
Motorrad Kurven-ABS MOKABS

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Fahrzeugtechnik Heft F 162

Motorrad Kurven-ABS MOKABS

von

Nico Erlinger, Marianne Kraut, Ernst Tomasch

Technische Universität Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit
Graz, Österreich

Karin Ausserer, Jannik Rieß, Clemens Kaufmann

Factum
Wien, Österreich

Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der BASt, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG bezogen werden. Seit 2015 stehen sie zusätzlich als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung: <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.0692
Motorrad Kurven-ABS

Fachbetreuung:
Julia Bräutigam

Referat:
Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsysteme

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck, Verlag und Produktsicherheit:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307 | ISBN 978-3-95606-840-9 | <https://doi.org/10.60850/bericht-f162>

Bergisch Gladbach, März 2025

KURZFASSUNG

Motorrad Kurven-ABS – MOKABS

Auf Grund der positiven Wirkung von ABS, ist dieses seit Jänner 2017 in der Europäischen Union bei Motorrädern über 125 cm³ gesetzlich vorgeschrieben. Einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn bei Kurvenbremsungen soll das, erstmals im Jahr 2013 vorgestellte, Kurven-ABS bieten. Das Ziel dieser Studie war es, mögliche Vorteile des Kurven-ABS gegenüber konventionellem ABS anhand von Fahrversuchen durch Motorradfahrer/-innen unterschiedlichen, Alters, Geschlechts und Fahrerfahrung zu beurteilen.

Die Meinungen zu Kurven-ABS der motorradfahrenden Bevölkerung wurden, anhand von Fokusgruppen und einer Online-Befragung, untersucht, wobei die Fokusgruppen als Vorbereitung für die Online-Befragung dienten. Die Online-Befragung ermöglichte ein breites Meinungsbild der motorradfahrenden Bevölkerung in Bezug auf das Kurven-ABS einzufangen.

Für die Studie wurden Fahrmanöver und ein Versuchsablauf entwickelt. Die Fahrmanöver wurden so aufgebaut, dass sie den Probanden/-innen größtmögliche Sicherheit boten aber dennoch Messdaten von Vollbremsungen, während der Kurvenfahrt erhoben werden konnten. Für die Aufzeichnung der fahrdynamischen Daten, wurde eine KTM 790 Duke entsprechend ausgerüstet. Durch einen, am Lenker für die Probanden/-innen sichtbar montierten, Schalter konnte entweder das Kurven-ABS oder das konventionelle ABS aktiviert werden.

Die durchgeführte Online-Befragung zeigte, dass die Mehrheit der Motorradfahrer/-innen dem Kurven-ABS positiv gegenüberstand. Über 90% waren der Meinung, dass das Kurven-ABS dazu beitragen könnte, Motorradunfälle zu verhindern und drei Viertel der Befragten gaben an, dem System zu vertrauen.

Obwohl jedem der 55 Probanden/-innen es ermöglicht wurde, sich an die persönliche Wohlfühlgrenze, bezogen auf die Durchführung von Vollbremsungen während der Kurvenfahrt, heranzutasten, wurde bei einem Großteil der Bremsungen das Kurven-ABS nicht genutzt. Ab einer Schräglage von 20° und darüber wurde ein Eingriff des Kurven-ABS festgestellt. Da die Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS, zu einem früheren Zeitpunkt und bei einem niedrigeren Bremsdruck erfolgt als die des konventionellen ABS, war der Geschwindigkeitseinbruch des Vorderrades verringert. Nach dem Beginn der Bremsdruckmodulation erfolgte beim Kurven-ABS ein flacherer Anstieg des modulierten Bremsdruckes am Vorderrad, als dies beim ABS der Fall war.

Obwohl, während der Bremsung, die Aufstellendenz (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 Bremsweges aufgrund des Kurven-ABS ermittelt werden. Die mittlere Bremsverzögerung mit Kurven-ABS war niedriger als mit ABS. Es konnte 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 jedoch ein geringeres Aufstellen des Motorrades vor Bremsbeginn erkannt.

Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigen deutlich, dass die Schräglage beim Durchfahren der Kurve, nicht mit der Schräglage 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. Vor Bremsbeginn wurde bei 98% der Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe eine Schräglage von zumindest 20° und darüber festgestellt. Zu Modulationsbeginn war der Anteil an Bremsungen ohne Eingriff (weder ABS noch Kurven-ABS) größer als der Anteil an Bremsungen, bei denen die Schräglagengrenze des Kurven-ABS erreicht wurde (17%). Bei wiederholter Teilnahme an den Fahrversuchen konnte bei den Probanden/-innen kein Lerneffekt hin zu größeren Schräglagen festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigen, 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 bzw. ABS sind nicht von der Hand zu weisen.

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

ABSTRACT

Fundamental research on motorcycle cornering ABS

Due to the positive effect of ABS, this has been legally required for motorcycles over 125 cm³ since January 2017 by the EU Regulation 168/2013. Cornering ABS, first presented in 2013 by Bosch and KTM as part of Motorcycle Stability Control (MSC), is intended to provide an additional safety benefit during braking while cornering. The aim of this study was to assess possible advantages of cornering ABS over conventional ABS, based on driving tests by motorcyclists of different, ages, gender and riding experience.

The opinions about cornering ABS of the motorcycling population were mapped using focus groups and an online survey. The focus groups served the basis for the online survey. The online survey allowed to capture the opinion of the motorcycling population on the extent to which cornering ABS is accepted by motorcyclists.

Specific driving manoeuvres and a test procedure were developed for this study. The driving manoeuvres should offer the maximum possible safety for the test subjects, but still allow measurement data to be collected from full braking during cornering. The test subjects should increase the speed and lean angle, according to their driving skills, but not exceed their personal comfort limit. In order to achieve the greatest possible number of braking manoeuvres at lean angles of 20° and above, a bend radius of 20 m (manoeuvre crest) and a circle radius of 29 m (manoeuvre circle) were selected. For the recording of the driving dynamic data, a KTM 790 Duke was equipped accordingly. Either the cornering ABS or the conventional ABS could be activated by means of a switch mounted on the handlebar.

