

Bremsverzögerungen und Sturzeinleitung von Motorrädern

Von Uwe Golder*

Bremsen, Kippen und Rutschen sind Bewegungszustände, die bei nahezu jedem Motorradunfall vorkommen. In diesem Beitrag werden die Bremsphase und das Spurzeichnungsverhalten von Motorrädern beim typischen Unfallablauf näher untersucht. Mit vier Motorrädern durchgeführte Versuche sollten zeigen, welche Unterschiede im Spurzeichnungsbild des Vorder- und Hinterrades auftreten und welche Schlussfolgerungen daraus zu ziehen sind.

1 Einleitung

BILD 1 zeigt eine typische Verkehrsunfallskizze, bei der ein Kradfahrer auf einen von rechts nach links auf die Fahrbahn tretenden Fußgänger reagierte. Nach einer kurzen Blockierspurzeichnung liegt eine spurenlose Bewegungsstrecke vor, an die sich eine fast 20 m lange Rutschphase anschließt, innerhalb der das Motorrad den Fußgänger erfasste.

Durch die vorgenommene Vermessung der Polizei ist die Länge der Brems- und Rutschphase bekannt. Unbekannt ist aber die spurenlose Sturzphase vom Ende

der Bremsspur bis zum Beginn der Rutschspur, so dass man sich bei der Rekonstruktion dieses Unfallablaufes auch mit der Frage zu beschäftigen hat, welche Zeitdauer und daraus folgernd, welche Sturzstrecke in Ansatz gebracht werden könnte.

Dies ist nicht so sehr für die Höhe der zu berechnenden Geschwindigkeit des Motorrades von Interesse, sondern kann vielmehr für die Vermeidbarkeitsbetrachtung von Bedeutung sein.

Nachfolgend werden neuere und auch ältere Versuchsergebnisse zu diesen anfangs aufgeführten Themenbereichen vorgestellt.

2 Bremsphase des Motorrades

2.1 Einflussgrößen auf den Bremsvorgang

Zwei Dinge charakterisieren den Bremsvorgang eines Motorrades. Zum einen ist dies die während der Bremsphase erreichte maximale Verzögerung, zum anderen ist es das Anstiegsverhalten der Verzögerung. BILD 2 zeigt hierzu einen typischen aufgenommenen Verzögerungsverlauf eines Motorrades, bei dem erst nach einer relativ langen Schwellphase ein konstantes hohes Verzögerungsniveau erreicht wurde.

BILD 3 zeigt zusammengefasst die in [1] vorgestellten Versuchsergebnisse, bei denen die Zweiradfahrer die Aufgabe hatten, ihr Motorrad maximal zu verzögern. Mit jedem Motorrad wurden zwei bis drei Versuche durchgeführt, so dass auch ein gewisser Gewöhnungseffekt für das Aufbringen einer maximalen Verzögerung vorlag.

Ausgehend von diesen Versuchsergebnissen wurde der in [2] veröffentlichte Exponentialansatz entwickelt, der die beiden Einflussgrößen – erreichte Maximalverzögerung und Anstiegsverhalten – berücksichtigt.

Weitere Ergebnisse zu Bremsversuchen von Motorrädern finden sich in einer Diplomarbeit [3], die von unserem Büro betreut wurde. Das dortige Fahrerkollektiv hatte die Aufgabe, aus Geschwindigkeiten von 50 bis 60 km/h eine Vollbremsung zum Erzielen des kürzesten Bremsweges durchzuführen, wobei aber gleichzeitig die Fahrstabilität des Motorrades gewährleistet bleiben und es auf keinen Fall zu einem Sturz kommen sollte.

Die Fahrer fuhren fast ausnahmslos auf ihren eigenen Motorrädern und führten drei bis fünf Bremsungen durch. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigt BILD 4. Gegen-

