

Unfallrekonstruktion

Angleichsbremmung auf Landstraßen

von Dipl.-Ing. Lars Hoffmeister, Düsseldorf*

Die Höhe der Verzögerung bei Vollbremsungen ist durch zahlreiche Untersuchungen ausgiebig bestimmt worden. Aber welche Verzögerung muss im Weg-Zeit-Diagramm angesetzt werden, wenn ein Fahrzeugführer beabsichtigt, mit einem Pkw von einer breiten Landstraße in einen schmalen Wirtschaftsweg abzubiegen? In einer umfangreichen Versuchsreihe des Ingenieurbüros Schimmelpfennig + Becke in Düsseldorf wurden im Rahmen eines Praxissemesters (T. Kuhne, Student an der FH Köln) die bei diesem Spezialfall üblichen Bremsverzögerungen ermittelt.

I. Einleitung

Vollbremsungsverzögerungen liegen auf trockener Fahrbahn in einem Bereich zwischen 7 und 9 m/s², auf nasser zwischen 6 und 7 m/s². Dieses Verzögerungsniveau wird bei der Rekonstruktion von Straßenverkehrsunfällen in der Precrash-Phase berücksichtigt, wenn ein Fahrzeugführer eine Abwehrhandlung durchführt. Handelt es sich jedoch um einen typischen Fahrvorgang und nicht um eine Notsituation, ist eine geringere Verzögerung anzusetzen. Dann bleibt eine Bandbreite zwischen 1 m/s² (entspricht der Motorbremse) und 6 m/s². Eine weitere Eingrenzung wurde nur in wenigen Untersuchungen vorgenommen und veröffentlicht. Das Hauptaugenmerk der meisten Veröffentlichungen

Höhe der Verzögerung?

* Der Autor ist von der IHK Düsseldorf öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, Schimmelpfennig + Becke, Düsseldorf.

liegt entweder auf der Beschreibung des Bremsvorganges, wobei lediglich technische Begrifflichkeiten und Zusammenhänge erläutert werden, oder auf der Betrachtung des maximal erzielbaren Verzögerungswertes auf verschiedenen Untergründen.

Besonders schwierig gestaltet sich die Bestimmung der Verzögerung bei einer hohen **Ausgangsgeschwindigkeit**, bspw. bei der Verknüpfung einer Fahrlinie eines überholenden Fahrzeuges mit der eines entgegenkommenden Pkw, der aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h abbremst, um in einen Wirtschaftsweg abzubiegen (Abb. 1).

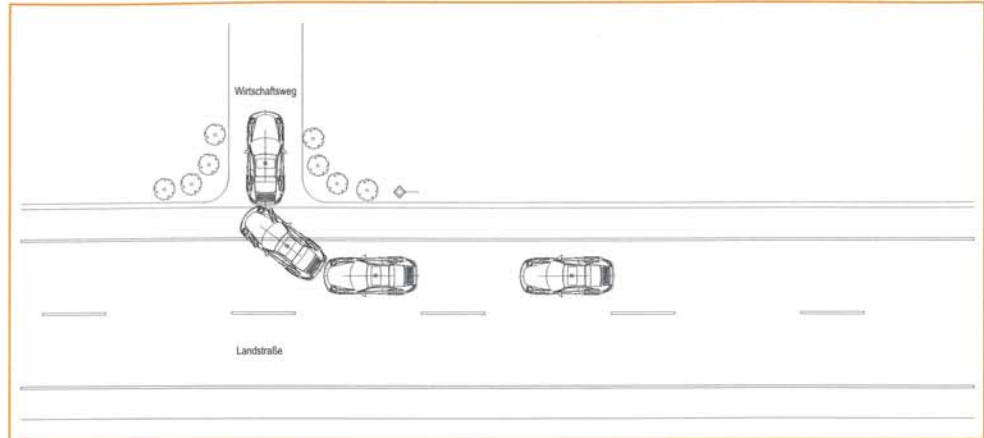


Abb. 1

Zu dieser Thematik existieren nahezu keine Untersuchungen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen einer Untersuchung das Bremsverhalten von Pkw-Fahrerinnen und -Fahrern bei Angleichsbremungen aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h auf Landstraßen vor einem Rechtsabbiegevorgang in einen schmalen Wirtschaftsweg untersucht.

