

Motorrad Kurven-ABS

FA 82.692

Forschungsstelle: Technische Universität Graz, Institut für
Fahrzeugsicherheit (Prof. Dipl.-Ing. H.
Steffan)

Factum-Wien, Forschungsinstitut

Bearbeiter: Erlinger, N. / Kraut, M. / Tomasch, E.
/ Ausserer, K. / Rieß, J. / Kaufmann,
C.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Ber-
gisch Gladbach

Abschluss: Dezember 2019

1 Einleitung und Zielsetzung

In Deutschland ereignen sich jährlich ca. 28 000 Motorradunfälle mit Personenschaden. Im Zeitraum von 2008 bis 2017 hat sich die Anzahl der jährlich getöteten Motorradnutzer/-innen (Fahrer/-in und Beifahrer/-in) auf 579 (-11 %) verringert, jedoch hat sich die Anzahl der schwerverletzten Fahrer/-innen von 9 555 (+1 %) kaum verändert hat. Alleinunfälle stellen mit einem Anteil von ca. 30 % den größten Teil des Unfallgeschehens von Motorradfahrer/-innen mit Personenschaden dar.

Aufgrund der positiven Wirkung von ABS auf das Unfallgeschehen ist dieses seit Januar 2017 durch die EU-Verordnung 168/2013 bei Motorrädern über 125 cm³ gesetzlich vorgeschrieben. Einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn bei Kurvenbremsungen soll das erstmals im Jahr 2013 von Bosch und KTM vorgestellte Kurven-ABS als Teil von Motorcycle Stability Control (MSC) bieten. Bei Bremsungen mit einer Schräglage von mindestens 20° und darüber kommt das Kurven-ABS laut Hersteller zum Einsatz. Der Bremsdruck wird dabei durch herstellerabhängige Algorithmen so moduliert, dass ein Blockieren der Räder verhindert und das starke Abbremsen bei Kurvenfahrt ermöglicht wird. Durch das Vermeiden einer Radblockade wird die Stabilität des Motorrads während der Bremsung aufrechterhalten. Vor allem aufgrund des verringerten Bremslenkmoments soll es dem/der Motorradfahrer/-in durch das Kurven-ABS ermöglicht werden, der Fahrlinie in der Kurvenfahrt, während einer Vollbremsung, besser zu folgen. Aufgrund der positiven Auswirkungen von ABS auf die Unfallzahlen, besteht die Motivation auch das Potenzial des Kurven-ABS im Vergleich zum konventionellen ABS zu untersuchen.

Das Ziel der gegenständlichen Studie war es, mögliche Unterschiede von Kurven-ABS zum konventionellen ABS anhand von Fahrversuchen durch Motorradfahrer/-innen unterschiedlicher Fahrerfahrung, Geschlechts und Alters herauszufinden. Ein möglicherweise vorliegendes Potenzial des Kurven-ABS gegenüber dem konventionellen ABS wurde anhand von Hypothesen und probandenspezifischen Auswertungen ermittelt.

Folgende Forschungsfragen wurden anhand der Auswertung von fahrdynamischen Daten und von Befragungsdaten von Motorradfahrer/-innen beantwortet:

Welche fahrdynamischen Unterschiede können bei Motorradfahrern/-innen unterschiedlicher Fahrerfahrung aufgrund des Kurven-ABS, festgestellt werden?"

"Kann ein personenabhängiges Bremsverhalten beziehungsweise können probandenspezifische Unterschiede festgestellt werden, welche den Einsatzbereich des Kurven-ABS beeinflussen?"

"Wie ist das Meinungsbild der motorradfahrenden Bevölkerung zu Kurven-ABS und ändert sich die Meinung der Motorradfahrer/-innen aufgrund der gezielten Durchführung von Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS?"

