

# Unfallrekonstruktion

## Untersuchungen zur Erkennbarkeit von ABS-Regelspuren – Gibt es ABS-Bremsspuren?

von Dipl.-Ing. Hans Otto Rausch, Oldenburg\*

Der Unfallanalytiker hat sich bei der Rekonstruktion eines Unfalls mit Bremsvorgängen zu befassen, wenn es darum geht, aus den Unfallspuren auf die Fahrgeschwindigkeit zu schließen. Die Bremsspuren ermöglichen dem Sachverständigen eine Rückrechnung auf die Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Grundlage der Berechnung ist der „klassische“ Rechenansatz:

$$v = \frac{1}{2} a_m t_s + \sqrt{2a_m s}$$

mit  $v$ : Fahrgeschwindigkeit  
 $s$ : Bremsspurlänge  
 $t_s$ : Schwellzeit (ca. 0,2s)  
 $a^m$ : mittlere Vollbremsverzögerung

Damit kann aus der Bremsverzögerung  $a^m$ , der Bremschwellzeit  $t_s$  und der Bremsspurlänge  $s$  die Fahrgeschwindigkeit unmittelbar vor Bremsbeginn errechnet werden.  $a^m$  kann allgemein auf trockener Fahrbahn mit 7 – 9 m/s<sup>2</sup>, auf nasser Fahrbahn mit 6 – 8 m/s<sup>2</sup> angenommen werden.

Ende 2003 hatten 90 % der zugelassenen Neufahrzeuge in Deutschland ein Antiblockiersystem. Seit 2004 hat sich die europäische Automobilindustrie (ACEA) dazu verpflichtet, alle Neufahrzeuge mit Antiblockiersystemen auszustatten. Schon seit 1987 ist ein Antiblockiersystem bei Bussen und seit 1991 bei allen Lkw (über 3,5 t) Pflicht.

In der Literatur wurde das Aussehen von ABS-Bremsspuren kaum untersucht. Häufig wird sogar davon ausgegangen, dass ABS-Systeme gar keine oder nur wenig Bremsspuren hinterlassen, weil das ABS gerade das Blockieren der Räder verhindern soll. Da in naher Zukunft nahezu alle Fahrzeuge mit Antiblockiersystemen ausgerüstet sein werden, wird es somit immer schwieriger bzw. gar nicht mehr möglich sein, aus Bremsspuren die Geschwindigkeit zu berechnen, was jedoch für die Unfallanalyse eine grundlegende Voraussetzung ist.

Zu dieser Thematik wurde vom Autor eine Diplomarbeit (Stöpel, Experimentelle Untersuchungen zur Erkennbarkeit von ABS-Regelspuren) betreut, die zum Ziel hatte, einen Überblick über die bislang vorliegenden Antiblockiersysteme und deren Spurzeichnungsverhalten bei Vollbremsung zu erarbeiten. Dabei wurde insbesondere untersucht, ob ABS-Fahrzeuge überhaupt Bremsspuren erzeugen und in wie weit dies von ABS-System, Fahrzeugtyp, Bereifung und Fahrbahntyp abhängt. Dem Sachverständigen – und auch der Polizei – soll damit bei der Spurenaufnahme eine Zuordnung von Unfallspuren ermöglicht werden.

### I. Technischer Hintergrund

Vorab ein Ausflug in die Funktionsweise der ABS-Technik. Hauptaufgabe des ABS bei einer Vollbremsung ist es, ein Blockieren der Räder zu verhindern.

Das erste serienmäßige ABS wurde bereits 1965 im Jensen eingebaut. Hierbei handelte es sich um eine Einkanal-ABS-Anlage, die noch auf einer mechanisch-hydraulischen Steuerung beruhte. Mit der Entwicklung der programmierbaren Elektronik Ende der 70er des vergangenen Jahrhunderts schaffte es die Firma Bosch, ein ABS-System mit Drehzahlen-

\* Der Autor ist von der IHK Oldenburg öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Fahrzeugschäden und -bewertung im Büro Schimmelpfennig und Becke, Oldenburg.

soren und schnellen hydraulischen Ventilen herauszubringen. Das erste serienreife ABS von Bosch wurde 1978 unter dem Name „ABS 2S“ eingeführt, zunächst jedoch nur in der Oberklasse von Mercedes-Benz. Die Firma Bosch ließ sich den Namen ABS patentieren. Daher wird das ABS oft auch in der Literatur als Antiblockierverhinderer (ABV) bezeichnet.