II. Fahrversuche

Fahrerkollektiv

Für die Versuchsdurchführung stand ein Fahrerkollektiv von 16 Personen zur Verfügung. Die für die Auswertung der Versuche relevante **Einteilung** der **Probanden** erfolgte nach Geschlecht, Alter und der jeweiligen Fahrpraxis (Abb. 2).

Versuchsstrecken

Die Versuchsfahrten wurden auf Landstraßen im Raum Düsseldorf und Münster bei **Tageslicht** auf **trockener Fahrbahn** durchgeführt. Um ein möglichst unverfälschtes Versuchsergebnis zu erzielen, fuhr jeder Proband mit seinem eigenen, ihm vertrauten Pkw. Es sollte ausgeschlossen werden, dass die Testpersonen – verursacht durch ein unbekanntes Fahrzeug – ggf. zögerlicher fahren als gewohnt. Der Streckenverlauf wurde den Testpersonen vor der ersten Testfahrt bewusst nicht bekannt gegeben. Dennoch konnten einige Probanden den Streckenverlauf, deren Fahrtenauswertungen gesondert betrachtet wurden. Jeder Proband fuhr die Teststrecke dreimal.

Bei LUDMANN/WELKES Automobiltechnische Zeitschrift 101, 1999 (#5), stellten die Autoren fest: „Der **Fahrer passt** in der Regel sein Verhalten in den jeweiligen Situationen zusätzlich dem **Verkehrszustand an**.“ Somit ist davon auszugehen, dass eine „normale“ Bremsung auf freier Strecke anders verlaufen wird als bei einer Kolonnenfahrt mit geringem Abstand zum Vordermann. Aufgrund einer Sichtbehinderung durch vorausfahrende Fahrzeuge wird ggf. die Abbiegestelle zu spät erkannt. Als Resultat muss dann stärker gebremst werden als eigentlich beabsichtigt. Alle Versuchsfahrten wurden bei freier Strecke durchgeführt und durch den regulären Straßenverkehr nicht beeinflusst. Jeder Proband konnte ungestört und unbeeinflusst von anderen Verkehrsteilnehmern die Angleichsbremung und den anschließenden Abbiegevorgang durchführen.

Fahrer	Fahrzeug	Schaltung	Geschlecht	Alter	Praxis
SN	Seat Ibiza	Automatik	w	23	wenig
TK	VW Polo 6N	Hand	m	29	mittel
AK	VW Polo 6N	Hand	m	24	wenig

MG	VW Passat	Hand	m	25	mittel
WN	VW Passat	Hand	m	27	mittel
BB	Fiat Seicento	Hand	w	28	mittel
MH	VW Golf II	Hand	m	35	mittel
LH	BMW E 46	Hand	m	32	mittel
FB	VW Passat	Hand	m	58	viel
KR	Audi 100	Hand	m	48	viel
JG	Citroen Xsara	Hand	w	41	mittel
UG	Audi Q7	Automatik	m	51	viel
DS	Mini Cooper	Hand	m	50	viel
RB	VW Passat	Hand	m	40	viel
CR	Renault Clio	Hand	w	35	mittel
JW	Opel Vectra Caravan	Hand	m	30	viel

Abb. 2

Auf den **Landstraßen** sollten die Fahrzeuge auf eine Geschwindigkeit von 100 km/h beschleunigt und nach anschließender konstanter Fahrt, nach rechts in einen schmalen Wirtschaftsweg abgebogen werden. Die Besonderheit lag darin, dass die Probanden den Wirtschaftsweg aufgrund der räumlichen Enge nicht schon aus weiter Entfernung erkennen konnten.