The online survey showed that the majority of motorcyclists had a positive attitude towards cornering ABS. Over 90% felt that cornering ABS could help prevent motorcycle accidents and three quarters of respondents said they would trust the system.

Although the test procedure enabled each of the 55 test subjects to approach their personal comfort limit and performing full brakings during cornering, for the majority of the braking manoeuvres the cornering ABS was not used.

From a lean angle of 20° and above, an intervention by the cornering ABS was detected. The brake pressure modulation of the cornering ABS, starts at an earlier time and thus at a lower brake pressure than that of the conventional ABS. Due to the brake pressure modulation of the cornering ABS, the speed drop of the front wheel, compared to the conventional ABS, was reduced.

Although, during braking, the tendency of the motorcycle to reduce the lean angle was reduced by the cornering ABS, the specified circle radius (ground marking) could not be followed better. No reduction in braking distance due to the cornering ABS could be determined. The mean braking deceleration with cornering ABS was lower than with ABS. It was also not possible to determine a stronger application of the front brake with cornering ABS.

The test subjects actively reduced the lean angle of the motorcycle before starting to brake. During braking with cornering ABS, the lean angle of the motorcycle was reduced less compared to conventional ABS before braking.

The results of the driving tests clearly showed that the lean angle when driving through in a bend can be equated with the lean angle at the beginning of the brake pressure modulation of a conventional ABS or cornering ABS. Compared to the lean angle when driving in a bend, the median lean angle at the beginning of the start of brake pressure modulation were 40% to 50% lower. Before the start of braking, a lean angle of at least 20° and above was observed in 98% of the brakings of the manoeuvre crest. At the beginning of the modulation, the proportion of braking without intervention (neither ABS

nor ABS cornering) was greater than the proportion of brakings reaching the lean angle limit of the cornering ABS (17%). No learning effect towards greater lean angles could be detected for test subject participating the test procedure more than once.

The results of the driving tests showed that special attention must be paid to person-dependent driving behaviour. In particular, the braking behaviour and the driving characteristics by the motorcycle riders were of great importance. The influence of these factors on full braking manoeuvres during cornering and on the intervention of the cornering ABS or the conventional ABS cannot be neglected.

In summary, on the basis of the driving tests carried out, no significant advantage of cornering ABS compared to the conventional ABS could be determined for braking during cornering. This applied to test subjects of different ages, genders and driving experience.

SUMMARY

Fundamental research on motorcycle cornering ABS

1. INTRODUCTION AND OBJECTIVE

In Germany, approximately 28000 motorcycle accidents with personal injury occur every year. In the period from 2008 to 2017, the number of motorcyclists (rider and passenger) killed each year decreased to 579 (-11 %), but the number of severe injured riders hardly changed 9555 (+1 %). Single vehicle accidents account for the largest proportion of accidents involving motorcyclists with personal injury (approximately 30%).

Due to the positive effect of ABS on accident avoidance, ABS has been a legally required for motorcycles over 125 cm³ since January 2017 by the EU Regulation 168/2013. Cornering ABS, first presented by Bosch and KTM in 2013 as part of Motorcycle Stability Control (MSC), is intended to provide an additional safety benefit during cornering braking. According to the manufacturer, the cornering ABS is used for braking with a lean angle of at least 20° and above. The brake pressure is modulated by manufacturer-dependent algorithms in such a way that wheel lock is prevented and full braking is possible when cornering. By avoiding wheel lock, the stability of the motorcycle is maintained during braking. Mainly because of the reduced brake steering torque, the cornering ABS should enable the motorcyclist to better follow the driving line when cornering, during full braking. Due to the positive effects of ABS on the number of accidents, there is also the motivation to examine the potential of cornering ABS in comparison to conventional ABS.

The objective of this study was to identify possible differences between cornering ABS and conventional ABS by means of driving tests with motorcyclists of different driving experience, gender and age. A possible effectiveness of the cornering ABS compared to the conventional ABS was determined on the basis of hypotheses and subject-specific evaluations.

The following research questions were answered based on the evaluation of driving dynamics data and survey data from motorcyclists:

- "What differences in driving dynamics can be identified in motorcyclists of different driving experience due to cornering ABS?"
- "Can a person-dependent braking behaviour or can subject-specific differences be identified that influence the range of application of the cornering ABS?"
- "What is the opinion of the motorcycling population on cornering ABS and does the opinion of motorcyclists change due to the execution of full braking with focus on ABS and cornering ABS?"

2. SURVEY OF EXPECTATIONS REGARDING CORNERING ABS

The opinions about cornering ABS of the motorcycling population were mapped using focus groups and an online survey. The focus groups served as the basis for the online survey, in which factors were

identified that determine individual riding behaviour and influence the acceptance of assistance systems. The online survey allowed to capture the opinion of the motorcyclist population on the extent to which cornering ABS is accepted by motorcyclists. The general impressions and expectations of motorcyclists with regard to assistance system and in particular, to a cornering ABS system were analysed. The sample consisted of motorcyclists who had never ridden a motorcycle with cornering ABS and did not own a motorcycle with cornering ABS themselves, as well as respondents who had experience with cornering ABS. Based on the results of the online survey, a questionnaire was developed for the driving tests at the test site, in order to collect the opinions of the test subjects before the driving tests and to compare them with their experiences and impressions after the driving tests with cornering ABS and conventional ABS.