Die ersten ABS-Komponenten (Hydroaggregat und Elektronik-Schaltung) waren noch sehr groß und schwer. Diese wurden im Laufe der Jahre immer kompakter und leistungsfähiger. Die Firma Bosch hat im Lauf der Zeit mehrere ABS-Entwicklungsstufen auf den Markt gebracht. Das neueste ABS-System von Bosch, ABS 8.1 ist nur noch knapp ein fünftel so groß wie das ABS 2S.

Die **Ursache** für das Blockieren der Räder ist das Überschreiten der maximalen Haftreibung zwischen Reifen und Straße. Die Haftreibung nimmt dann schlagartig ab und geht in die Gleitreibung über.

I.d.R. wird ein Fahrzeug bei einer Betriebsbremsung nur gering abgebremst, meist kommt man im normalen Straßenverkehr auf Verzögerungswerte von 4 – 5 m/s<sup>2</sup>. Das ABS-System bleibt in dieser Situation außer Kraft. Bei einer Vollbremsung werden jedoch Verzögerungen bis zu 11 m/s<sup>2</sup> erreicht. Leitet der Fahrer eine Vollbremsung ein, z.B. wegen einer plötzlichen Gefahr auf der Straße, dann bleiben beim Fahrzeug mit ABS die Seitenführungskräfte an den Rädern erhalten, das Fahrzeug bleibt **lenkfähig** und der Bremsweg wird i.d.R. verkürzt.

Bei dem 4-Kanalsystem von Bosch hat jedes Rad einen Drehzahlsensor. Die Vorderräder werden einzeln angesteuert. Bei der Hinterachse sich die Höhe des Bremsdrucks nach dem Rad, welches als erstes zum Blockieren neigt („Select-low“).

Im ABS-Block werden dazu zwei Magnetventile angesteuert, dieser Ablauf wird als Regelzyklus bezeichnet. Laut Darstellung der Firma Bosch läuft dieser Regelzyklus 4 – 10 mal pro Sekunde ab, kann aber je nach Hersteller unterschiedlich ausfallen. Die Einsatzgeschwindigkeit, ab der das ABS regelt, liegt bei 6 – 8 km/h. Wird bei der momentanen Regelung die Grenzgeschwindigkeit unterschritten, schaltet das ABS wieder ab und die Räder blockieren.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass es sich bei einer Bremsspur um Gummi-Aufrieb auf der Fahrbahn handelt. Tatsächlich entstehen jedoch auf der Fahrbahn auch Aufschmelzungen des Bitumens durch die Bremsreibung. Deshalb ist eine Bremsspur auf Beton auch deutlich geringer ausgeprägt (und dadurch schwerer zu erkennen) als auf Asphalt. Häufig sind auch bei näherer Betrachtung Kratzer auf der Fahrbahn durch mitgeschleifte Steinteilchen festzustellen. Anzumerken ist, dass intensive Bremsspuren nicht gleichzeitig auf eine hohe Verzögerung schließen lassen, vielmehr spielen Art und Beschaffenheit von Fahrbahn, Fahrzeug und Reifen eine Rolle.

Eine „klassische“ **Vollverzögerungsspur** ohne ABS setzt sich zusammen aus einer Bremsspur und der nachfolgenden Blockierspur. Bei der Bremsspur dreht sich das Rad unter Schlupf, sodass die Querprofilierung des Reifens noch zu erkennen ist. Rutscht der Reifen blockierend über die Fahrbahn, so entsteht eine Blockierspur. Oft kann man gar nicht die beiden Spuren eindeutig voneinander unterscheiden, sodass die gesamte Spur als Bremsblockierspur bezeichnet wird.

**Klassische Bremsspur ohne ABS**

## II. Versuche

Für die Versuche standen unterschiedliche Fahrzeuge, Peugeot 307 Bj. 2006, Opel Astra G Bj. 2004, VW Passat 5 Bj. 1998, BMW 730 Bj. 1995, Opel Astra F Bj. 1991 (ohne ABS), BMW 628 Bj. 1985, Seat Altea Bj. 2007, Renault Trafic Bj. 05 und ein Lkw zur Verfügung.