2 Erhebung der Erwartungshaltung gegenüber dem Kurven-ABS

Die Meinungen zu Kurven-ABS der motorradfahrenden Bevölkerung wurde anhand von Fokusgruppen und einer Online-Befragung abgebildet. Die Fokusgruppen dienten als Vorbereitung des Online-Befragungsinstruments, in denen Faktoren identifiziert wurden, die das individuelle Fahrverhalten bestimmen und die Akzeptanz von Assistenzsystemen beeinflussen. Die Online-Befragung selbst ermöglichte ein Meinungsbild der motorradfahrenden Bevölkerung einzufangen, inwieweit ein Kurven-ABS von Motorradfahrer/-innen akzeptiert wird. Dabei wurden die allgemeinen Eindrücke und Erwartungen von Motorradfahrer/-innen an Assistenzsysteme und im Speziellen an ein Kurven-ABS-System abgebildet. Das Sample bestand sowohl aus Motorradfahrer/-innen, die noch nie mit einem Motorrad mit Kurven-ABS gefahren waren und selbst auch kein Motorrad mit Kurven-ABS besaßen, als auch aus Befragten, die über Kurven-ABS-Erfahrung verfügten. Auf Basis der Ergebnisse der Online-Befragung wurde ein Fragebogen für die Fahrversuche am Testgelände entwickelt, um die Meinungen der Probanden/-innen vor den Fahrversuchen zu erheben und den Erfahrungen und Eindrücken nach den Fahrversuchen mit Kurven-ABS und konventionellem ABS gegenüber zu stellen.

3 Fahrversuche

Für die Studie wurden eigens Fahrmanöver und ein Versuchsablauf entwickelt, um die Unterschiede von Kurven-ABS zum konventionellen ABS anhand von objektiven fahrdynamischen Werten zu ermitteln. Die Fahrmanöver waren so aufgebaut, dass sie den Probanden/-innen größtmögliche Sicherheit boten, aber dennoch Messdaten von Vollbremsungen während der Kurvenfahrt erhoben werden konnten. Die Probanden/-innen sollten durch die Fahrmanöver keinesfalls überfordert werden und konnten die Geschwindigkeit und Schräglage ihrem Fahrkönnen entsprechend bis hin zu ihrer persönlichen Wohlfühl-

grenze erhöhen. Die Probanden/-innen absolvierten die Fahrmanöver jeweils mit ABS und mit Kurven-ABS. Um mögliche Lerneffekte auch in Abhängigkeit der Reihenfolge ABS beziehungsweise Kurven-ABS auswerten zu können, wurden die Probanden/-innen in zwei Gruppen eingeteilt. 27 Probanden/-innen absolvierten den Versuchsdurchgang in der Reihenfolge ABS/Kurven-ABS und 28 Probanden/-innen in der Reihenfolge Kurven-ABS/ABS.

Für eine möglichst hohe Anzahl an Bremsungen der Probanden/-innen bei Schräglagen von 20° und darüber wurde ein Kurvenradius mit 20 m und ein Kreisradius mit 29 m gewählt. Die Fahrmanöver beinhalteten Bremsungen aus der Kreisfahrt mit vorgegebener Fahrlinie (Bodenmarkierung) und das Fahrmanöver Kuppe. Beim Fahrmanöver Kuppe konnten die Probanden/-innen die Fahrlinie innerhalb ihres Fahrstreifens frei wählen. Dieses Fahrmanöver wurde auch im Hinblick darauf entwickelt, um mögliche Unterschiede festzustellen, ob die Probanden/-innen bei freier Fahrlinienwahl ein anderes Bremsverhalten zeigen als bei vorgegebener Fahrlinie. Zusätzlich zu den Fahrversuchen am Testgelände wurden Fahrversuche im Straßenverkehr durchgeführt. Hierbei wurden sowohl vorgegebene als auch von den Probanden/-innen frei wählbare Streckenabschnitte befahren. Die Ausgangswerte von Schräglage und Geschwindigkeit der Fahrmanöver am Testgelände wurden mit den Messdaten der Fahrversuche im Straßenverkehr beim Durchfahren von Kurven verglichen. Dies wurde durchgeführt, um die Repräsentativität der Ausgangswerte der Fahrversuche auf dem Testgelände sicherzustellen.