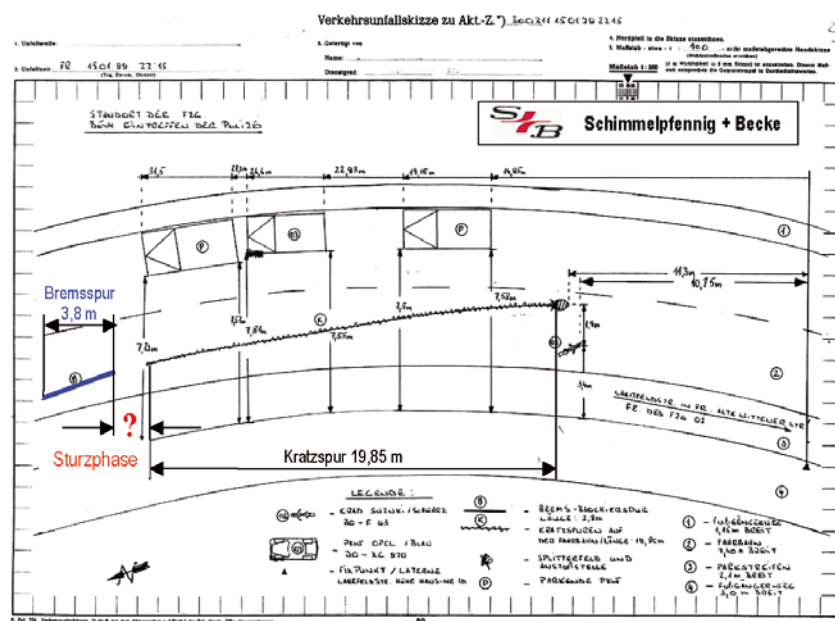


BILD 1: Beispiel einer Verkehrsunfallskizze

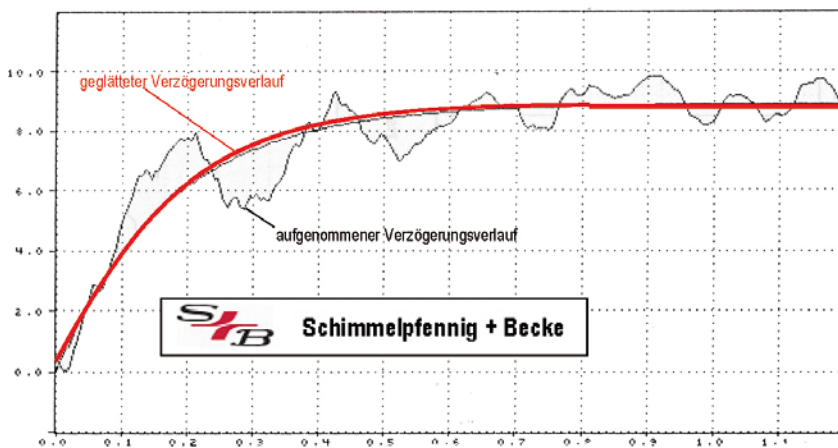


BILD 2: Verzögerungsverlauf einer Motorradbremsung

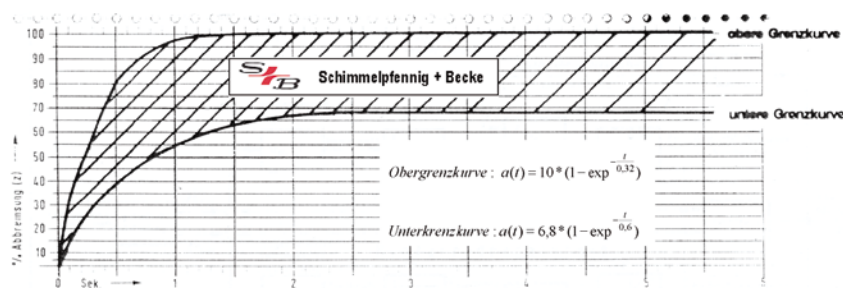


BILD 3: Gemessene Bremsverzögerung schwerer Motorräder > 500 cm³

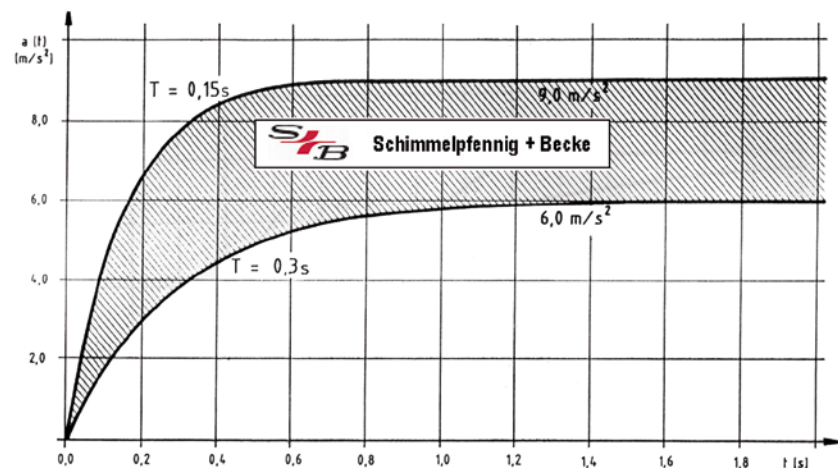


BILD 4: Bandbreite mittlerer Verzögerungen

über den in [1] veröffentlichten Ergebnissen liegt die erreichte Maximalverzögerung auf einem etwas geringeren Niveau. Dafür hat man aber ein insgesamt steileres Anstiegsverhalten des gesamten Fahrerkollektivs festgestellt.

2.2 Spurzeichnungsverhalten

Bei der Rekonstruktion eines Motorradunfalls steht man häufig vor der

Frage, ob die vorhandene Brems-/Blockierspur vom Vorder- oder Hinterrad stammt. Um überhaupt eine Vorstellung darüber zu erhalten, wie eine Vorder- oder Hinterradspur aussieht, wurden mit den vier in BILD 5 zu sehenden Motorrädern Bremsversuche durchgeführt.

Die vier Versuchspersonen verfügten alle über eine sehr hohe Fahrerfahrung und Fahrpraxis und

führten die Versuche auf den ihnen bekannten eigenen Motorrädern durch. Sie hatten die Aufgabe, bei den Versuchen eine maximale Verzögerung zu erreichen, wobei gleichzeitig im Rahmen des Bremsvorganges Vorder- oder Hinterrad und auch beide Räder zur Spurzeichnung gebracht werden sollten. Die Bremsvorgänge wurden mit einem Unfalldatenschreiber aufgenommen und ausgewertet. Die Bremsausgangsgeschwindigkeiten lagen im Bereich von 50 bis 60 km/h.

Um das Niveau der erreichten Verzögerung einzustufen, erfolgten auf gleicher Fahrbahn Blockierbremsungen mit zwei Pkw, für die mittlere Verzögerungen von rund 8 m/s² ausgewertet wurden, BILD 6. Die Auswertung erfolgte von Mitte der Schwellphase bis zum Stillstand.

2.2.1 Bremsversuche mit KTM

Bei einer reinen Hinterradblockierbremsung wurde mit dem speziellen grobstolligen Geländereifen das im BILD 7 zu sehende Spurenbild mit dem ausgewerteten Verzögerungsverlauf erzielt.