Die jeweils gefahrene Geschwindigkeit und die während des Bremsvorganges erzielte Längsverzögerung wurden mit Hilfe eines Dataloggers DL1 mit integriertem GPS der Firma Race-Technology Ltd. aufgezeichnet. Im DL1 ist ein 2-Achsen-Beschleunigungssensor verbaut, der Beschleunigungen bis maximal 2 g messen kann. Die Längs- und Querbeschleunigungen werden 100 x pro Sekunde (100 Hz) gespeichert. Der Datalogger wurde so in den Fahrzeugen eingebaut, dass der durch die Nickbewegung beim Bremsvorgang verursachte Fehler in der Verzögerungsaufzeichnung möglichst gering ausfiel. Der auftretende Kosinus-Fehler war somit vernachlässigbar klein.

Messgerät

III. Ergebnisse

Erstes **Ergebnis** der Untersuchung war, dass es ein typisches Diagramm für eine Angleichsbremung aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h nicht gibt.

Messaufschrieb

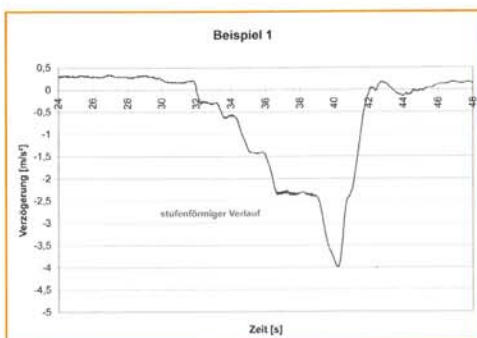


Abb. 3

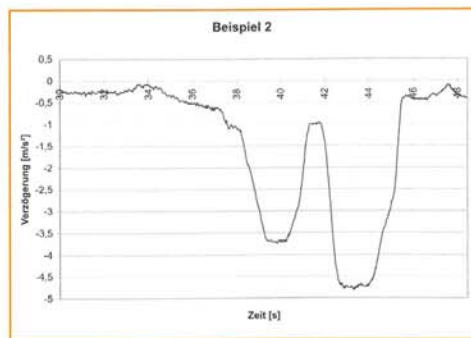


Abb. 4

Keiner der Testfahrer bremste exakt auf die gleiche Art und Weise wie ein anderer, stattdessen resultierte eine Vielzahl völlig **unterschiedlicher Bremsdiagramme**. Einige Probanden betätigten das Bremspedal in mehreren Schritten. Die maximale Bremswirkung wurde dann erst gegen Ende des Bremsvorganges erreicht. Die Abb. 3 zeigt einen solchen stufenförmigen Verlauf. Weitere Probanden bremsten den Pkw in zwei Intervallen ab, d.h., zwischenzeitlich wurde der Bremsdruck verringert. Dadurch entstanden auf dem Messschrieb zwei negative Maxima (Abb. 4). Aufgrund der unterschiedlichen Verläufe wurden die Graphen der Bremsverzögerung in dieser Versuchsreihe nicht näher untersucht.

In der Abb. 5 ist die Gesamtverteilung aller Messergebnisse zusammengefasst. Die niedrigste mittlere Verzögerung betrug 1,4 m/s², die höchste 4,5 m/s². Der **Median** aller Mes-

Gesamtverteilung

sungen lag bei $2,7 \text{ m/s}^2$ und war näherungsweise gleich dem **Mittelwert** (10 %-Perzentil = $1,9 \text{ m/s}^2$ und 90 %-Perzentil = $3,7 \text{ m/s}^2$).