Für die Aufzeichnung der fahrdynamischen Daten, wurde ein Motorrad KTM 790 Duke mit einem Trägheitsnavigationssystem und einem CAN-Datenlogger ausgerüstet. Mittels eines Trägheitsnavigationssystems wurden beispielsweise Beschleunigungen, Geschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeiten, Schräglage und Nickwinkel sowie die Fahrtrajektorie gemessen. Der CAN-Datenlogger speicherte, neben den Daten des Steuergeräts des Motorrads, auch mittels Drucksensoren die Bremsdrücke nach der Bremspumpe vorn und am Bremssattel des Hinterrads. Durch einen am Lenker für die Probanden/-innen sichtbar montierten und beschrifteten Schalter konnte entweder das Kurven-ABS oder das konventionelle ABS aktiviert werden.

4 Untersuchungsergebnisse

Insgesamt wurden bei den Fahrversuchen am Testgelände die fahrdynamischen Daten von 1 547 Vollbremsungen von 55 Probanden/-innen während 67 Versuchsdurchgängen aufgezeichnet. Bei einem Versuchsdurchgang wurden von jedem Probanden/-in jeweils ca. 23 Vollbremsungen durchgeführt.

Die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS konnte ab einer Schräglage von 20° und darüber festgestellt werden. Im Vergleich zum ABS begann das Kurven-ABS den Bremsdruck zu einem früheren Zeitpunkt und somit bei einem niedrigeren Bremsdruck zu modulieren. Dadurch verringerte

sich der Geschwindigkeitseinbruch des Vorderrads. Mit aktiviertem Kurven-ABS unter einer Schräglage von 20° und bei allen Bremsungen mit konventionellem ABS konnte keine Abhängigkeit des Systemeingriffs von der Schräglage ermittelt werden.

Der Vergleich von Schräglagen und Geschwindigkeiten beim Durchfahren der Kurven hat eine gute Übereinstimmung der entwickelten Fahrmanöver der Fahrversuche am Testgelände mit den Werten der Fahrversuche im Straßenverkehr im jeweiligen Kurvenradienbereich ergeben. Im Median wurde bei den Fahrversuchen im Straßenverkehr eine Schräglage von 33,0° (Griffnerberg), beim Fahrmanöver Kuppe eine Schräglage von 31,1° und beim Fahrmanöver Kreis (Modulationsbeginn über Schräglagengrenze) eine Schräglage von 30,3° festgestellt. Im Rahmen der Fahrversuche im Straßenverkehr wurden mit dem Versuchsmotorrad insgesamt 1 290 km zurückgelegt. Im Straßenverkehr wurde bei einer Bremsung ein Eingriff des Kurven-ABS über der Schräglagengrenze von 20° detektiert. 25 Eingriffe wurden unter der Schräglagengrenze von 20° festgestellt und somit vom ABS durchgeführt. Im Median betrug die Schräglage zu Beginn der Modulation 1,9°.

Die erste Forschungsfrage wurde dahingehend beantwortet, dass die folgenden fahrdynamischen Unterschiede zwischen Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS festgestellt wurden:

Obwohl während der Bremsung die Aufstelltendenz (Maximalwert der Rollrate) durch die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS verringert war, konnte der vorgegebene Kurvenradius (Bodenmarkierung) nicht besser gehalten werden. Es konnte keine Verkürzung des Bremswegs aufgrund des Kurven-ABS ermittelt werden. Die mittlere Bremsverzögerung war mit Kurven-ABS geringer als mit ABS. Eine stärkere Betätigung der Vorderradbremse mit Kurven-ABS konnte nicht festgestellt werden. Die Probanden/-innen stellten vor Bremsbeginn das Motorrad aktiv auf. Es wurde ein geringeres Aufstellen des Motorrads vor Bremsbeginn mit Kurven-ABS erkannt. Dies resultierte wahrscheinlich aus einem gesteigerten Vertrauen der Probanden/-innen in die Sicherheit von Vollbremsungen mit Kurven-ABS.