Die **Aufzeichnung** erfolgten mit einem sog. Datalogger DL1, mit dem Beschleunigungen bzw. Verzögerungen bis zu 2 g messbar sind. Des Weiteren können Geschwindigkeit und Wegstrecke mittels „GPS“ und analoge Eingangssignale aufgenommen werden. Längs- und Querbeschleunigungen werden 100 mal pro Sekunde (100 Hz) gespeichert. Zur Bestimmung des Bremsbeginns wurde an den Versuchsfahrzeugen das Bremssignal in den Datalogger eingespeist und zusätzlich ein Markierungsgerät bzw. eine zusätzliche Bremsleuchte am Fahrzeug angebracht, um den Bremspunkt auch auf der Fahrbahn und auf dem Videomitschnitt zu ermitteln. Zusätzlich wurden Witterungsbedingungen, Fahrbahntemperatur usw. dokumentiert.

**Bremssversuche mit ABS Fahrzeugen**

Die Versuche wurden auf Fahrbahnen mit unterschiedlichen Eigenschaften durchgeführt. Da viele Unfälle auf innerörtlichen Straßen passieren, erfolgten die Bremsversuche mit Geschwindigkeiten zwischen 50 und 60 km/h. Weitere Kriterien waren Minder- und Überdruck der Reifen sowie höhere Fahrgeschwindigkeiten mit 100 km/h.

### III. Ergebnisse

Aus der ersten Überlegung heraus müsste man meinen, dass ältere Fahrzeuge aufgrund der evtl. noch nicht so ausgereiften ABS-Technik eher zur Spurenzeichnung neigen als Fahrzeuge mit einem technisch fortschrittlichen ABS-System. Die Firma Bosch gab auf Anfrage an, dass es an sich bei Vollbremsung gar nicht zum Zeichnen der Reifen auf der Fahrbahn kommen sollte. Diese Annahme hat sich durch die Versuche aber nicht bestätigt.

Eine „klassische“ Bremsblockierspur des Opel Astra F ohne ABS aus 53 km/h mit  $a^m = 8,3 \text{ m/s}^2$  ist zunächst sehr deutlich in der folgenden Abb. 1 gut zu erkennen. Der Astra F hat eine durchgehende Blockierspur gezogen, bei der sowohl die Reifenflanken als auch die Lauffläche deutlich auf der Fahrbahn gezeichnet haben.

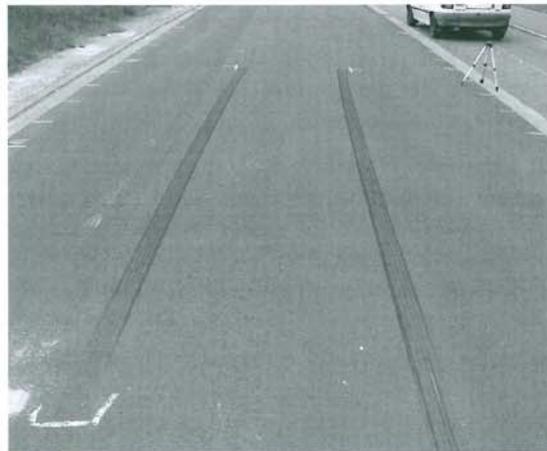


Abb. 1: Astra F mit 53 km/h und  $a^m = 8,3 \text{ m/s}^2$  (ohne ABS)

Aus den umfangreichen Versuchsreihen wird nachfolgend beispielhaft der Unterschied im Bremsverhalten zwischen zwei Fahrzeugen, dem BMW 730 und dem Opel Astra G (mit ABS), die auf unterschiedlichen Fahrbahnen im Bremsverhalten gegenübergestellt wurden, präsentiert.

Bei dem **BMW** handelt es sich um ein relativ schweres Fahrzeug mit breiter Bereifung und einem schon etwas älteren ABS-System. Der Opel ist dagegen leichter gebaut, hat eine wesentlich schmalere Bereifung und ein aktuelles ABS-System. Im Versuch wurden der BMW 730 mit 60 km/h und  $a^m = 9,48 \text{ m/s}^2$  und der Astra G mit 50 km/h und  $a^m = 8,47 \text{ m/s}^2$  max. auf trockener, feinkörniger Asphaltstraße verzögert und das Bremspedal dabei durchgehend durchgetreten. Im Bremszeichnungs-Verhalten ergaben sich bei diesen beiden Fahrzeugen besonders markante Abweichungen, wie die nachfolgenden Bilder zeigen.

