Klaus Schmedding* Michael Weber**

Verzögerungswerte von Zweirädern

Zusammenfassung
Bei der Rekonstruktion von Zweiradunfällen besteht häufig die Schwierigkeit, das Verzögerungsniveau des Zweirades über eine existierende Brems-/Blockierspur zu ermitteln. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse umfangreicher Verzögerungsmessungen vorgestellt.

Summary
If a motocycle is involved in traffic accident it is difficult to find out its level of deceleration. In this paper the results for extenseve measurements of decelaration are presented.

1 Vorwort

Durch getrennte Bremsanlagen bei Zweirädern besteht bei der Rekonstruktion von Zweiradunfällen häufig die Schwierigkeit, den Geschwindigkeitsabbau des verzögernden Zweirades vor der Kollision zu bestimmen, da in den seltensten Fällen unterschieden werden kann, ob bzw. wann der Krad-Fahrer maximal, d.h. mit Vorder- und Hinterradbremse verzögerte. Allgemein kann zwischen den maximal erreichbaren Verzögerungswerten bei Betätigung der Hinterradbremse und Betätigung beider Bremsen unterschieden werden. Hier liegt die Bandbreite des Verzögerungsniveaus im Bereich von 3,5 bis über 10 m/s² (trockene Fahrbahn). Diese technischen Verzögerungsgrenzwerte sagen jedoch nichts darüber aus, wie in der Realität tatsächlich ein Bremsvorgang eines Zweiradfahrers aussieht. Um diese Wissenslücke zu schließen, unternahmen wir Bremsversuche mit Zweirädern auf trockener Fahrbahn.

2 Versuchsaufbau

Bei der Versuchsdurchführung wurden ca. 20 verschiedene Motorradtypen von ihren jeweiligen Besitzern verzögert. Als Meßeinrichtung diente ein Bremsverzögerungsschreiben (Motometergerät), das auf dem Gepäckträger bzw. oder auf dem Soziussitz der Sitzbank befestigt wurde. Bei der Versuchsdurchführung wurde eine Position des Motometergerätes im Heckbereich des Zweirades gewählt, um eine möglichst geringe dynamische Beeinflussung des Meßaufschriebes durch das Bremsnicken des Krades sicherzustellen. Ausgelöst wurde das Motometergerät über einen Drahtauslöser, der vom Zweiradfahrer kurz vor Einleiten der Bremsung selbst bedient wurde.

3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung wurden alle Zweiradfahrer angewiesen, aus einem Geschwindigkeitsbereich von ca. 50 bis 70 km/h max. Verzögerungen mit ihrem Zweirad zu erreichen. Pro Fahrzeugtyp wurden im Mittel zwei bis drei Versuche durchgeführt, wobei die Fahrzeugführer die Zweiräder gelegentlich auch wechselten.

Darüber hinaus wurden auch noch mit Gespannen Verzögerungswerte aufgenommen. Diese wurden aber gesondert von den einspurigen Zweirädern betrachtet.

*Dipl.-Phys. Klaus Schmedding;
**Dipl.-Ing. Michael Weber, Sachverständige im Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke, Münsterstraße 101, 4400 Münster-Wolbeck

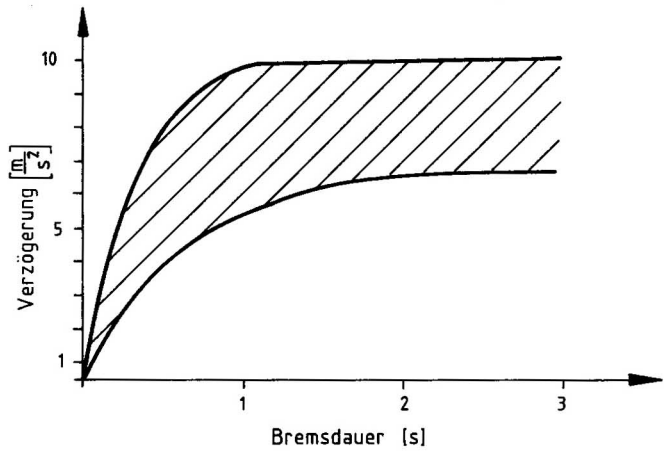


Bild 1 gemessene Bremsverzögerungen schwerer Motorräder, (42 Messungen)