Das Spurenbild einer reinen Vorderradblockierspur zeigt das folgende BILD 8. Auf den ersten Metern der bezeichneten Spur „A“ lag eine schwache Bremsspurzeichnung mit einem deutlich erkennbaren Abdruck einzelner Profilblöcke vor. Diese Spurzeichnung geht im letzten Drittel in eine Blockierspur über.

Um die Fahrstabilität zu gewährleisten, musste der Fahrer den Blockierzustand aufheben, wodurch zunächst eine kurze spurlose Strecke vorlag, bevor gegen Ende des Bremsvorgangs die Spur „B“ gezeichnet wurde, die ein ähnliches Aussehen aufwies wie die zuvor gezeichnete Spur „A“.

BILD 9 vergleicht die Spurenbilder des KTM-Motorrades aus zwei verschiedenen Bremsvorgängen. Die Spur „A“ stammt aus der reinen Hinterradblockierung, während die mit „B“ bezeichneten Spuren bei einem Bremsvorgang erzielt wurden, bei dem Vorder- und Hinterradbremse eingesetzt und bis zur Spurzeichnung gebracht wurden. Bei der Spur



BILD 5: Versuchsmotorräder

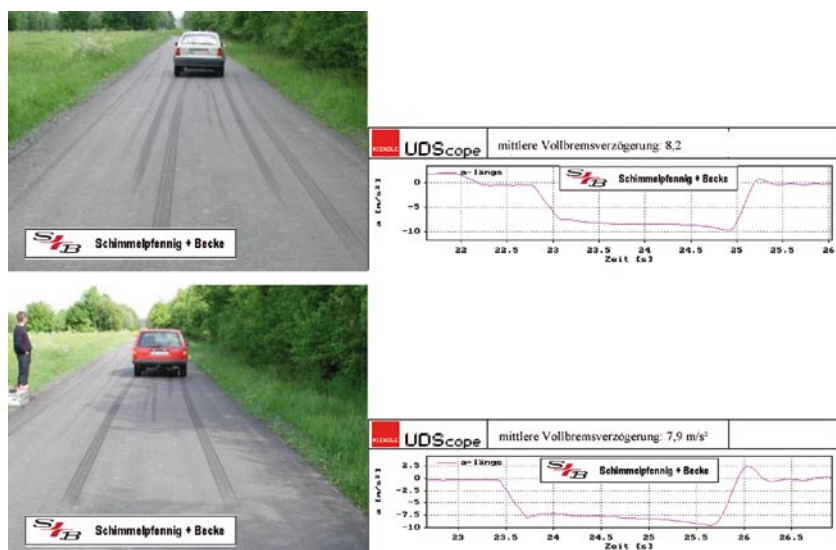


BILD 6: Vergleichsbremung mit Pkw


BILD 7: Hinterradspurzeichnung KTM aus $v = 68 \text{ km/h}$

„B1“ handelt es sich um die Spurzeichnung des blockierten Hinterrades, während die Spur „B2“ vom Vorderrad gezeichnet wurde. Auch

hier lag auf den ersten Metern zunächst eine Bremsspurzeichnung vor, die erst auf den letzten Metern in eine reine Blockierspur überging.

Vergleicht man die jeweiligen Hinterradspuren „A“ und „B1“ miteinander, erkennt man schon in diesen Bildern, dass die Spurbreite bei einer Hinterradspurzeichnung, bei der gleichzeitig auch die Vorderradbremse stark eingesetzt wurde, schmaler ist als bei einer reinen Hinterradbremung. Dies erklärt sich aus der bei überlagerter Vorderradbremung stärkeren dynamischen Radlastverlagerung, die zu einer Entlastung des Hinterrades führt.

BILD 10 zeigt den aufgenommenen Verzögerungsverlauf für die gemeinsame Vorder- und Hinterradbremse. Vom Beginn der Verzögerung bis zum Erreichen des Stillstandes wurde eine mittlere Verzögerung von $5,7 \text{ m/s}^2$ ausgewertet.

Betrachtet man die reine Vollbremsphase in den im oberen Teil von BILD 11 markierten Grenzen, konnte eine mittlere Verzögerung von $6,6 \text{ m/s}^2$ ausgewertet werden.

Im unteren Verzögerungsdiagramm sind die Verzögerungspunkte markiert worden, bei denen bei diesem Versuch eine Spurzeichnung des Vorder- bzw. Hinterrades einsetzte.

2.2.2 Bremsversuche Suzuki Bandit 1200

Das zunächst bei reiner Hinterradbremung erzielte Spurenbild mit diesem Motorradtyp zeigt BILD 12. Die erreichte Vollbremsverzögerung lag bei 4 m/s^2 .

Obwohl das Motorrad über einen extrem breiten Hinterreifen verfügte, beträgt die normale Reifenaufstandsweite nur 7 cm , BILD 13. Die Hinterradblockierspur des Motorrads wies eine Breite von $5,3 \text{ cm}$ auf. Infolge der Radlastverlagerung wurde der Hinterreifen gegenüber dem normalen Fahrzustand entlastet und hinterließ ein schmaleres Spurenbild.

Die Versuchsergebnisse bei einem ausschließlichen Betätigen der Vorderradbremse zeigt BILD 14. Auch mit diesem Motorrad konnte zunächst eine schwache Bremsspurzeichnung erzielt werden, die erst gegen Ende in eine Blockierspur überging.

BILD 15 stellt in einem direkten Vergleich die gezeichneten Spurenbilder

der reinen Hinterradbremmung (Spur „A“) und der reinen Vorderradbremmung (Spur „B“) einander gegenüber. Von der Breite unterscheiden sich diese Spuren bei diesem Motorrad nicht. Die normale Reifenaufstandsweite des Vorderrades beträgt 5,5 cm. Die Vorderradspurzeichnung konnte mit 5,8 cm ausgemessen werden, während die Hinterradspur 5,3 cm breit war.