Die erste Bremsspur des BMW 730 beginnt ca. 2,5 m nach dem Bremszeitpunkt, die in der Abb. 2 zu sehen ist. Auffällig an den Spuren ist, dass sie nicht gleichzeitig beginnen, sondern immer versetzt auftreten. Grund dafür ist die Einzelradregelung an den Vorderreifen. Die hohen Kräfte an den vorderen Reifen bewirken ferner, dass sich der Reifen konkav wölbt und die Reifenflanken deutlicher stärker als die Lauffläche zeichnen (s. Detailaufnahme 3). Weiter ist bei den letzten Spuren, d.h. kurz vor dem Radstillstand links wie rechts eine deutlich sichtbare, von der Lauffläche des Reifens stammende Abriebsspur festzustellen, weil das ABS bei geringen Restgeschwindigkeiten nicht mehr arbeitet. Die Bremsspuren des BMW sind durchaus erkennbar, wenn auch relativ schwach gezeichnet.

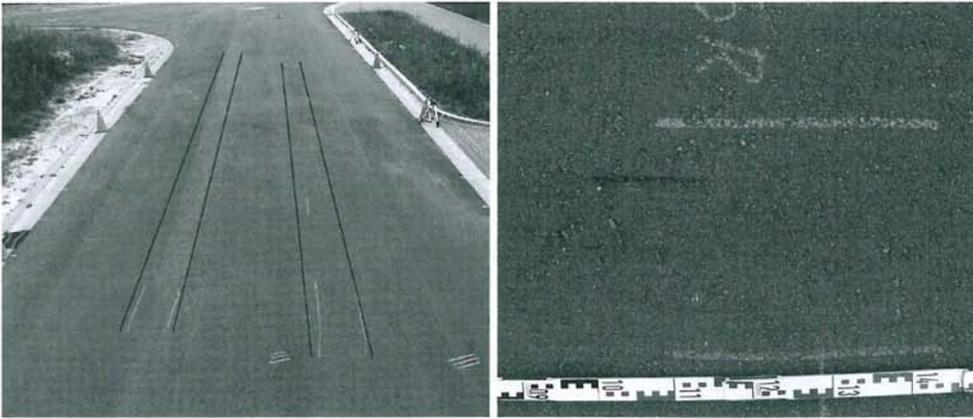


Abb. 2 (links): BMW 730 mit 60 km/h und  $a^m = 9,48 \text{ m/s}^2$ ;  
 Detailaufnahme 3 (rechts): Bremsspur BMW 730 mit 60 km/h und  $a^m = 9,48 \text{ m/s}^2$

Bei dem Astra G sind dagegen wesentlich **stärkere Regelspuren** auf der Fahrbahn zu erkennen, s. hierzu Abb. 4. Kurz nach dem Bremspunkt erkennt man bereits eine deutliche Flankenzeichnung des rechten Vorderrades. Auch beim linken Vorderrad ist etwas später eine Brems-Blockierspur zu erkennen. Auf dem Videomitschnitt ist zu sehen, dass das rechte Vorderrad kurzzeitig sogar blockiert und der Reifen raucht. In der Detailaufnahme 5 ist wiederum die deutliche Flankenzeichnung der Reifen zu sehen, die von einer starken Bremsspur des Reifenprofils begleitet wird. Auch der Astra G zeichnet unmittelbar vor dem Stillstand eine 20 – 30 cm lange Blockierspur.