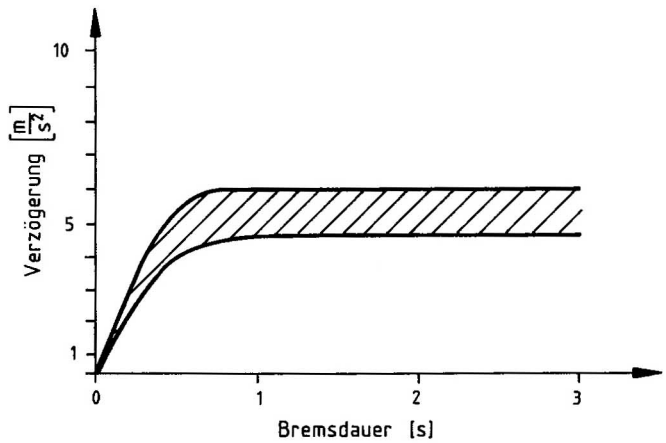


Bild 2 Bremsversuche mit Fahranfänger (4 Wochen Führerschein)

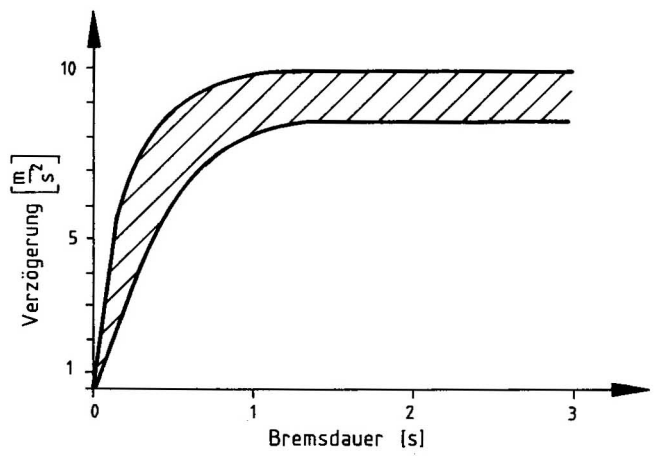


Bild 3 Bremsversuche mit Integralbremsanlagen

4 Versuchsauswertung

Es wurden insgesamt 50 Einzelbremsversuche ausgewertet, bei denen noch zusätzlich je nach Fahrzeugklasse und Erfahrung des Aufsassen unterschieden wurde.

Das **Bild 1** zeigt das gemessene Verzögerungsband schwerer Motorräder (> 500 ccm), wobei die Fahrerfahrung des Fahrzeuglenkers als durchschnittlich bis hoch zu bezeichnen ist. Man liest ab, daß die aufgenommene Kurve in einen Verzögerungsbereich von 6,5 bis knapp 10 m/s² ansteigt. Durchgeführte Versuche mit Fahranfängern (4 Wochen Führerschein) zeigten im Mittel deutlich geringere Verzögerungswerte. Diese lagen gegen Ende der Bremsphase zwischen 4,5 und 6 m/s² (**Bild 2**).