Der einzige Unterschied zwischen dem Spurzeichnungsbild des Vorder- und Hinterrades war eine ausgeprägtere Kantenspurspurzeichnung in der Vorderradblockierspur.

Die im BILD 16 zu sehende rechte Spurzeichnung stammt vom Hinterrad des Motorrads und wurde bei einem Vollbremsversuch mit überlagertem starken Einsatz der Vorderradbremse erzeugt.

Links daneben sieht man die aus der reinen Hinterradbremmung stammende Blockierspur.

Der direkte Spurvergleich zeigt, dass die Breite der Hinterradspur abnimmt, wenn gleichzeitig die Vorderradbremse überlagert wird.

Normalerweise hat der Hinterreifen eine Reifenaufstandsweite von 7 cm, siehe Bild 13. Die Spurbreite bei reiner Hinterradblockierbremsung verringerte sich auf 5,3 cm (Spur „A“ im Bild 15). Die Hinterradspurzeichnung betrug nur noch 4 cm, nachdem gleichzeitig das Vorderrad stark mit abgebremst wurde, BILD 17.

BILD 18 zeigt den Verzögerungsaufschrieb für die gemeinsame Hinter-

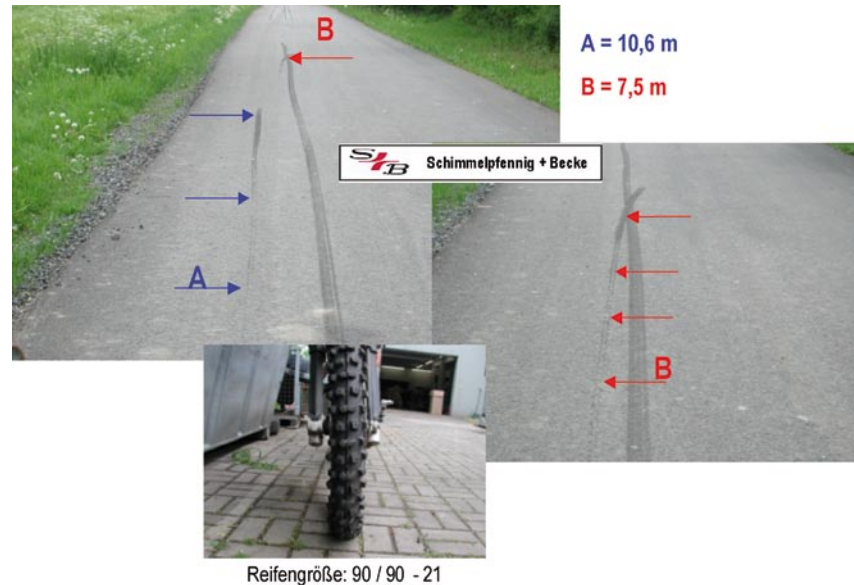


BILD 8: Vorderradspurspurzeichnung KTM mit Unterbrechung



BILD 9: Vergleich der Spurzeichnungen KTM

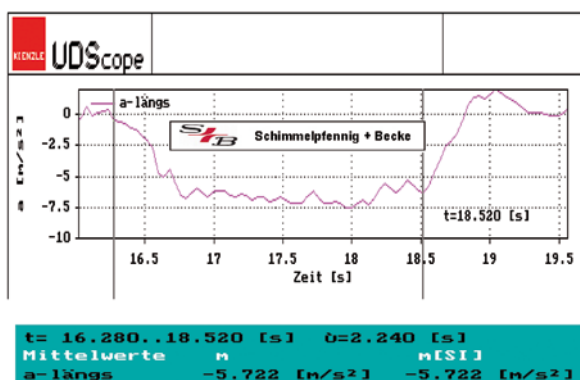


BILD 10: Aufgezeichneter Verzögerungsverlauf Vorder- und Hinterradbremmung

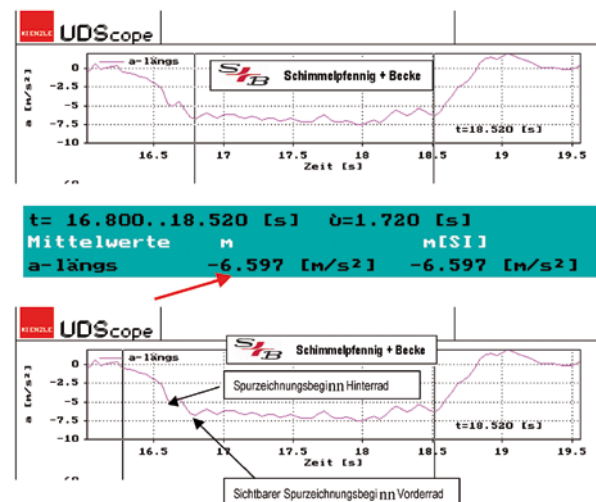


BILD 11: Aufgezeichneter Verzögerungsverlauf

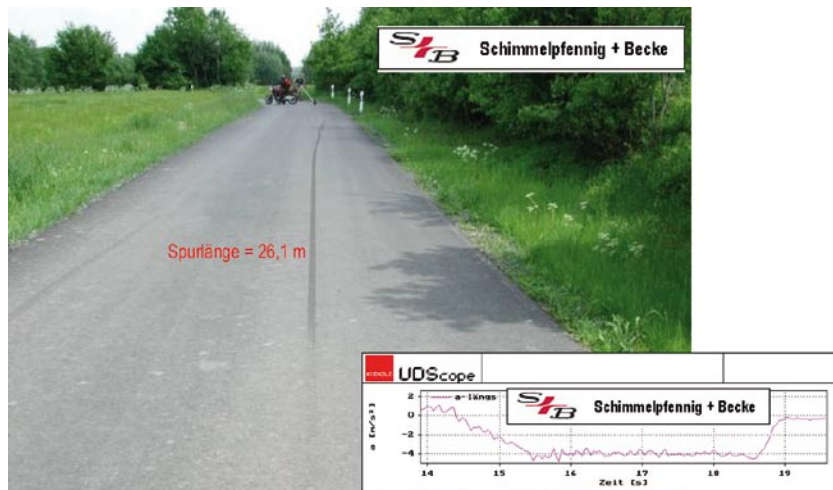


BILD 12: Hinterradspurzeichnung Suzuki Bandit 1200

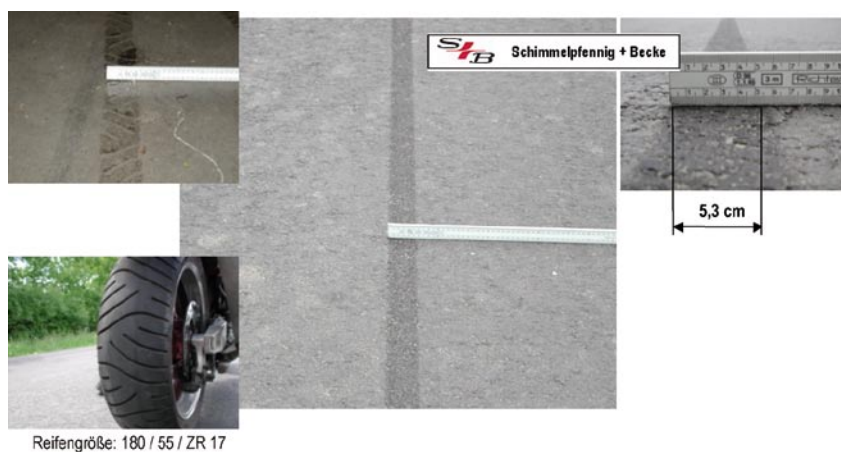
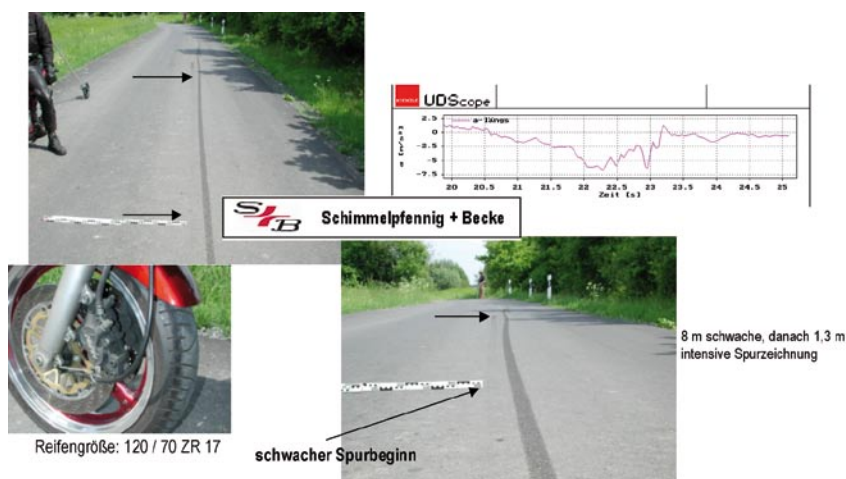


BILD 13: Hinterradspurzeichnung einer Suzuki Bandit 1200

BILD 14: Vorderradspurzeichnung Suzuki Bandit 1200 aus $v = 50$ km/h