3. DRIVING TESTS

Specific driving manoeuvres and a test procedure were developed in order to determine the differences between cornering ABS and conventional ABS on the basis of objective driving dynamics values. The driving manoeuvres should offer the maximum possible safety for the test subjects, but still allow measurement data to be collected from full braking during cornering. The test subjects should increase the speed and lean angle, according to their driving skills, but not exceed their personal limit. The test subjects completed the driving manoeuvres with ABS and with cornering ABS. In order to be able to evaluate possible learning effects, the test subjects were divided into two groups. 27 subjects completed the test run in the order ABS and cornering ABS and 28 subjects in the order cornering ABS and ABS.

A bend radius of 20 m (manoeuvre crest) and a circle radius of 29 m (manoeuvre circle) were chosen to ensure the highest possible number of brakings by the test subjects, with lean angles of 20° and above. The driving manoeuvres included brakings from the circle manoeuvre with a given driving line (road marking) and the crest manoeuvre. During the crest manoeuvre, the test subjects should choose their driving line within their lane. This driving manoeuvre was developed to determine possible differences if the test subjects show different braking behaviour when they are free to choose their driving line compared to predefined driving line. To ensure the representativeness of the driving tests at the test site, driving tests were carried out in road traffic. The test subjects should follow predefined road sections and sections which could be freely selected. The initial values of lean angle and speed of the driving manoeuvres at the test site were compared with the measured data of the driving tests in road traffic when driving in bends.

For recording the vehicle dynamics data, a KTM 790 Duke was equipped with an inertial navigation system and a CAN data logger. The inertial navigation system was used to measure accelerations, the speed, angular velocities, the lean angle and the pitch angle, as well as the riding trajectories. In addition to the data from the motorcycle's control unit, the motorcycle was equipped with pressure sensors after the brake pump at the front wheel and at the brake calliper of the rear wheel. Either the cornering ABS or the conventional ABS could be activated by means of a switch visibly mounted and labelled on the handlebar.

4. RESULTS

In total the vehicle dynamics data of 1547 full brakings of 55 test subjects during 67 test runs were recorded. During a test run, each test subject performed approximately 23 full braking manoeuvres. The curve-adaptive brake pressure modulation of the cornering ABS could be determined starting by a lean angle of 20° and above. Compared to the ABS, the cornering ABS started to modulate the brake pressure at an earlier time and thus at a lower brake pressure. This reduced the front wheel speed drop. With activated cornering ABS under a lean angle of 20° and for all braking with conventional ABS, no dependence of the system intervention on the lean angle could be determined.

The comparison of lean angles and speeds when riding in bends showed a good agreement between the developed driving manoeuvres during the driving tests at the test site and the values of the driving tests in road traffic for the respective bend radius range. The median lean angle for the road tests (Griffnerberg) was 33.0°, for the crest manoeuvre 31.1° and for the manoeuvre circle (start of modulation above the lean angle limit) 30.3°. During the road tests, a total of 1290 km were covered with the test motorcycle. In road traffic, an intervention of the cornering ABS was detected during one braking manoeuvre. 25 interventions were detected below the lean angle limit of 20° and thus performed by the ABS. The median lean angle at the start of the modulation was 1.9°.

For the first research question the following differences in driving dynamics were found between braking with ABS and cornering ABS:

Although, during braking, the behaviour of the motorcycle to reduce the lean angle (maximum value of roll rate) was reduced by the cornering ABS, the given bend radius (ground marking) could not be followed better. No reduction in braking distance, due to the cornering ABS could be determined. The mean braking deceleration was lower with cornering ABS compared to conventional ABS. A stronger application of the front brake with cornering ABS could not be determined. The test subjects actively reduce the lean angle before starting to brake. A lower reduction of the lean angle of the motorcycle before the start of braking was detected with cornering ABS. This probably resulted from an increased confidence of the test subjects in the safety of braking with cornering ABS.

For the second research question regarding a person-dependent braking behaviour or the detection of subject-specific differences the following could be determined:

Due to the braking behaviour of the test subjects, the cornering ABS was not used by the test subjects for most of the full brakings during cornering. The results of the driving tests showed that the lean angle when riding through bends cannot be equated to the lean angle at the start of the brake pressure modulation. On median, the lean angles at the start of the modulation were reduced approximately 50% compared to the lean angle during cornering. During the crest manoeuvre, the lean angle before the start of braking was 31.2° and at the start of brake pressure modulation the lean angle was reduced to 15.0° (median values).

17 of 55 subjects (31%) performed at least one braking manoeuvre with cornering ABS and with conventional ABS at a lean angle of at least 20° at the start of modulation. This means that only these test subjects would have been able to make a meaningful subjective assessment of the difference between ABS and cornering ABS. The subject-specific evaluation of the braking manoeuvres of the manoeuvre circle showed that only 5 out of 55 of the test subjects, based on the median value, achieved a lean angle of at least 20° at the time of the start of modulation of the brake pressure. However, before the start of braking 54 of the 55 test subjects had a median lean angle of more than 20°. The evaluation of the number of braking manoeuvres with modulation start below and above the lean angle limit also shows that only a few subjects were able to repeatedly reach the lean angle limit of the cornering ABS at the start of modulation. For 27 test subjects, a lean angle of at least 20° and above was detected in a maximum of 10% of the brakings at the start of modulation and eleven test subjects had a lean angle above 20° for 10% to 20% of their braking manoeuvres. Only four test subjects achieved a lean angle of at least 20° at the start of modulation for more than 50% of their brakings.

The shares of brakings without intervention (neither conventional ABS nor cornering ABS) was greater for the crest manoeuvre (22%) than the shares with intervention of the cornering ABS (17 %). During the crest manoeuvre, a lean angle of at least 20° and above one second before the start of braking was determined in 98% of the brakings. The cornering ABS intervened in 17% of the braking manoeuvres. For the manoeuvre circle no intervention was detected in 14% of the brakings. In the manoeuvre circle, a lean angle of at least 20°, was reached before the start of braking, in 82% of the braking manoeuvres. However, the cornering ABS only intervened in 19% of the braking manoeuvres.