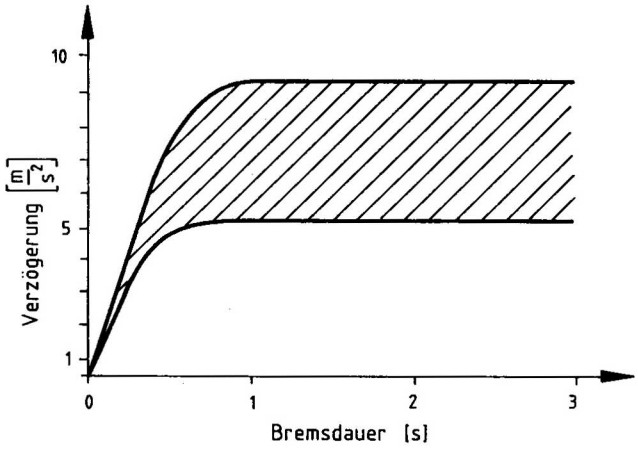


Bild 4 Bremsversuche mit Kleinkrafträdern (50 und 80 ccm)

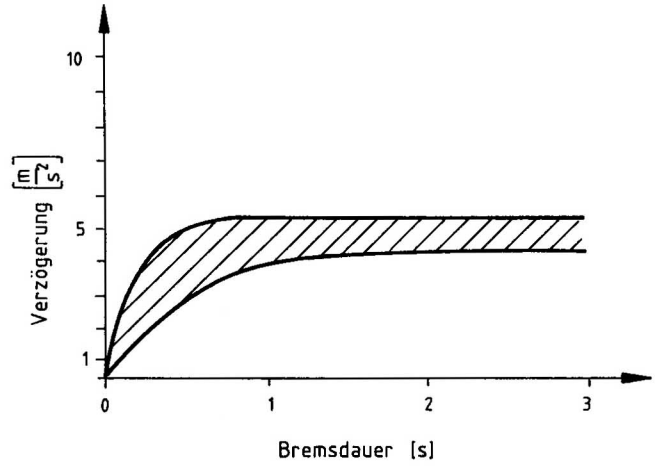


Bild 5 Bremsversuche mit Motorradgespannen

Ausgeklammert aus der Masse der gemessenen Verzögerungskurven wurden noch die Versuche für Zweiräder, die mit einem Integralbremssystem der Fa. Moto Guzzi ausgerüstet waren. Bei ihnen zeichnet sich eine recht einheitliche Verzögerungscharakteristik ab, da bei diesen Bremsanlagen die linke vordere Scheibenbremse mittels Fußbremspedal mitbetätigt wird. Dadurch, daß der Normalfahrer dazu neigt, das Fußbremspedal max. zu betätigen, wird das Fahrzeug am Vorderrad relativ stark verzögert und läßt damit nicht nur durchschnittlich höhere Werte zu, sondern führt auch zu gut reproduzierbaren Einzelversuchen (**Bild 3**).

Während der Versuchsdurchführung standen auch Leicht- und Kleinkrafträder zur Verfügung. Diese erreichten Verzögerungsspitzen von über 9 m/s². Versuche von Fahrern mit geringerem Fahrerfahrungsgrad realisierten niederigere Verzögerungswerte, die im unteren Bereich des Verzögerungsbandes des **Bildes 4** liegen.

Das gemessene Verzögerungsband einer völlig anderen Fahrzeugkategorie, dem Motorradgespann, zeigt das **Bild 5**. Die Seitenwagen dieser Motorradgespanne waren ungebremst, wodurch systembedingt nur recht geringe Verzögerungswerte erreichbar waren. Aus dem Diagramm liest man ab, daß das erreichbare Verzögerungsmaximum in einem engen Bereich um 4,5 m/s² liegt.

Die Verzögerungscharakteristik eines mit ABS ausgerüsteten Motorrades (BMW K 100) zeigt das **Bild 6**. Bei den Versuchen wurden die durch die schnell abfolgende »Stotterbremsung« verursachten Rüttelbewegungen des Krades vom Fahrer als sehr unangenehm empfunden; sie machen sich im Meßaufschrieb in Form von Regelsprüngen bemerkbar, deren ausgeprägte Amplituden aber auch zum Teil auf die Trägheit des Feder-/Massensystems des Motometergerätes zurückzuführen sind (Überschwinger). Insgesamt konnte mit diesem System aber bei schlechten Fahrbahnverhältnissen stärker verzögert werden als mit einem vergleichbaren Krad, das mit einer herkömmlichen Bremsanlage ausgerüstet war.