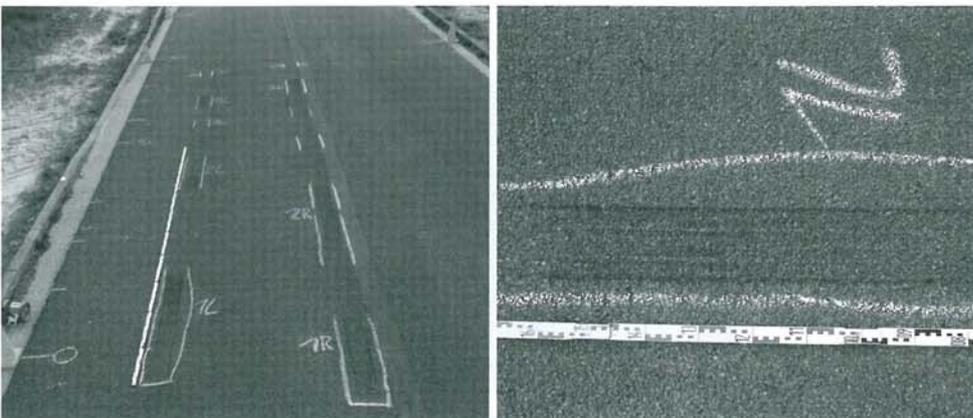


Abb. 4 (links): Astra G mit 50 km/h und  $a^m = 8,47 \text{ m/s}^2$ ;  
 Detailaufnahme 5 (rechts): Astra G mit 50 km/h und  $a^m = 8,1 \text{ m/s}^2$

Das Gleiche, nämlich wesentlich stärkere Spurzeichnungsverhalten zeigte der Astra G auch in den **übrigen Versuchen** auf grober Fahrbahn, beim Bremsen in Kurvenfahrt, auf Pflasterstraße und Schotter. Auch dort ergaben sich z.T. doch sehr lange und kräftige Spuren auf der Fahrbahn.

**Opel Astra erzeugt kräftige ABS-Bremsspuren**

Eine wesentlich geringere Spurzeichnung konnte bei dem ältesten Fahrzeug der Versuchsreihe, dem BMW 628 ermittelt werden, der über eines der frühen ABS-Systeme verfügt. Trotz der vergleichsweise hohen Verzögerungswerte ( $9,0 \text{ m/s}^2$  aus 56 km/h) waren auf feiner Fahrbahnoberfläche nur schwache, aber dafür nahezu durchgehende Bremsspuren zu erkennen, die in der Abb. 6 wiedergegeben werden. Ausgeprägte Regelspuren wie beim Opel Astra ergaben sich bei diesem Fahrzeug nicht. Anscheinend regelt das System durchgängig den Bremsdruck im Grenzbereich, sodass es nicht zum Blockieren der Räder kommt. Die Detailaufnahme 7 zeigt dazu etwas deutlicher die Flankenzeichnung des Vorderreifens unmittelbar vor dem Stillstand. Im Bild sind auch Kratzspuren von Steinchen gut erkennbar, die vom blockierten Rad über die Fahrbahn geschoben wurden.

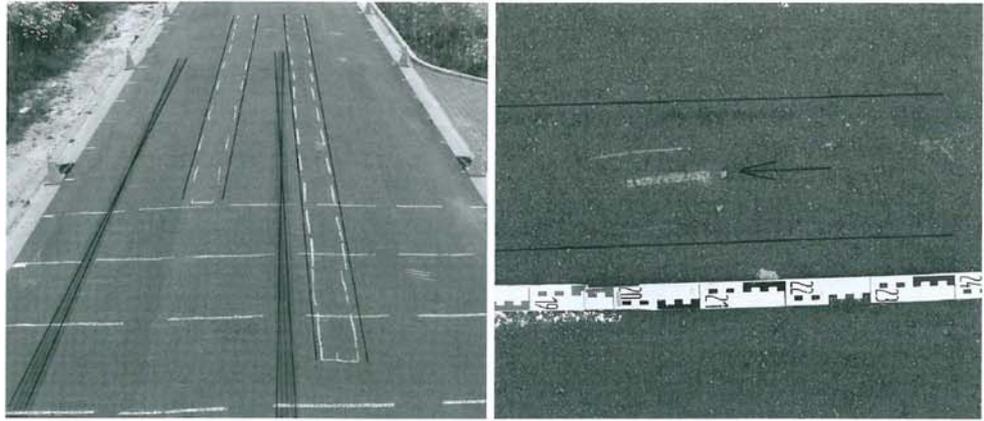


Abb. 6 (links): BMW 628 mit 56 km/h und  $a^m = 9,0 \text{ m/s}^2$ ;  
 Detailaufnahme 7 (rechts): BMW 628 mit 56 km/h und  $a^m = 9,0 \text{ m/s}^2$