From the results of the driving tests, it could be concluded that a subject-dependent brake application of the test subjects exists with regard to the strength of the application of the front brake. The repeated brake applications of the same test subject showed a relatively low variation. No trend towards learning effects was observed for the six test subjects who completed the test run more than once. A

positive learning effect was observed for about half of the test subjects, and negative learning effects for the other half from the first to the second test run. The values of the reduction of the lean angle before the start of braking (by the test subjects), the strength of the front wheel brake application and the lean angle at the start of brake pressure modulation were considered.

The results show that the consideration of the driving behaviour and the driving technique of the test subjects are of great importance, especially with regard to the brake application until the start of the brake pressure modulation.

The following findings were identified for the third research question, regarding the opinion of the motorcyclist population of cornering ABS and possible changes their opinion when motorcyclists have performed braking with conventional ABS and cornering ABS:

The online survey (n=492) showed that the majority of motorcyclists were positive about cornering ABS regardless of whether the respondents themselves owned a motorcycle with cornering ABS or had no cornering ABS experience. 92% of the respondents felt that cornering ABS could help to prevent motorcycle accidents. 75% would trust the system and 73% would like to have a motorcycle with cornering ABS themselves. However, the majority would like to be able to switch off the cornering ABS if they want. Acceptance of cornering ABS was increased among motorcyclists whose own motorcycle is equipped with assistance systems. They feel safer when riding their motorcycle because of the assistance system and possibly have had positive experiences with assistance systems. According to the empirical results, it can be assumed that there is a high level of acceptance of the system and a positive expectation towards cornering ABS.

This was also confirmed by the survey of the test subjects before and after the driving tests at the test site. 84% of the test subjects for whom the cornering ABS intervened at least once stated that they had felt an intervention by the cornering ABS. The test subjects who had no intervention of the cornering ABS at all, however 58% of the test subjects were still of the opinion that they had felt an intervention. Although the agreement to be able to follow the driving line better was significantly lower after the test and the mentions of a longer braking distance increased, the expectations of the test subjects towards in the cornering ABS were largely fulfilled according to the survey.

5. CONCLUSION

The test procedure enabled each of the 55 test subjects to approach their personal comfort limit and performing full brakings during cornering. The driving manoeuvres were developed that, due to the radii and speeds to be driven, a lean angle of at least 20° and above could be easily achieved.

At a lean angle of 20° and above, an intervention of the cornering ABS was detected. The brake pressure modulation of the cornering ABS, occurs at an earlier time and at a lower brake pressure than that of the conventional ABS. Due to the brake pressure modulation of the cornering ABS, the speed drop of the front wheel, compared to the conventional ABS, was reduced. After the start of brake pressure modulation, a lower increase in modulated front wheel brake pressure occurred with the cornering ABS compared to the conventional ABS.

Although, during braking, the tendency of the motorcycle to reduce the lean angle was reduced by the cornering ABS, the specified circle radius (ground marking) could not be followed better. No reduction in braking distance due to the cornering ABS could be determined. The mean braking deceleration with cornering ABS was lower than with conventional ABS. It was also not possible to determine a stronger application of the front brake with cornering ABS.

The test subjects actively reduced the lean angle of the motorcycle before starting to brake. During braking with cornering ABS, the lean angle of the motorcycle was reduced less compared to conventional ABS before braking. This probably resulted from a higher level of confidence in the safety of cornering ABS, which was also determined by the survey. The lean angle reduction before the start of braking was greater for the crest manoeuvre compared with the circle manoeuvre. In the crest manoeuvre, the test subjects were free to choose their driving line within the lane, whereas in the circle manoeuvre the trajectory was predefined.

The results of the driving tests clearly showed that the lean angle when driving in a bend cannot be equated with the lean angle at the start of the brake pressure modulation of an conventional ABS or cornering ABS. Compared to the lean angle when driving in a bend, the median lean angle at the start of brake pressure modulation were 40% to 50% lower. During the crest manoeuvre, a reduction of the lean angle of 16.8° was measured with cornering ABS. Before the start of braking, a lean angle of at least 20° and above was recorded in 98% of the brakings of this driving manoeuvre (cornering ABS). However, at the start of modulation, the lean angle limit of the cornering ABS was reached only by 17% of the brakings. In 22% of the braking crest manoeuvres, neither the conventional ABS nor the cornering ABS intervened. In the circle manoeuvre with the switch in the cornering ABS position, it was determined that no intervention had taken place (neither conventional ABS nor cornering ABS) in 14% of the braking manoeuvres. In 19% of the braking manoeuvres, the cornering ABS intervened. One second before the start of braking, a lean angle of at least 20° and above was detected in 82% of the brakings.

Several test subjects completed the test run multiple times. Comparison of the first and second runs showed, based on the lean angle at the start of modulation, that no trend of a learning effect could be detected. The learning effect of the test subjects were both positive and negative. The differences found between the test subjects exceeded the learning effect of the individual test subject with increasing number of brakings performed in a bend.

The online survey showed that a high level of acceptance of cornering ABS can be expected. Over 90% were of the opinion that cornering ABS can help prevent motorcycle accidents. Three quarters of the respondents said they trusted the system and over 70% would like to have a motorcycle with cornering ABS themselves.

The results of the driving tests showed that special attention must be paid to person-dependent driving behaviour. In particular, the braking behaviour and the reduction of the lean angle of the motorcycle by the motorcycle riders were of great importance. The influence of these factors on full brakings during cornering and on the intervention of the cornering ABS or conventional ABS cannot be denied. In summary, on the basis of the driving tests carried out, no significant advantage of the cornering ABS compared to the conventional ABS could be determined for braking during cornering. This applied to test subjects of different age, gender and driving experience.