Bild 6 Bremsung mit ABS aus 40 km/h

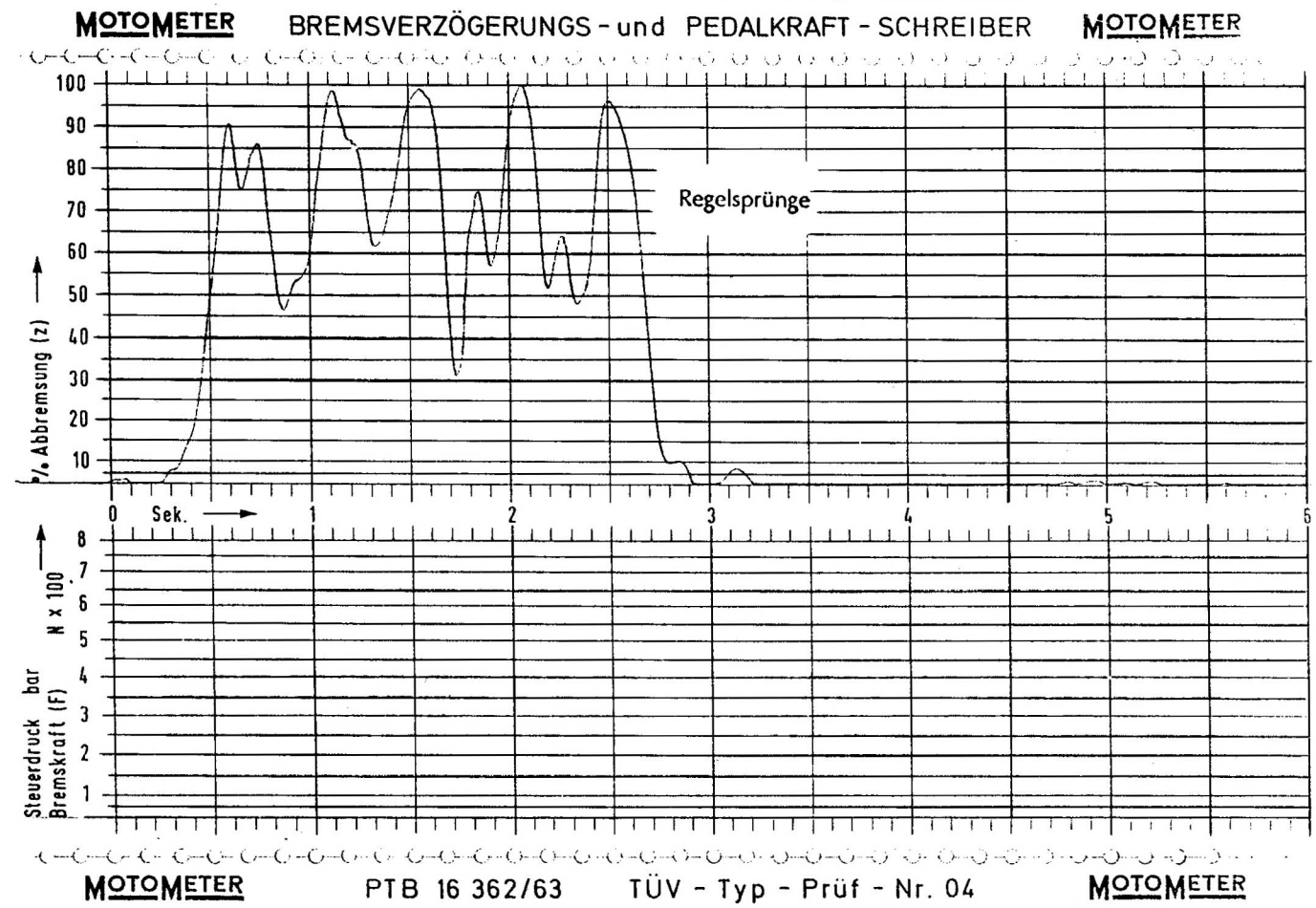
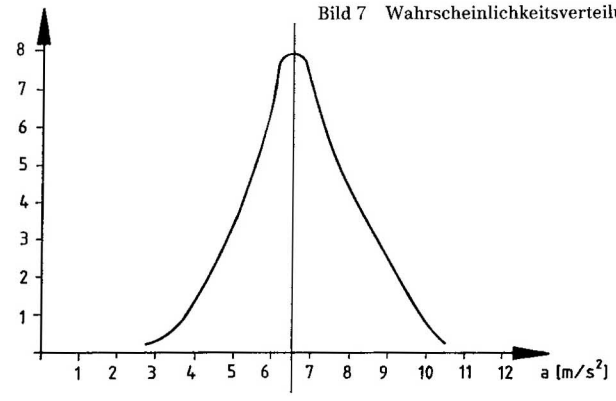