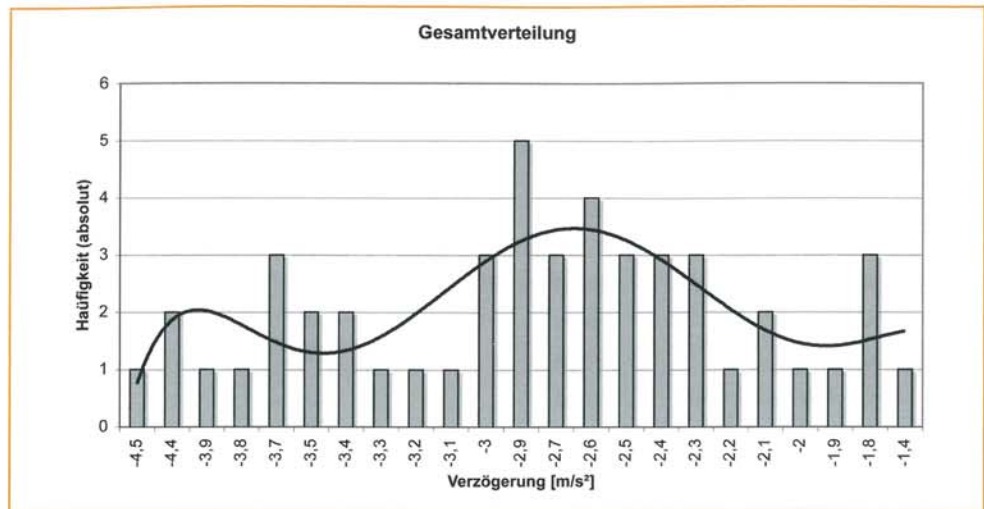


Abb. 5

Literaturvergleich

Bei KONIK/MÜLLER/PRESTL/TOELGE/LEFFLER Automobiltechnische Zeitschrift 101, 1999 (# 4) ist ein Bremsdiagramm abgedruckt, das u.a. den Graphen für eine typische Normalbremsung zeigt. Obwohl Angaben zu den Bremsausgangsgeschwindigkeiten fehlen, ergibt sich der Maximalwert für eine normale Abbremsung von $0,25 \text{ g}$ ($2,45 \text{ m/s}^2$).

Dieser Wert wurde von Dipl.-Ing. NICKEL, S + B, im Rahmen seiner Diplomarbeit Längs- und Querbeschleunigungen bei normaler Fahrt, 2001, prinzipiell bestätigt, der Median seiner Messungen lag bei $2,2 \text{ m/s}^2$. Weiterhin kam NICKEL zu dem Ergebnis, dass 90 % aller Messungen beim normalen Verzögern unter $3,3 \text{ m/s}^2$ liegen.

DR. BURCKHARDT gab in seiner Veröffentlichung VKU 1979, 94 ff., eine sog. „Reizschwelle“ für Bremsmanöver von ca. $3,0 \text{ m/s}^2$ an, auf die sich der Normalfahrer i.d.R. einstellt. Was über diesen Maximalwert hinausgeht, wird als unangenehm empfunden. Diese Aussage passt gut zu den erzielten Ergebnissen der durchgeführten Versuchsreihe. Zwar lagen die erreichten maximalen Verzögerungswerte um bis zu $1,5 \text{ m/s}^2$ höher, jedoch muss hierbei beachtet werden, dass die als „normal“ empfundene Bremsverzögerung mit zunehmender Annäherungsgeschwindigkeit steigt. Verzögerungen im Bereich von $3 - 5 \text{ m/s}^2$ bezeichnete BURCKHARDT als „schärfere“ Bremsung. Der Median der eigenen Messungen lag bei $2,7 \text{ m/s}^2$. Lediglich bei 21 % der Messfahrten wurde eine Bremsverzögerung oberhalb von $3,0 \text{ m/s}^2$ erzielt. 79 % der Messungen lagen unterhalb der von BURCKHARDT angegebenen Reizschwelle. Ausgeklammert sind bei dieser Betrachtung diejenigen Messfahrten, bei denen aufgrund von Unkenntnis der Örtlichkeit eine erhöhte Bremsverzögerung erzielt wurde.

Zusammengefasst ist im Vergleich zu den Literaturwerten bei diesem **Spezialfall**, bei dem ein Pkw aus hoher Geschwindigkeit abbremsst, um in einen schmalen Wirtschaftsweg abzubiegen, die Obergrenze der Bremsverzögerungen eines „normalen Fahrvorgangs“ zu berücksichtigen.