Inhalt

1	Einleitung und Zielsetzung	15
1.1	Motivation	15
1.2	Theoretische Grundlagen - Kurvenfahrt und Kurvenbremsung	15
1.3	Kurven-ABS	17
1.4	Fahrversuche auf Kreisradien	19
1.5	Ausgangslage, Forschungsbedarf und Zielsetzung	20
2	Erwartungshaltung gegenüber Kurven-ABS	22
2.1	Akzeptanz von Assistenzsystemen	22
2.1.1	TAM – Technology Acceptance Modell	22
2.1.2	Modell der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen	23
2.2	Fokusgruppe	24
2.2.1	Ziele und Vorgehensweise	24
2.2.2	Inhalt und Struktur der Fragen	24
2.2.3	Auswertung	25
2.2.4	Stichprobenbeschreibung	26
2.2.5	Wichtigste Ergebnisse	26
2.3	Online-Befragung	27
2.3.1	Ziele und Vorgehensweise	27
2.3.2	Inhalt und Struktur der Fragen	27
2.3.3	Auswertung	27
2.3.4	Stichprobenbeschreibung	28
2.3.5	Sicherheitsbewusstsein	30
2.3.6	Bewertung von Assistenzsystemen allgemein	31
2.3.7	Bewertung von Kurven-ABS	32
2.3.8	Herausforderungen Kurven-ABS	34
2.3.9	Auswirkungen von Kurven-ABS	35
2.3.10	Verpflichtende Einführung Kurven-ABS - Einschulung?	36
2.3.11	Hypothesengeleitete Auswertung	37
2.3.12	Zusammenfassung	39

3 Methode der Fahrversuche _____ 41

3.1	Fahrversuche am Testgelände _____	42
3.1.1	Faktor Mensch bei Fahrversuchen _____	43
3.1.2	Beschreibung des Testgeländes _____	44
3.1.3	Versuchsablauf _____	45
3.1.4	Fahrmanöver _____	47
3.1.5	Probandenbefragung _____	48
3.1.6	Beschreibung der Probandinnen und Probanden _____	48
3.2	Fahrversuche im Straßenverkehr _____	49
3.2.1	Versuchsablauf _____	50
3.2.2	Beschreibung der Probandinnen und Probanden _____	50
3.3	Versuchsmotorrad und Datenaufzeichnung _____	51
3.3.1	Versuchsmotorrad _____	51
3.3.2	Datenaufzeichnung _____	52
3.3.3	Messdatenverarbeitung _____	53
3.3.4	Statistische Auswertung _____	55

4 Ergebnisse der Fahrversuche _____ 57

4.1	Messdaten und Auswertungsgrundlagen _____	57
4.1.1	Grundlagen der Auswertung _____	59
4.1.2	Vergleich von Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS und des ABS _____	63
4.1.3	Modulationsbeginn von ABS und Kurven-ABS _____	65
4.1.4	Einteilung der Auswertegruppen und Definition der Schräglagengrenze _____	67
4.1.5	Vergleichbarkeit der Auswertegruppen _____	70
4.2	Auswertung der Fahrversuche am Testgelände _____	71
4.2.1	Hypothesenbasierte Auswertung _____	72
4.2.2	Probandenspezifische Auswertung _____	80
4.2.3	Lerneffekt über den gesamten Versuchsdurchgang _____	82
4.2.4	Lerneffekt bei wiederholten Versuchsdurchgängen _____	84
4.2.5	Vorherbefragung der Probandinnen und Probanden _____	86
4.2.6	Nachbefragung der Probandinnen und Probanden _____	88
4.2.7	Vergleich Messdaten und Probandenbefragung der Fahrversuche _____	94
4.3	Auswertung der Fahrversuche im Straßenverkehr _____	94
4.4	Vergleich der Ausgangswerte von Schräglage und Geschwindigkeit _____	96

5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	99
5.1	Erwartungshaltung	99
5.2	Einschränkungen	101
5.3	Diskussion	102
6	Fazit	104
7	Literatur	106
8	Tabellen	108
9	Bilder	109
10	Anhang	111
10.1	Anhang A1: Fahrmanöverspezifische Auswertung der Bremsungen unter 20° Schräglage und bei 20° Schräglage und darüber, sowie Bremsungen ohne Eingriff	111
10.2	Anhang A2: Hypothesenbasierte Auswertung Fahrmanöver Kreis	113
10.3	Anhang A3: Schräglage und Geschwindigkeit bei Kurvendurchfahrt	113
10.4	Anhang A4: Anteil der Bremsungen unter und bei min. 20° Schräglage mit Schalterstellung ABS	114
10.5	Anhang B: Leitfaden, Fragebögen, detaillierte Auswertungsergebnisse	115

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

1.1 Motivation

In Deutschland ereignen sich jährlich ca. 28.000 Motorradunfälle mit Personenschaden. Im Zeitraum von 2008 bis 2017 hat sich die Anzahl der jährlich getöteten Motorradfahrer (sowohl Fahrende als auch Beifahrende) auf 579 (-11 %) verringert, während sich die Anzahl der schwerverletzten Fahrer von 9.555 (+1 %) kaum verändert hat. Die fahrleistungsbezogene Unfallbeteiligtenrate für Motorräder lag 2014 ungefähr viermal höher als die für Pkw, die fahrleistungsbezogene Getötetenrate war im selben Jahr zehnmal höher. Alleinunfälle stellen mit einem Anteil von ca. 30 % den größten Teil des Unfallgeschehens von Motorradfahrenden mit Personenschaden dar (Pöppel-Decker, 2021).

Die positiven Auswirkungen von ABS auf die Anzahl und die Schwere von Unfällen wurden in Analysen von Unfallzahlen nachgewiesen (Teoh, 2013; Rizzi et al., 2015). Das erste serienmäßig produzierte ABS-System für Motorräder wurde 1988 als Sonderausstattung vorgestellt (Der Spiegel, 1988). Seit 1. Januar 2017 ist ein ABS-System, bei Erstzulassungen von Motorrädern über 125 ccm, in der EU gesetzlich vorgeschrieben (EU 168/2013, 2013).