In der Abb. 8 wird ein Foto des gleichen Fahrzeugs nach der Bremsung auf groben Straßenbelag mit 60 km/h und  $a^m = 9,6 \text{ m/s}^2$  wiedergegeben. Dort war ein noch schwächeres Zeichnungsverhalten festzustellen. Die fast **durchgehende Bremsspur**, wieder ohne Regelflecken, war nur unter flachem Winkel in Bremsrichtung zu sehen. Eine Erkennbarkeit ist auch nur dann gegeben, wenn das Fahrzeug am Ende der Spur steht, ansonsten wäre eine Zuordnung der Spurzeichnung nicht möglich. Dieses Fahrzeug hat eine relativ große Reifenbreite im Verhältnis zum Fahrzeuggewicht, was offensichtlich ein Zeichnen auf der Fahrbahn verhindert, zusätzlich könnte das ältere ABS-System Einfluss haben.



Abb. 8: BMW 628 mit 60 km/h und  $a^m = 9,6 \text{ m/s}^2$

Hierzu ist anzumerken, dass bei schwacher Ausprägung der Bremsspuren diese i.d.R. in Bremsrichtung aus geringer Höhe besonders gut sichtbar werden, weil der Betrachter nur in dieser Blickrichtung gegen den Aufrieb auf der Fahrbahnkörnung schaut. In Gegenrichtung kann der Aufrieb dagegen teilweise nicht erkennbar sein.

Abschließend wurden anhand der oben angegebenen Formel die Ausgangsgeschwindigkeiten mit der im Versuch gemessenen Vollverzögerung und dem Bremsweg berechnet. Diese Berechnung ergab überwiegend geringe Abweichungen zu den von der Messtechnik erfassten, tatsächlichen Fahrgeschwindigkeiten.

Für die Unfallaufnahme bedeutet dies, dass möglichst unmittelbar nach dem Unfall die Länge einer, wenn auch schwachen Bremsspur gesichert werden muss. Diese Spuren verschwinden durch weiteres Befahren der Fahrbahn und die Witterung schnell und man hätte evtl. nur noch als Anhaltspunkt die schwache Flankenzeichnung am Ende der Bremsung, woraus natürlich keine Rückrechnung möglich ist.

#### IV. Fazit

Die Versuche haben ergeben, dass Fahrzeuge mit ABS entgegen der bisherigen Meinung z.T. **deutliche Bremsspuren** auf der Fahrbahn hinterlassen. Dieses Verhalten wurde

Auch ABS-Fahrzeuge  
 hinterlassen Bremsspuren

bei Fahrzeugen mit aktuellen ABS-Systemen, die über eine vergleichsweise geringe Reifenbreite im Verhältnis zum Fahrzeuggewicht verfügen festgestellt. Hier kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen, dass Bremsspuren in Form von Regelflecken auftreten und trotz ABS auch gut über die gesamte Bremsstrecke sichtbar sind.

Mit diesen Bremsspuren kann ohne Probleme eine Rückrechnung auf die Ausgangsgeschwindigkeit durchgeführt werden.

Für Aussagen über das Spurzeichnungsverhalten müssen insbesondere die Komponenten Fahrzeuggewicht und Reifenbreite in Betracht gezogen werden. In wie weit das Alter des ABS-Systems und dessen Regelgüte Einfluss nehmen, konnte nicht abschließend geklärt werden. Es zeigte sich jedoch die Tendenz, dass insbesondere jüngere ABS-Systeme deutlich stärker zur Spurzeichnung bei Vollbremsung neigen.

Bei Fahrzeugen mit vergleichsweise breiten Reifen im Verhältnis zum Eigengewicht sind nur geringe Spuren zu erwarten, insbesondere bei älteren ABS-Systemen. Möglicherweise resultiert daraus die bisherige Annahme, dass ABS-Fahrzeuge bei einer Vollbremsung keine Bremsspuren erzeugen.

Auch mit ABS-Bremsspuren ist also nach wie vor eine Rückrechnung auf die Fahrgeschwindigkeit möglich, vorausgesetzt natürlich, die Spuren wurden bei der **Unfallaufnahme** gesichert.

**ABS-Bremsspuren lassen  
Rückrechnung zu**