Bild 7 Wahrscheinlichkeitsverteilung



Wahrscheinlichkeitsdichte:

$$y(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\ 1{,}37} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{a - 6{,}75}{1{,}37}\right)^2\right)$$

Bremsausgangsgeschwindigkeit 50 ÷ 70 km/h

50 Versuche

Um die mittlere Bremsverzögerung zu berechnen, wurden bei einem Großteil der Versuche die Bremsausgangsgeschwindigkeiten mittels Lichtschranke gemessen. Über die aus den Diagrammen ablesbare Bremsdauer konnte das mittlere Bremsverzögerungsniveau gem. Gleichung

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

berechnet werden.

Insgesamt wurden 50 Einzelbremsversuche ausgewertet. Die in diesem Rahmen entstandene Wahrscheinlichkeitsverteilung zeigt das **Bild 7**. Interessant ist, daß diese Wahrscheinlichkeitsfunktion bei einer Bremsverzögerung von ca. 6,5 m/s² ihr Maximum besitzt. In höheren bzw. niedrigeren Verzögerungswerten nimmt die Wahrscheinlichkeitskurve relativ gleichmäßig ab. Die Wahrscheinlichkeitsdichte

$$y(x) = 0{,}29 \cdot \exp\left[-\tfrac{1}{2}\left(\frac{a - 6{,}75}{1{,}37}\right)^2\right]$$

gibt an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, den angegebenen Bremsverzögerungswert innerhalb dieser Meßreihe tatsächlich vorzufinden. Der einmalig gemessene mittlere Verzögerungswert von 3,5 m/s² war auf einen Defekt an der Bremsanlage des benutzten Krades zurückzuführen, so daß dieses eigentlich aus der Versuchsreihe auszuklammern ist. Man kommt letztlich mit Hilfe dieser Versuchsauswertung zu dem Ergebnis, daß für längere Bremsvorgänge, in denen der Zweiradaufsasse kontrolliert bremsen konnte, eine mittlere Verzögerung im Bereich um 6,5 m/s² angesetzt werden kann.

Letztlich hängt aber das mittlere erreichbare Verzögerungsniveau bei einer Zweiradbremsung im wesentlichen vom Anstiegsverhalten der Verzögerungskurve ab. Dieses wird beeinflußt von der jeweiligen Situation, in der sich der Krad-Fahrer befindet. Hier müssen mathematische Ansätze gefunden werden, mit denen man in der Lage ist, situationsabhängig das Verzögerungsverhalten von Zweiradfahrern zu erfassen. Auch muß in diese Überlegungen mit einbezogen werden, daß sich das Bremsverhalten von routinierten Motorradfahrern deutlich von dem des Fahranfängers unterscheidet. Zur Zeit arbeiten wir an einem mathematischen Ansatz, mit dem diese Problematik prinzipiell erfaßt werden kann. Hierauf aufbauend wird dann mit Hilfe von leicht zu handhabenden Netzdiagrammen eine genaue Erfassung des bei Notbremsverzögerungen zugrunde zu legenden Verzögerungsbereichs möglich sein. ■