Für die zweite Forschungsfrage hinsichtlich eines personenabhängigen Bremsverhaltens beziehungsweise der Feststellung von probandenspezifischen Unterschieden konnte Folgendes festgestellt werden:

Aufgrund des Bremsverhaltens der Probanden/-innen konnte bei einem Großteil der Kurvenbremsungen das Kurven-ABS nicht genutzt werden. Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigten, dass die Schräglage bei Kurvendurchfahrt nicht der Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation gleichgesetzt werden kann. Im Median waren die Schräglagen zu Beginn der Modulation im Vergleich zur Schräglage während dem Durchfahren der Kurve um ca. die Hälfte verringert. Beim Fahrmanöver Kuppe betrug die Schräglage vor Bremsbeginn 31,2° und zu Beginn der Bremsdruckmodulation 15,0° (Medianwerte).

17 von 55 Proband/-innen (31 %) führten zumindest eine Bremsung mit Kurven-ABS und mit ABS durch, welche bei einer Schräglage von mindestens 20° zu Modulationsbeginn festgestellt wurde. Damit hätten auch nur diese Probanden/-innen eine aussagekräftige subjektive Bewertung des Unterschieds zwischen ABS und Kurven-ABS durchführen können. Die probandenspezifische Auswertung der Bremsungen des Fahrmanövers Kreis ergab, dass nur 5 von 55 der Probanden/-innen bezogen auf den Medianwert eine Schräglage von zumindest 20° zum Zeitpunkt des Modulationsbeginns des Bremsdrucks erreichten. Vor Bremsbeginn wurde jedoch im Median bei 54 der 55 Probanden/-innen eine Schräglage von über 20° festgestellt. Auch die Auswertung der Anzahl an Bremsungen mit Modulationsbeginn unter und über der Schräglagengrenze zeigt, dass nur wenige Probanden/-innen wiederholt die Schräglagengrenze des Kurven-ABS zu Modulationsbeginn erreichen konnten. Bei 27 Probanden/-innen wurde zu Modulationsbeginn eine Schräglage von zumindest 20° und darüber bei maximal 10 % der Bremsungen festgestellt und bei elf Probanden/-innen waren zwischen 10 und 20 % der Bremsungen über der Schräglagengrenze von 20°. Nur vier Probanden/-innen erreichten zu Modulationsbeginn bei über 50 % der Bremsungen eine Schräglage von mindestens 20°.

Die Anteile der Bremsungen ohne Eingriff (weder konventionelles ABS noch Kurven-ABS) war beim Fahrmanöver Kuppe größer (22 %) als der Anteil mit einem Eingriff des Kurven-ABS (17 %). Beim Fahrmanöver Kreis wurde bei 14 % der Bremsungen kein Eingriff festgestellt. Beim Fahrmanöver Kuppe wurde bei 98 % der Bremsungen eine Schräglage von zumindest 20° und darüber vor Bremsbeginn festgestellt. Ein Eingriff des Kurven-ABS erfolgte bei 17 % der Bremsungen dieses Fahrmanövers. Beim Fahrmanöver Kreis wurde bei 82 % der Bremsungen eine Schräglage von zumindest 20° eine Sekunde vor Bremsbeginn erreicht. Ein Eingriff des Kurven-ABS erfolgte jedoch nur bei 19 % der Bremsungen.

Aus den Ergebnissen der Fahrversuche konnte abgeleitet werden, dass eine personenabhängige Bremsbetätigung der Probanden/-innen bezüglich der Stärke der Betätigung der vorderen Bremse existiert. Die wiederholten Bremsungen desselben/derselben Probanden/-in wiesen eine relativ geringe Streuung auf. Es wurde kein Trend zu Lerneffekten bei den sechs Probanden/-innen, welche den Versuchsdurchgang mehrmals absolvierten, beobachtet. Etwa bei der Hälfte der Probanden/-innen wurde eine positive Lernkurve, bei der anderen Hälfte eine negative Lernkurve vom ersten zum zweiten Versuchsdurchgang beobachtet. Betrachtet wurden die Kennwerte der Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn (Aufstellen durch Probanden/-innen), der Stärke der Betätigung der Vorderradbremse und der Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Berücksichtigung des Fahrverhaltens und die Fahrtechnik der Probanden/-innen, insbesondere

der bezugnehmend auf die Bremsbetätigung bis zum Erreichen des Modulationsbeginns des Bremsdrucks von großer Bedeutung sind.