und Vorderradbremung. Ausgehend vom Bremsbeginn bis zum Lösen der Bremse kurz vor dem Stillstand konnte eine mittlere Verzögerung von zirka $6,7 \text{ m/s}^2$ ausgewertet werden. Die

Maximalverzögerung erreichte einen Wert von etwa $8,5 \text{ m/s}^2$.

Die Hinterradspurzeichnung begann zu einem Zeitpunkt, als das Motorrad schon mit $6,5 \text{ m/s}^2$ verzögert wurde.

2.2.3 Bremsversuche mit Suzuki GSX 600

Die Ergebnisse der reinen Hinterradbremung zeigen BILD 19 und BILD 20. Es wurde eine gleichmäßige gerade Spurzeichnung mit einer Spurbreite von $6,2 \text{ cm}$ erzielt. Gegenüber der normalen Reifenaufstandsweite des Hinterreifens von 8 cm hat sich auch hier wieder ein schmaleres Spurenbild abgebildet, Bild 20.

Im BILD 21 sind die bei reiner Hinterrad- beziehungsweise reiner Vorderradbremung erzielten Spurenbilder und Verzögerungsverläufe einander gegenübergestellt.

Bei reiner Hinterradbremung konnte eine Vollbremsverzögerung von 4 m/s^2 erreicht werden. Bei der reinen Vorderradbremung ist die Verzögerung kontinuierlich bis auf etwa 8 m/s^2 gesteigert worden, bevor aus Gründen der Fahrstabilität der Bremsdruck verringert werden musste.

Von der reinen Spurbreite und dem Spurenbild unterscheiden sich Vorder- und Hinterradspur fast nicht. Das Besondere in der Vorderradspur sind lediglich die vermutlich schwingungsbedingten Einschnürungen, die im Detail in BILD 22 und BILD 23 fotografiert wurden. Es sind Phasen vorhanden, in denen die Vorderradspur breiter oder auch schmäler als die normale Reifenaufstandsweite ist.