Erste Fahrt & weitere Fahrten

Neben der Gesamtverteilung wurden die Messergebnisse in weitere Rubriken unterteilt und analysiert. Zunächst ist ein Vergleich zwischen der ersten Messfahrt und den weiteren Messfahrten vorgenommen worden. Eine Gegenüberstellung der ersten Fahrt bei unbekanntem Streckenverlauf zu den weiteren Testfahrten zeigte, dass 60 % der Probanden bei unbekanntem Streckenverlauf deutlich höhere Verzögerungswerte erzielten als bei den weiteren Testfahrten. Dabei wurden Differenzen von bis zu $1,9 \text{ m/s}^2$ festgestellt (Abb. 6). War den Probanden der Streckenverlauf bekannt, traten lediglich Differenzen bis zu $0,5 \text{ m/s}^2$ zwischen der ersten und den weiteren Testfahrten auf. Besonders auffällig war das Bremsverhalten bei einem Probanden. Dieser wies lediglich eine Fahrpraxis von wenigen hundert Kilometern auf und ist somit als absoluter Fahranfänger zu bezeichnen. Bei den ersten beiden Versuchsfahrten wurden deutlich höhere Bremsver-

zögerungen erzielt. Die dritte Testfahrt lag mit einer mittleren Bremsverzögerung von $2,4 \text{ m/s}^2$ um ca. $1,0 \text{ m/s}^2$ niedriger als bei den beiden vorangegangenen Fahrten. Insgesamt betrug der Median bei unbekannter Strecke $3,4 \text{ m/s}^2$ und ist somit oberhalb des Medians der Gesamtverteilung ($2,7 \text{ m/s}^2$) anzusiedeln.

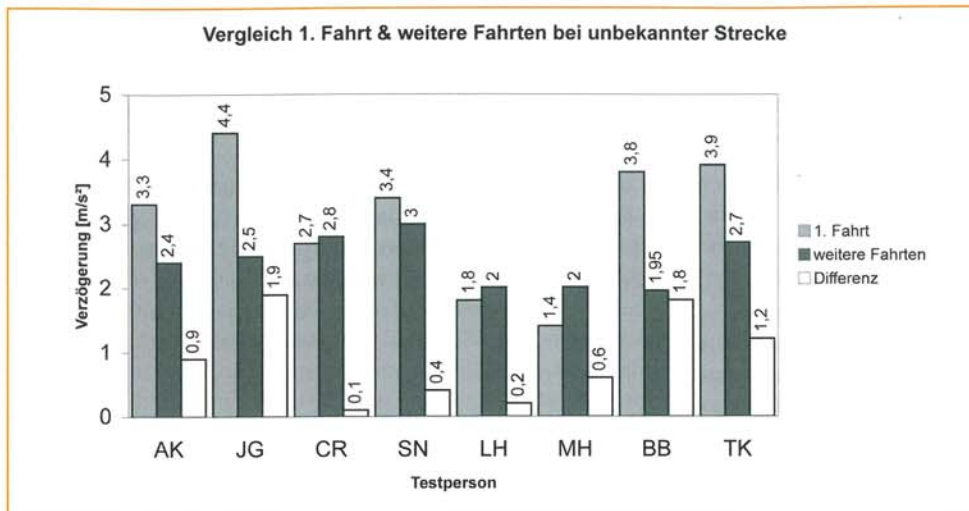


Abb. 6

Eine **Aufteilung** der Probanden nach **Geschlecht** brachte in der Untersuchung kein eindeutiges Ergebnis. Der Median der mittleren Bremsverzögerung aller Messungen bei Männern und Frauen lag lediglich $0,2 \text{ m/s}^2$ auseinander. Der Median der Messungen der männlichen Probanden betrug $2,7 \text{ m/s}^2$, der Median der weiblichen Probanden $2,9 \text{ m/s}^2$.