Aufgrund der immer noch erheblichen Anzahl von getöteten Motorradfahrenden und der bereits nachgewiesenen positiven Auswirkungen von ABS auf die Unfallzahlen besteht die Motivation, auch das Potenzial des Kurven-ABS im Vergleich zum konventionellen ABS zu untersuchen.

1.2 Theoretische Grundlagen - Kurvenfahrt und Kurvenbremsung

Bei einer Kurvenfahrt weist das Motorrad eine Schräglage und damit einen Neigungswinkel, welcher als Rollwinkel λ bezeichnet, wird auf. Während der stationären Kreisfahrt ist der Rollwinkel so groß, dass die Resultierende aus der Fliehkraft und der Gewichtskraft durch den Radaufstandspunkt verläuft, s. Bild 1-1. Für die stationäre Kreisfahrt unter Vernachlässigung der Reifenbreite ergibt sich mit folgender Formel der theoretische Rollwinkel λ_{th} (die folgenden fahrdynamischen Erläuterungen im Abschnitt 1.2 sind wiedergegeben nach Schröter et al., 2015; Stoffregen, 2018):

$$\lambda_{th} = \arctan\left(\frac{F_h}{F_v}\right) = \arctan\left(\frac{m \ddot{y}}{m g}\right) = \arctan\left(\frac{v^2}{g R}\right) \quad \text{Formel (1-1)}$$

Dabei ist F_v die Gewichtskraft des Motorrads, m die Masse, F_h die Fliehkraft, $\ddot{y}$ die Querbewegung, g die Erdbeschleunigung, v die Fahrgeschwindigkeit und R der Kurvenradius, welcher durchfahren wird. Der Rollwinkel ist von der Querbewegung des Motorrads abhängig und mit dem maximalen Reibwert μ_{max} , kann der theoretische maximale Rollwinkel λ_{max} berechnet werden. Der maximale Reibwert μ_{max} kann bei modernen Motorradreifen unter optimalen Bedingungen auf trockener Fahrbahn ca. 1,2 erreichen. Damit wäre ein maximaler theoretischer Rollwinkel $\lambda_{th,max}$ von bis zu ca. 50° möglich.

$$\lambda_{th,max} = \arctan(\mu_{max}) \quad \text{Formel (1-2)}$$

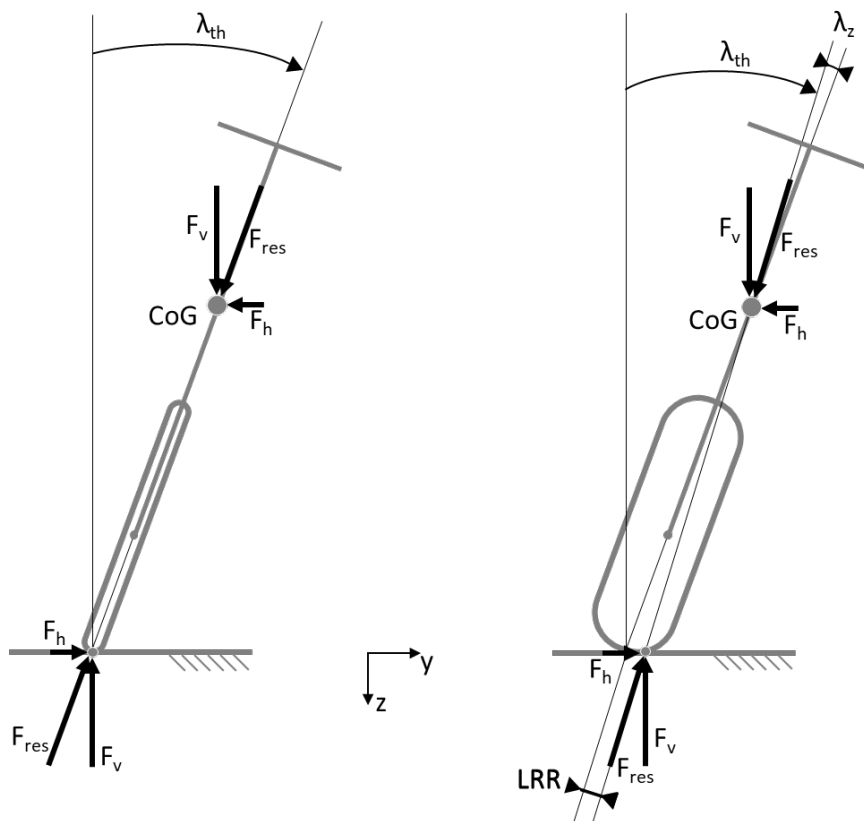


Bild 1-1: Radaufstandspunkt mit angreifenden Kräften am unendlich schmalen Reifen (links) und am real breiten Reifen (rechts) (ähnliche Abbildungen in: Funke (2006); Seiniger (2009); Schröter et al. (2013); Schröter et al. (2015); Stoffregen (2018))

Der Radaufstandspunkt unter der Vereinfachung eines unendlich schmalen Reifens liegt in der Symmetrieebene des Motorrades (Bild 1-1, links). Unter Berücksichtigung der Reifenbreite wandert der Radaufstandspunkt bei Kurvenfahrt aus der Symmetrieebene des Motorrades aus (Bild 1-1, rechts). Das Motorrad neigt sich soweit um die Reifenaufstandslinie, welche durch den Schwerpunkt verläuft, bis sich die aus der Fliehkraft F_h und der Gewichtskraft F_v ergebenden Momente um die Reifenaufstandslinie ausgleichen. Wird also die Reifenbreite nicht vernachlässigt, so ist ein zusätzlicher Neigungswinkel notwendig um das Gleichgewicht zu erhalten. Die tatsächlich vorhandene Schräglage ist zusätzlich auch von der Schwerpunkthöhe des Motorrades abhängig. Es ergibt sich dadurch ein Zusatzrollwinkel λ_z welcher ungefähr 10 % des theoretischen Rollwinkels ausmacht.