Mit diesem Motorrad wurde auch eine kombinierte Vollbremsung unter maximalem Einsatz der Vorder- und Hinterradbremse durchgeführt. Das dabei erzeugte Spurenbild ist im BILD 24 zu sehen. Die linke, durch Pfeile markierte Spur stammt aus dem letzten Bremsversuch, während die rechte Spur aus dem ersten Versuch stammt, bei dem nur die Hinterradbremse betätigt wurde.

Der ausgewertete Verzögerungsverlauf für die Vorder- und Hinterradbremung ist im BILD 25 zu sehen. Eine Spurzeichnung des Hinterrades setzte auch hier erst bei einer relativ hohen Verzögerung von $6,2 \text{ m/s}^2$ ein. Bis zum Ende der Blockierbremsung wurde durch zunehmende Betätigung der Vorderradbremse die Verzögerung bis auf maximal 9 m/s^2 gesteigert.

Bei diesem Motorrad liegt zwischen der reinen Hinterradbremung

(Spur „A“, BILD 26) und der überlagerten Vorderradbremung (Spur „B“) ein großer Unterschied in der Spurbreite vor. Gegenüber der normalen Aufstandsweite des Hinterrades hat sich bei kombinierter Vorder- und Hinterradbremung der Spurbdruck auf 3,8 cm und somit auf weniger als 50% verringert. Als ausschließlich das Hinterrad blockierte, betrug die Spurbreite 6,2 cm.

2.2.4 Bremsversuche Honda Africa Twin

Dieses Geländemotorrad war – im Gegensatz zu der KTM – nicht mit den extremen grobstolligen reinen Geländereifen ausgerüstet. Bei der reinen Hinterradbremung konnte, ähnlich wie bei den vorherigen Sportmotorrädern, eine Verzögerung von 4 m/s^2 mit einem gleichmäßigen Spurbild erzielt werden, BILD 27.

Bei reiner Vorderradbremsbetätigung mit der kurz vor dem Ende erzeugten Blockierspur waren auch bei diesem Motorradtyp die Einschnürungen im Spurbild festzustellen, wie zuvor bei der Suzuki, BILD 28.

Die kombinierte Hinterrad- und Vorderradvollbremsung führte zu dem im BILD 29 zu sehenden Spurbild. Dort sind mit „A“ die reine Hinterradspurzeichnung und mit „B“

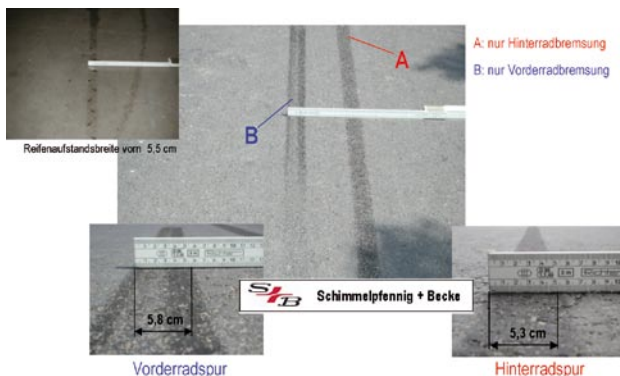


BILD 15: Vergleich der Hinter- und Vorderradspurzeichnung Suzuki Bandit 1200

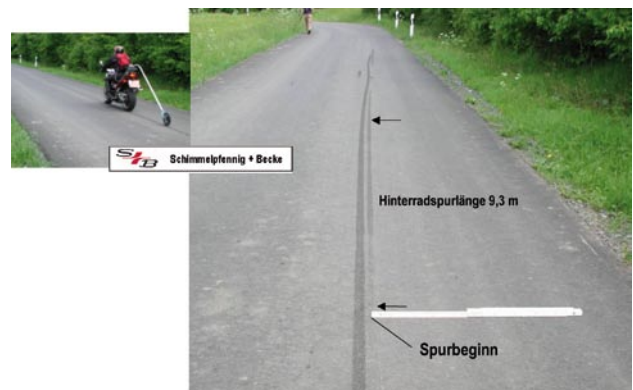


BILD 16: Spurzeichnung Hinterrad (Vorder- und Hinterradbremse betätigt)

