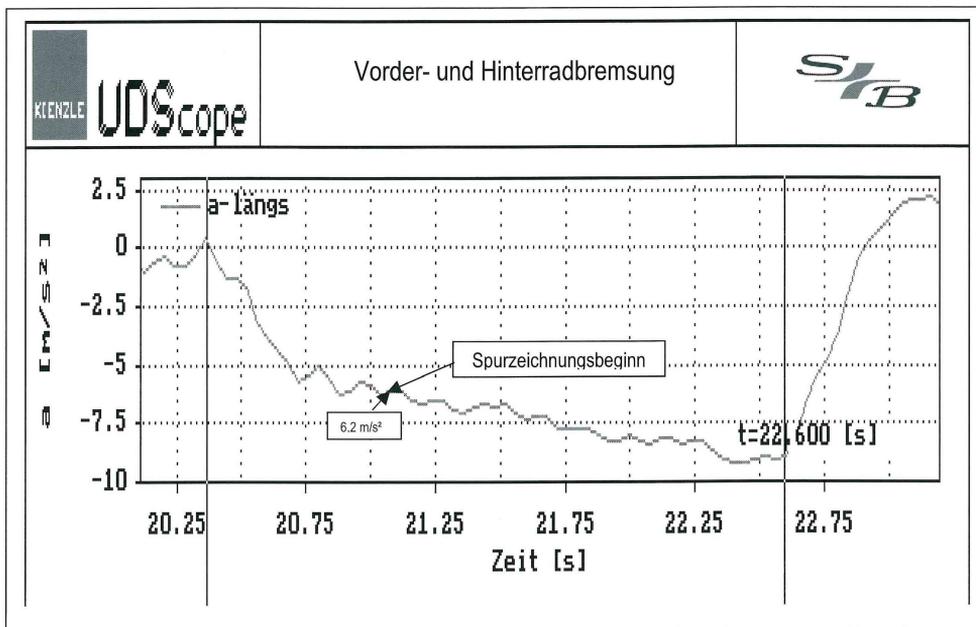


Verzögerungsverlauf der
Vollbremsung

Der Verzögerungsverlauf einer **idealen Vollbremsung** entspricht dem in Bild 6 gezeigten Verzögerungsverlauf einer Pkw-Vollbremsung. Der Normalfahrer ist kaum in der Lage über die gesamte Bremsphase diese optimale Vollbremsverzögerung zu erreichen.

Im Bild 8 ist der Verzögerungsverlauf einer **Vollbremsung** eines erfahrenen Normalfahrers aus einem Bremsversuch zu sehen, bei dem die Aufgabe gestellt wurde, das Motorrad schnellstmöglich mit Vorder- und Hinterradbremse bis zum Stillstand abzubremsen.

Bild 8:
Aufgezeichneter
Verzögerungsverlauf
bei Vollbremsung



Verzögerung steigt mit ab-
nehmender Geschwindigkeit

Man sieht, dass die Verzögerung mit abnehmender Geschwindigkeit stetig ansteigt. Mit **langsamer werdender Geschwindigkeit** traut sich der Kradfahrer immer mehr, das Vorderrad bis **nahe an die Blockiergrenze abzubremsen**. Eine momentane Verzögerung oberhalb von 9 m/s^2 wurde erst kurz vor dem Stillstand erreicht. Die mittlere Verzögerung für den gesamten Bremsvorgang vom Bremsbeginn bis zum Stillstand lag bei diesem Versuch bei $6,5 \text{ m/s}^2$.

Überlagerte Betätigung
beider Bremsen

Anhand dieses Verzögerungsverlaufes wird ein weiterer zu beachtender Detailpunkt bei einer Motorradvollbremsung deutlich. Bei den durchgeführten Versuchen wurde auch das entstandene **Spurenbild genau vermessen**. Bei dem vorliegenden Versuch lag die Situation vor, dass der Blockierzustand des Hinterrades und somit die Spurzeichnung zu einem Zeitpunkt einsetzte, als die Ge-

samtschwerpunktsverzögerung des Motorrads $6,2 \text{ m/s}^2$ betrug. Wird ein Kradfahrer zu einer Blockierbremsung veranlasst, so ist auf keinen Fall zwingend davon auszugehen, dass zunächst nur das Hinterrad bis zur Blockiergrenze abgebremst und anschließend erst dosiert die Vorderradbremse eingesetzt wird. Werden beide Bremsen überlagert betätigt, so liegt zu dem Zeitpunkt, wenn das Hinterrad den Blockierzustand erreicht, eine **höhere Gesamtverzögerung** des Motorrads vor, als dies aus einer allein betätigten Hinterradbremmung erreicht werden kann.