Bei Geschwindigkeiten unter ca. 30 km/h muss der Fahrzeuglenker das Motorrad zusätzlich über Gewichtsverlagerungen und Lenkeinschläge stabilisieren. Werden größere Geschwindigkeiten gefahren, stabilisieren unter anderem die Kreiselkräfte der sich drehenden Räder (rotierende Massen) das Motorrad. Schlagen die Motorradfahrer den Lenker weiter ein, entsteht ein Lenkwinkel, welcher eine Seitenkraft am Vorderrad bewirkt, die wiederum eine Fliehkraft im Schwerpunkt zur Folge hat, welche das Motorrad aufrichtet.

Der Zusatzrollwinkel λ_z wirkt sich vor allem bei Kurvenbremsungen mit Motorrädern aus. Die am Radaufstandspunkt angreifenden Bremskräfte bewirken über den Lenkrollradius (LRR, siehe Bild 1-1, rechts und Bild 1-2) rechts und Bild 1-2) ein Bremslenkmoment, welches ebenfalls durch die Motorradfahrer ausgeglichen werden muss, um die gewünschte Fahrlinie halten zu können. Kann das Bremslenkmoment nicht von den Fahrenden ausgeglichen werden, dreht sich der Lenker nach Kurveninnen und das Motorrad richtet sich auf. Durch den dann größeren Kurvenradius kann damit die geplante Fahrlinie während der Kurvenfahrt verlassen werden.

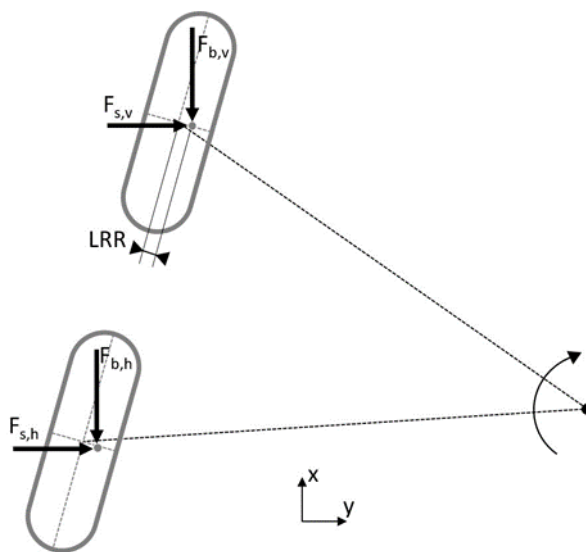


Bild 1-2: Der Angriffspunkt der Bremskraft und Seitenkraft ist um den Lenkrollradius (LRR) von der Symmetrieebene des Motorrades verschoben (ähnliche Abbildungen in: Funke (2006); Seiniger (2009); Schröter et al. (2015))

Kommt es bei ABS-Regelung am Vorderrad zu einer pulsierenden Bremskraft und damit auch zu einem pulsierenden Bremslenkmoment, so wird das Halten der Fahrlinie für die Motorradfahrenden fast unmöglich. Wird das Vorderrad weiterhin bis an die Kraftschlussgrenze überbremst und resultiert daraus eine Radblockade, brechen die stabilisierenden Kreiselkräfte zusammen. Am blockierten Vorderrad werden nur noch Gleitreibwert und radlastabhängige Kräfte entgegen der Bewegungsrichtung übertragen, jedoch keine Seitenführungskräfte F_s mehr. Das hat ein seitliches Wegrutschen des Vorderrades zur Folge. Die Bremskraft F_b , welche entgegen der Bewegungsrichtung des Fahrzeuges angreift, erzeugt eine Gierbewegung, da sich die Radaufstandslinie unter dem Schwerpunkt wegdreht (Schröter et al., 2015; Stoffregen, 2018).

Wird bei maximaler Schräglage die Seitenkraft maximal ausgenutzt, hat dies zur Folge dass die Bremskraft nicht mehr übertragen werden kann. Soll die Seitenkraft bei einer Bremsung aufrechterhalten werden, muss die Bremskraft soweit reduziert werden, dass es zu keiner Blockade des Rades kommen kann. Für die Aufrechterhaltung der Stabilität des Motorrades ist deshalb vor allem wichtig, dass ein Blockieren des Vorderrades verhindert wird. Ein blockiertes Hinterrad ist hingegen vom Fahrzeuglenkenden vergleichsweise leichter beherrschbar und trägt weniger zum Stabilitätsverlust bei. Durch die Bindungskräfte, die eine Haftung der Reifen auf der Oberfläche der Fahrbahn ermöglichen, wird die Bremskraft nur übertragen wenn auch ein entsprechender Schlupf vorhanden ist. Ein Halten der Fahrlinie ist nur solange möglich, solange sich das Rad noch dreht. Ein ABS hat demnach die Aufgabe, über die Modulation des Bremsdruckes eine drohende Blockade des Rades zu vermeiden. Ein Kurven-ABS sollte dabei die Regelung auch in Kurvenfahrt mit großer Schräglage so durchführen, dass das Fahrzeug nicht destabilisiert wird.

1.3 Kurven-ABS

Für die Funktion einer schräglagenabhängigen Bremsstrategie bei Motorrädern werden in der Literatur verschiedene Bezeichnungen verwendet: Kurvenadaptives Bremssystem (Schröter et al., 2015), schräglagentaugliches ABS (Schneider, 2014), schräglagenabhängige Bremskraftregelung (Matschl et al., 2016), kurventaugliches ABS (Stoffregen, 2018) und Kurven-ABS (Möller-Töllner, 2015; Stoffregen, 2018).