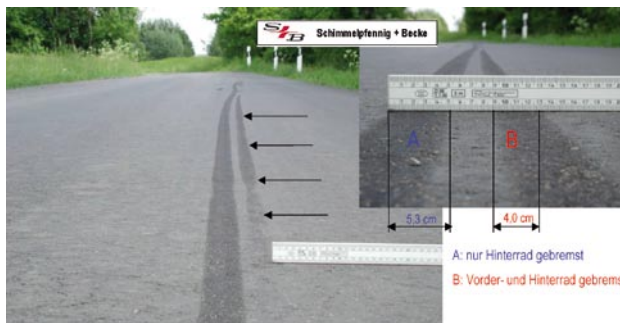


BILD 17: Spurzeichnungsvergleich

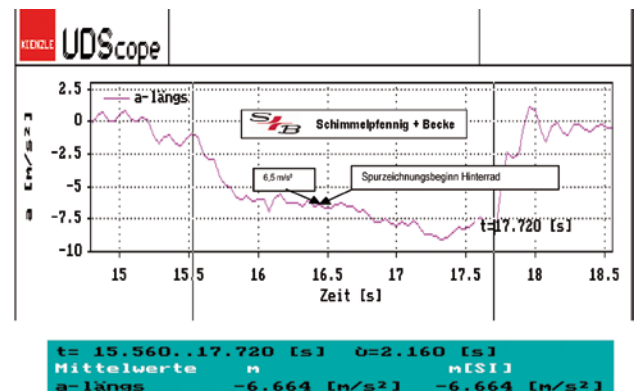


BILD 18: Verzögerungsverlauf bei betätigter Vorder- und Hinterradbremse



BILD 19: Hinterradspurzeichnung Suzuki GSX 600



BILD 20: Hinterradspurzeichnung Suzuki GSX 600

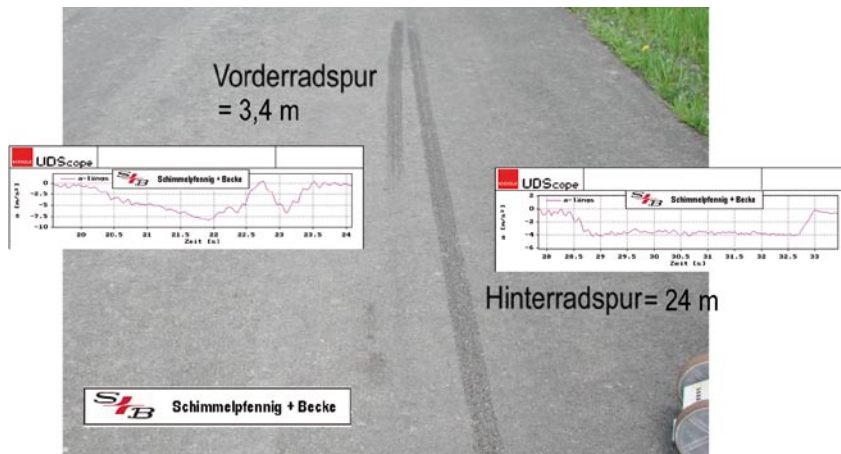


BILD 21: Vergleich Hinterrad- und Vorderradspurzeichnung

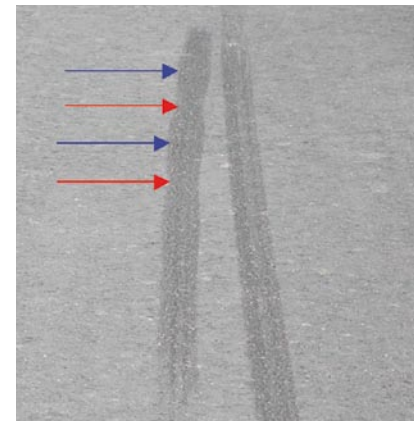


BILD 22: Vorderradspurzeichnung Suzuki GSX 600

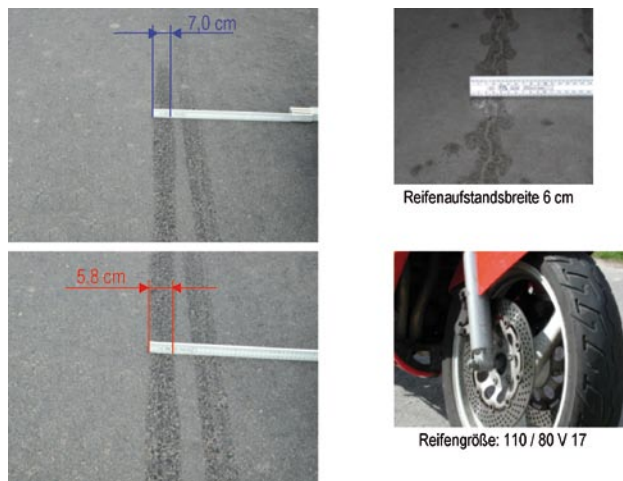


BILD 23: Vorderradspurzeichnung Suzuki GSX 600



BILD 24: Spurzeichnung Hinterrad (Vorder- und Hinterradbremse betätigt)

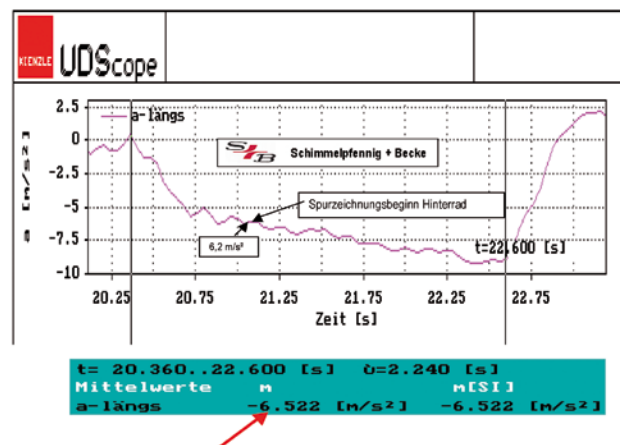


BILD 25: Verzögerungsverlauf bei betätigter Vorder- und Hinterradbremse



BILD 26: Vergleich der Spurzeichnungen Suzuki GSX 600

die vom Hinterrad erzeugte Spurzeichnung bei überlagerter Vorderadrbremse wieder direkt einander gegenübergestellt.

Im Vergleich zur normalen Reife-

naufstandsbreite bildete sich jeweils ein schmaleres Spurenbild aus, das sich allerdings von der Spurbreite her nicht so stark veränderte wie zuvor bei der Suzuki.

2.2.5 Fazit

Die mit den vier Motorrädern durchgeführten Versuche zeigten, dass Unterschiede im Spurzeichnungsbild des Vorder- und Hinterrades auftreten.

Eine über eine lange Strecke und lange Zeitphase erzeugte Blockierspur kann nur vom Hinterrad stammen.