Nicht außer Acht gelassen werden darf bei der **Rekonstruktion eines Motorradunfalls** die Phase vom Bremsbeginn bis zum Spurzeichnungsbeginn. Bei einer Pkw-Vollbremsung beträgt diese im Mittel ca. $0,1 - 0,2 \text{ s}$. Bei einer Motorradbremsung kann diese Bremsschwellphase im Idealfall auch nach einer Zeitdauer von $0,2 \text{ s}$ abgeschlossen sein. Es ist aber auch denkbar, dass diese Schwellphase einige Zehntelsekunden länger andauert, sodass innerhalb der spurlosen Bremsphase auch u.U. ein deutlicher Geschwindigkeitsabbau vorgelegen haben kann. Für die Analyse eines Unfalls hat diese mögliche verlängerte Bremsschwellphase eines Motorrads nicht nur Auswirkungen auf die zu **berechnende Ausgangsgeschwindigkeit des Motorrads**, sondern auch auf den zu erarbeitenden **Reaktionspunkt des Kradfahrers**. Eine längere Bremsschwellphase, die sich durch keinerlei Spurzeichnung anzeigt, verlagert den Reaktionspunkt des Kradfahrers sowohl zeitlich als auch räumlich vor den Kollisionszeitpunkt.

Rekonstruiert man einen Motorradunfall mit einer vorhandenen Blockierspur, muss im Rahmen der Weg-Zeit-Analyse geklärt werden, ob eine **rechtzeitige Reaktion des Kradfahrers** vorlag, wenn als Grundlage für die Ermittlung des Reaktionspunktes der vorhandene Spurbeginn zu Grunde gelegt wird. Ist dies nicht der Fall, besteht die Möglichkeit, dass der Kradfahrer entweder verspätet reagierte oder bei einer rechtzeitigen Reaktion vor dem Spurbeginn schon spurlos abbremste, weil eine längere Schwellphase vorlag. Die Vorgehensweise für eine solche Rekonstruktion ist bei BECKE VRR 2005, 20 beschrieben.

Die Hinterradblockierspur eines Motorrads stellt sich optisch bei einer kombinierten Vorder- und Hinterradbremmung anders dar, als wenn nur das Hinterrad allein abgebremst wird. Bild 9 zeigt zwei Hinterradblockierspuren des Motorrads, das bereits in Bild 5 vorgestellt wurde. Die rechte Spur entstand aus einer alleinigen Hinterradblockierbremsung, zu der das Verzögerungsdiagramm im oberen Teil in Bild 6 gehört.

Phase vom Bremsbeginn bis Spurzeichnungsbeginn beachten!

Unfallrekonstruktion anhand der Blockierspur

Unterschiedliche Hinterradblockierspuren

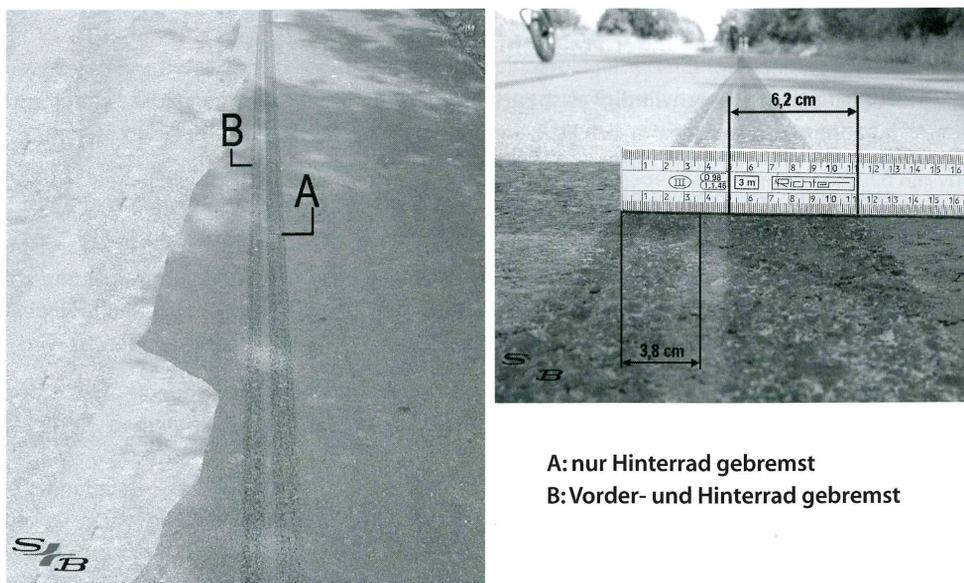


Bild 9:
Spurenvergleich

A: nur Hinterrad gebremst
B: Vorder- und Hinterrad gebremst

Die linke Spur ist bei dem Bremsvorgang mit dem Verzögerungsdiagramm in Bild 8 entstanden, bei dem Vorder- und Hinterrad gleichzeitig abgebremst wurden. Aufgrund der dabei erfolgten stärkeren Entlastung des Hinterrades verringerte sich die Reifenaufstandsfläche mit dem Ergebnis, dass ein schmaleres Spurenbild entstand. Bei der alleinigen Hinterradblockierbremsung lag eine Spurzeichnungsbreite von $6,2 \text{ cm}$ vor, während bei der überlagerten Vorderradbremse das Hinterrad nur noch eine $3,8 \text{ cm}$ breite Spur zeichnete.