Folgende Erkenntnisse konnten für die dritte Forschungsfrage, bezüglich des Meinungsbilds der motorradfahrenden Bevölkerung zu Kurven-ABS und etwaiger Änderungen dieser, wenn Motorradfahrer/-innen Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS durchgeführt haben, festgestellt werden:

Die Online-Befragung (n = 492) zeigte, dass die Mehrheit der Motorradfahrer/-innen dem Kurven-ABS positiv gegenüberstand, unabhängig davon, ob die Befragten selbst ein Motorrad mit Kurven-ABS besaßen oder keine Kurven-ABS Erfahrung hatten. 92 % der befragten Personen waren der Meinung, dass das Kurven-ABS dazu beitragen könnte, Motorradunfälle zu verhindern. 75 % würden dem System vertrauen und 73 % hätten selbst gern ein Motorrad mit Kurven-ABS. Die Mehrheit der Motorradfahrer/-innen möchte jedoch das Kurven-ABS bei Bedarf abschalten können. Die Akzeptanz hinsichtlich Kurven-ABS steigt bei Motorradfahrer/-innen, deren eigenes Motorrad mit Assistenzsystemen ausgestattet ist und die sich durch Assistenzsysteme sicherer beim Motorrad fahren fühlen und unter Umständen sogar schon positive Erfahrungen mit Assistenzsystemen gemacht haben. Vonseiten der Motorradfahrer/-innen ist daher, laut den empirischen Ergebnissen, von einer hohen Akzeptanz des Systems und einer positiven Erwartungshaltung gegenüber dem System auszugehen.

Dies konnte auch durch die Befragung der Probanden/-innen vor und nach den Fahrversuchen am Testgelände bestätigt werden. 84 % der Probanden/-innen, bei denen das Kurven-ABS zumindest einmal eingegriffen hatte, gaben an, einen Eingriff des Kurven-ABS gespürt zu haben. Von den Probanden/-innen, bei denen das Kurven-ABS überhaupt nicht eingegriffen hat, waren jedoch auch 58 % der Probanden/-innen der Meinung, einen Eingriff gespürt zu haben. Obwohl die Zustimmung, die Spur besser halten zu können, nach der Versuchsdurchführung signifikant niedriger war und die Nennungen eines längeren Bremswegs zunahm, wurden die Erwartungen der Probanden/-innen in das Kurven-ABS laut Befragung größtenteils erfüllt.

5 Fazit

Jedem einzelnen der 55 Probanden/-innen wurde es aufgrund des Versuchsablaufs ermöglicht, sich an die persönliche Wohlfühlgrenze, bezogen auf die Durchführung von Vollbremsungen in Kurvenfahrten, heranzutasten. Die Fahrmanöver wurden so entwickelt, dass aufgrund der zu fahrenden Radien und Geschwindigkeiten eine Schräglage von zumindest 20° und darüber leicht erreicht wurde.

Ab einer Schräglage von 20° und darüber wurde ein Eingriff des Kurven-ABS festgestellt. Die Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS erfolgte zu einem früheren Zeitpunkt und bei einem

niedrigeren Bremsdruck als die des konventionellen ABS. Durch die Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS war der Geschwindigkeitseinbruch des Vorderrads im Vergleich zum ABS verringert. Nach dem Beginn der Bremsdruckmodulation erfolgte beim Kurven-ABS ein flacherer Anstieg des modulierten Bremsdrucks am Vorderrad, als dies beim ABS der Fall war.

Obwohl während der Bremsung die Aufstellendenz durch die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS verringert war, konnte der vorgegebene Kurvenradius (Bodenmarkierung) nicht besser gehalten werden. Es konnte keine Verkürzung des Bremswegs aufgrund des Kurven-ABS ermittelt werden. Die mittlere Bremsverzögerung mit Kurven-ABS war niedriger als mit ABS. Es konnte auch keine stärkere Betätigung der Vorderradbremse mit Kurven-ABS festgestellt werden.