Geschlecht

Die **Einteilung** der Testfahrer in vier verschiedene **Altersgruppen** (Abb. 7) brachte in der Versuchsreihe keine auffälligen Erkenntnisse. Jedoch muss zwingend beachtet werden, dass 66 % der Probanden in der Altersgruppe 50 – 60 als sehr „sportliche“ Fahrer einzustufen sind. Diese erreichten Bremsverzögerungen von bis zu $4,5 \text{ m/s}^2$. Der Median in dieser Altersgruppe lag bei $3,5 \text{ m/s}^2$. Hieraus kann sicherlich nicht die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Fahrer dieser Altersgruppe stärker bremsen als jüngere. Dazu wären weitere Versuchsfahrten mit Personen dieser Altersgruppe notwendig.

Altersgruppen

Mit einem Median von $3,0 \text{ m/s}^2$ und $2,9 \text{ m/s}^2$ lagen in der Versuchsreihe die Altersgruppen 18 – 25 und 36 – 49 Jahre nahezu auf dem gleichen Niveau. Die Altersgruppe 26 – 35 Jahre erzielte mit $2,5 \text{ m/s}^2$ den niedrigsten Wert.

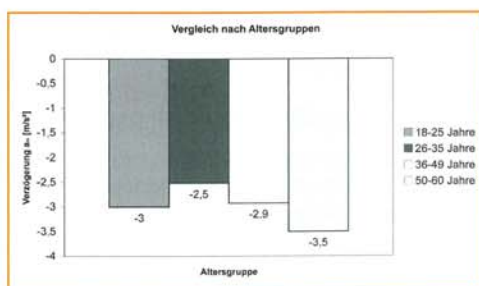


Abb. 7

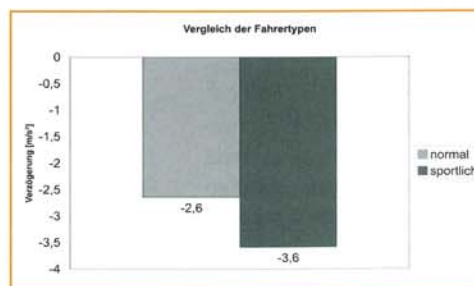


Abb. 8

Abschließend wurde eine Unterteilung des Fahrerkollektivs in „normal“ und „sportlich“ vorgenommen (Abb. 8). Die Verzögerung eines sportlichen Fahrers lag um $1,0 \text{ m/s}^2$ höher als beim normalen Fahrer.

Fahrverhalten

IV. Zusammenfassung

Im Rahmen einer Untersuchung wurden insgesamt 48 Fahrversuche mit Pkw auf öffentlichen Landstraßen im Raum Düsseldorf und Münster durchgeführt, um das typische Verhalten bei einer Angleichsbremung aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h zu erarbeiten. Bei dieser speziellen Untersuchung sollten die Probanden von einer **breiten**

Fazit

Landstraße nach rechts in einen schmalen Wirtschaftsweg abbiegen. Die erzielten, mittleren Verzögerungen lagen in einer Bandbreite von $1,4 - 4,5 \text{ m/s}^2$. Der Median aller durchgeführten Testfahrten betrug $2,7 \text{ m/s}^2$. Erstaunlich war die Analyse der einzelnen Bremsverhalten. Jeder Proband bremste sein Fahrzeug anders ab. Ein einheitlicher Verlauf konnte nicht festgestellt werden.

Der Einfluss der Ortskenntnis war enorm. So erzielten 60 % der Probanden bei unbekannter Strecke eine um bis zu $1,9 \text{ m/s}^2$ erhöhte Bremsverzögerung im Vergleich zu den darauf folgenden Versuchsfahrten. Der Median der Messungen bei unbekanntem Streckenverlauf lag bei $3,4 \text{ m/s}^2$.

Die Einteilung nach Geschlecht und Alter ist nicht sinnvoll. Hingegen ist zwischen einem „normalen“ und „sportlichen“ Fahrer zu unterscheiden, da eine Differenz von $1,0 \text{ m/s}^2$ aus der Untersuchung folgt. Für den „normalen“ Fahrer sollten somit Werte um $2,6 \text{ m/s}^2$ und für den „sportlichen“ um $3,6 \text{ m/s}^2$ angenommen werden.