Im **Idealfall** könnte man aus der Breite der Blockierspur herleiten, wie stark die Vorderradbremse betätigt wurde. In der täglichen **Praxis** wird dies aber nur in seltenen Fällen möglich sein, weil im Allgemeinen kein solch detailliertes Bildmaterial über die Spurzeichnung vorliegt, um eine verlässliche Aussage treffen zu können.

IV. Kurvenbremsung

Verzögerungen im Verhältnis zur Geradeausbremsung

Schon die ideale Geradeausbremsung stellt hohe Anforderungen an den Kradfahrer. Diese werden nochmals gesteigert, wenn ein Kradfahrer beim Durchfahren einer Kurve in eine Gefahrensituation gerät.

Eine Kurvenfahrt ist immer mit einer vom Kradfahrer aufzubringenden **Schräglage** verbunden, die umso stärker wird, je höher bei einem bestimmten Kurvenradius die Geschwindigkeit ist. Bei einer Vollbremsung während einer Schräglage muss auch der Blockierzustand des Hinterrades vermieden werden, da ansonsten das Motorrad unter dem Kradfahrer wegrutschen würde.

Bei Geradeausfahrt greifen die **Bremskräfte** in **Reifenmitte** an. Mit zunehmender Schräglage verlagert sich der Reifenaufstandspunkt von der Reifenmitte zur **kurveninneren Reifenschulter**. In Verbindung mit dem dabei entstehenden Hebelarm werden bei einem Bremsvorgang kritische Lenkmomente am Vorderrad verursacht. Der Fahrer muss dies durch ein entsprechend aufzubringendes Gegenmoment kompensieren.

Mit Einleitung der Abbremsung beginnt das Motorrad sich aufzustellen und würde beim Befahren einer Rechtskurve, wenn der Fahrer nicht gegenlenkt, auf die kurvenäußere Fahrbahnseite in den Gegenverkehr fahren.

Allgemein kann zur Kurvenbremsung nur festgehalten werden, dass eine solche Gefahrenabwehrbremsung mit einer geringeren mittleren Verzögerung zu belegen ist als eine Geradeausbremsung. Je größer die beim Bremsbeginn eingehaltene Schräglage und somit Querb beschleunigung ist, desto geringer ist für einen beherrschbaren, kontrollierten Vollbremsvorgang die mittlere Verzögerung anzusetzen. Da der Einzelfall betrachtet werden muss, kann kein allgemein gültiger Verzögerungsbereich angegeben werden.

V. Arbeitshilfe



Checkliste: Bewertung einer Vollbremsung eines Motorrads

- Für eine **erste Geschwindigkeitsbeurteilung** eines Motorrads kann die **Spurlänge** herangezogen werden. Da sich i.d.R. am Ende der Blockierspur eine Kollision ereignete, kann aus der Spurlänge, die beim Spurbeginn eingehaltene Geschwindigkeit nur berechnet werden, wenn zuvor die Kollisionsgeschwindigkeit ermittelt wurde. Die Vorgehensweise hierzu ist bei BECKE VRR 2005, 20 ff., erläutert.
- Die erreichte mittlere Vollbremsverzögerung für die gesamte Spurzeichnung hängt von der **Fahrerfahrung des Kradfahrers** ab, da davon auszugehen ist, dass mit zunehmender Fahrerfahrung die Vorderradbremse in einer Gefahrensituation effektiver eingesetzt wird.
- Folgende Anhaltswerte können für eine erste Geschwindigkeitsanalyse für die Spurzeichnungsstrecke einer Geradeausbremsung auf trockener Fahrbahn angenommen werden:
 - Fahranfänger: $a = 5,0 - 7,0 \text{ m/s}^2$
 - routinierter Durchschnittsfahrer: $a = 6,5 - 8,5 \text{ m/s}^2$
 - erfahrener Sportfahrer: $a = 8,0 - 10,0 \text{ m/s}^2$
- Es sollte sich grds. eine **Weg-Zeit-Analyse** (s. dazu BECKE VRR 2005, 20 ff.) anschließen, um zu überprüfen, ob auch die **Möglichkeit einer höheren Annäherungsgeschwindigkeit** aufgrund einer zuvor erfolgten spurlosen Abbremsung besteht, was entscheidenden Einfluss auf die Vermeidbarkeitsbetrachtung ausüben kann.