Die Probanden/-innen stellten vor Bremsbeginn das Motorrad aktiv auf. Es wurde bei Bremsungen mit Kurven-ABS ein geringeres Aufstellen des Motorrads vor Bremsbeginn erkannt. Dies resultierte wahrscheinlich aufgrund eines, auch in der Befragung ermittelten, hohen Vertrauens in die Sicherheit von Kurven-ABS. Das Aufstellen vor Bremsbeginn war beim Fahrmanöver Kuppe größer als beim Fahrmanöver Kreis. Beim Fahrmanöver Kuppe konnten die Probanden/-innen die Fahrlinie innerhalb des Fahrsteifens frei wählen, wohingegen beim Fahrmanöver Kreis die Fahrlinie durch eine Bodenmarkierung vorgeben war.

Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigten deutlich, dass die Schräglage beim Durchfahren der Kurve nicht den Schräglagen zu Beginn der Bremsdruckmodulation eines ABS oder Kurven-ABS gleichgesetzt werden kann. Im Vergleich zur Schräglage bei Kurvendurchfahrt waren die Schräglagen zu Beginn der Bremsdruckmodulation im Median um 40 bis 50 % geringer. Beim Fahrmanöver Kuppe (Schalterstellung Kurven-ABS) wurde im Median eine Reduktion der Schräglage in diesem Zeitintervall von $16,8^\circ$ gemessen. Vor Bremsbeginn wurde bei 98 % der Bremsungen dieses Fahrmanövers eine Schräglage von zumindest 20° und darüber festgestellt. Jedoch wurde zu Modulationsbeginn nur bei 17 % der Bremsungen die Schräglagengrenze des Kurven-ABS erreicht. Bei 22 % der Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe fanden weder ein Eingriff des ABS noch des Kurven-ABS statt.

Beim Fahrmanöver Kreis wurde mit Schalterstellung Kurven-ABS bei von 14 % der Bremsungen festgestellt, dass kein Eingriff stattgefunden hatte (weder ABS noch Kurven-ABS). Bei 19 % der Bremsungen fand ein Eingriff des Kurven-ABS statt. Eine Sekunde vor Bremsbeginn wurde bei 82 % der Bremsungen eine Schräglage von mindestens 20° und darüber festgestellt.

Einige Probanden/-innen absolvierten den Versuchsdurchgang mehrmals. Der Vergleich des ersten und zweiten Versuchsdurchgangs zeigte, basierend auf der Schräglage zu Modulationsbeginn, dass kein Trend eines Lerneffekts erkannt werden

konnte. Die Lernkurven der Probanden/-innen waren sowohl positiv als auch negativ. Die festgestellten Unterschiede zwischen den verschiedenen Probanden/-innen waren größer als der Lerneffekt des/der einzelnen Probanden/-in mit zunehmender Anzahl an durchgeführter Bremsungen in der Kurve.

Die durchgeführte Online-Befragung zeigte, dass mit einer hohen Akzeptanz des Kurven-ABS gerechnet werden kann. Die Mehrheit der Motorradfahrer/-innen stand dem Kurven-ABS positiv gegenüber. Über 90 % waren der Meinung, dass das Kurven-ABS dazu beitragen kann, Motorradunfälle zu verhindern. Drei Viertel der Befragten gaben an, dem System zu vertrauen, und über 70 % hätten selbst gern ein Motorrad mit Kurven-ABS.

Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigten, dass das personenabhängige Fahrverhalten besonders berücksichtigt werden muss. Insbesondere das Bremsverhalten und das Aufstellen des Motorrads durch die Motorradlenker/-innen waren von großer Bedeutung. Die Einflüsse dieser Faktoren auf eine Vollbremsung bei einer Kurvendurchfahrt und auf den Eingriff des Kurven-ABS beziehungsweise ABS sind nicht von der Hand zu weisen.

Zusammenfassend konnte, auf Basis der durchgeführten Fahrversuche, kein wesentlicher Vorteil des Kurven-ABS gegenüber dem ABS bei Kurvenbremsungen festgestellt werden. Dies bezogen auf Probanden/-innen unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Fahrerfahrung.