Bei einem ohne Sturz erfolgten Bremsvorgang eines Motorrades kann mit dem Vorderrad nur eine über eine kurze Zeitdauer erzeugte Blockierspur erzielt werden, da es ansonsten unweigerlich zum Sturz des Motorradfahrers kommt. Wird das Vorderrad in einen hohen Schlupfzustand gebracht, bei dem es nur zur Bremsspurzeichnung kommt, kann auch diese Spur über mehrere Meter gezeichnet werden.

Bei den vier verschiedenen Motorrädern traten im Vorderradspurenbild auch charakteristische Erscheinungen auf, die bei der Hinterradspurzeichnung fehlen.

Wenn man – wie bei den Versuchen – den direkten Vergleich zwischen den erzeugten Spurenbildern hat, kann man aus der Breite der Hinterradspur auch Schlussfolgerungen über den Einsatz der Vorderradbremse ziehen. In der Realität dürfte dies aber schwierig sein, da man im Regelfall allenfalls Lichtbilder über das an der Unfallstelle vorgefundene Spurenbild zur Verfügung hat. Welches charakteristische Spurzeichnungsverhalten das entsprechende Motorrad aufweist, würde man nur dann kennen, wenn mit einem solchen Motorrad und gleicher Bereifung entsprechende Versuche durchgeführt würden.

Dann, wenn eine äußerst schmale Hinterradspurzeichnung vorliegt, die deutlich schmäler ist als die reine Reifenaufstandsfläche des Hinterreifens, kann die gesicherte Schlussfolgerung gezogen werden, dass während der gesamten Spurzeichnung

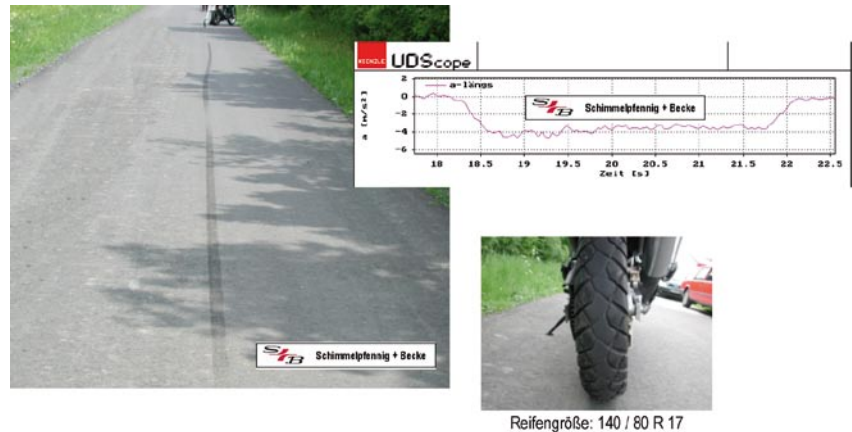


BILD 27: Hinterradspurzeichnung Honda Africa Twin aus $v = 58 \text{ km/h}$

auch eine sehr starke Abbremsung des Vorderrades erfolgt sein muss (siehe Kapitel 2.2.3). Bei überlagerter Vorderradbremse muss aber nicht zwingend ein deutlich schmaleres Spurenbild des Hinterrades entstehen (siehe Kapitel 2.2.4).

Die mit den vier Motorrädern durchgeführten Versuche zeigten, dass hierzu aber keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden können, da das Spurzeichnungsverhalten vom Motorradtyp und der Bereifung abhängt.

Als weiteres Ergebnis der Versuche wäre festzuhalten, dass auch dann, wenn der Fahrer die Vorderradbremse zum Einsatz bringt, nicht unbedingt eine extrem hohe Bremsverzögerung für den gesamten Bremsvorgang in Ansatz gebracht werden kann. In dem Bereich, in dem eine Spurzeichnung des Motorrades vorlag, wurde bei diesen Versuchen eine mittlere Verzögerung auf dem Niveau einer normalen Pkw-Vollbremsung erreicht.

Literaturhinweise

- [1] Schmedding, Klaus; Weber, Michael: Verzögerungswerte von Zweirädern. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 28 (1990), Nr. 12, S. 320 – 322
- [2] Weber, Michael; Hugemann, Wolfgang: Die Geschwindigkeitsrückrechnung bei Motorradbremsungen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 28 (1990), Nr. 10, S. 260 – 263, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 28 (1990), Nr. 11, S. 290 – 292
- [3] Lange, Frank: Bremsverzögerungen von Motorrädern bei Abwehrbremsungen. Universität Hannover, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Kraftfahrwesen, Diplomarbeit 1992

* Autor

Dipl.-Ing. Uwe Golder ist Sachverständiger im Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster. ::



BILD 29: Hinterrad- und Vorderradspurzeichnung Honda Africa Twin

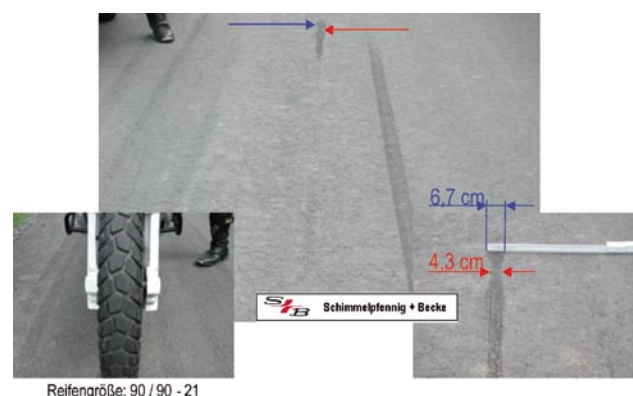


BILD 28: Vorderradspurzeichnung Honda Africa Twin