Bei kurvenadaptiven Bremssystemen (Kurven-ABS) werden durch herstellerabhängige Algorithmen die Bremsdrücke an den Rädern des Motorrades so moduliert, dass ein Blockieren der Räder verhindert

und starkes Abbremsen bei Kurvenfahrt möglich ist. Durch das Vermeiden einer Radblockade wird die Stabilität des Motorrades während der Bremsung aufrechterhalten.

Bosch und KTM haben erstmals im Jahr 2013 das Motorcycle Stability Control (MSC) vorgestellt. Das MSC beinhaltet, neben mehreren Sicherheitsfunktionen (schräglagenabhängige Traktionskontrolle, wheelie control (Vorderradabhebeerkenung), rear-wheel lift-up control (Hinterradabhebeerkenung)), auch eine kurvenadaptive Bremsdruckmodulation (Lich et al., 2015). MSC nutzt einen Inertialsensor (Bosch MM5.10), um neben zwei Drehraten auch die Beschleunigungen in den drei Raumrichtungen zu erfassen. Diese Daten erlauben die Schätzung unter anderem der Schräglage des Fahrzeugs. Droht eine Radblockade, wird der Bremsdruck so verringert, dass ein Blockieren des Rades verhindert wird. Bei Kurvenfahrt wird weiterhin, unabhängig von möglichen Radblockaden, im Sinne einer Steuerung die mögliche Bremskraft am Vorderrad schräglagenabhängig limitiert. Damit wird der Aufstellneigung des Motorrades während der Kurvenbremsung, entgegengewirkt.

Lich et al. (2015) und Matschl et al. (2016) zeigten eine Bewertung des Kurven-ABS im Vergleich zum konventionellen ABS. Die Bewertung lässt darauf schließen, dass es bis zu einem Schräglagewinkel von 20°, mit der Ausnahme eines Reibwertsprunges von hohem auf niedrigen Reibwert, zu keinem Eingriff der kurvenspezifischen Vorsteuerung des Kurven-ABS kommt. Laut der Bewertung greift das Kurven-ABS bei Bremsungen ab einer Schräglage von rund 20° ein. Eine Auszug der Bewertung von Lich et al. (2015) und Matschl et al. (2016), für Bremsungen auf trockenem Asphalt, ist in Tabelle 1-1 dargestellt.

	ABS	Kurven-ABS (MSC)
Gerade Bremsung	durchführbar	durchführbar
Kurvenbremsung unter 20° Schräglage	durchführbar	durchführbar
Kurvenbremsung zwischen 20° und 30° Schräglage	nicht durchführbar	durchführbar
Kurvenbremsung über 30° Schräglage	nicht durchführbar	durchführbar

Tabelle 1-1: Bewertung von ABS und Kurven-ABS bei Bremsungen auf trockenem Asphalt mit ABS und Kurven-ABS nach Lich et al. (2015) und Matschl et al. (2016)

Lich et al. (2015) bewerteten das Potenzial für eine Unfallvermeidung durch MSC mit Hilfe von rekonstruierten Motorradunfällen aus der Unfalldatenbank „German In-Depth Accident Study“ (GIDAS). Die Ergebnisse zeigten, dass bei einer 100 %igen Einführungsrate von MSC geschätzt 5 % aller Motorradunfälle in Deutschland verhindert werden könnten.

Bis dato sind durchgeführte Fahrversuche zur Ermittlung von möglichen Unterschieden zwischen ABS und Kurven-ABS sowie zur Bewertung des Potenzials von Kurven-ABS in der Literatur nur begrenzt zu finden. Die Veröffentlichungen von, meist mit professionellen Testfahrern, durchgeführten Fahrversuchen mit MSC werden folgend beschrieben:

In Schneider (2014) wurden mit Testfahrern des Magazins MOTORRAD Kurvenbremsungen (Kreisverkehr mit nicht genanntem Durchmesser) mit zwei KTM 1190 Adventure durchgeführt. Bei einem Motorrad war das MSC mit Kurven-ABS aktiviert, bei dem anderen Motorrad nicht. Bei dem Fahrmanöver der simulierten „Panikbremsung/Schreckbremsung“ zogen die Testfahrenden bei beiden Motorrädern „kurzzeitig mit aller Kraft am Handbremshebel“, und mussten bei einer Bremsung mit ABS innerhalb von etwa 0,3 Sekunden die Bremse wieder lösen, um einen Sturz zu verhindern. Im Gegensatz dazu wurde durch die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS die Überbremsung des Vorderrades bei vergleichbarer Betätigung des Bremshebels verhindert. Jedoch zeigte Schneider (2014) auch Vorteile für das konventionelle ABS gegenüber dem Kurven-ABS bei Bremsungen mit ca. 70 km/h Ausgangsgeschwindigkeit und 45°Schräglage: Nach der Anfangsphase der Bremsung wurde für das konventionelle ABS ab ca. 30° Schräglage eine höhere Verzögerung und somit

auch ein kürzerer Bremsweg gemessen. Gleichzeitig wurde mit konventionellen ABS sowohl ein steilerer als auch schnellerer Abfall der Schräglage des Motorrades als mit Kurven-ABS gemessen. In Mölleer-Töllner (2015) wurden mit einem professionellen Testfahrer Bremsungen aus verschiedenen Schräglagen auf einem Kreisradius von 28 m durchgeführt. Die Ausgangsgeschwindigkeit wurde für alle Bremsmanöver mit 60 km/h vorgegeben. Das führte zu einer Schräglage von 40° bis 45° vor Bremsbeginn. Für Bremsungen mit reduzierter Schräglage (20° und 30°) wurden die Motorräder vor Bremsbeginn von dem Testfahrer aufgerichtet. Vier Motorräder verschiedener Hersteller mit Kurven-ABS wurden verglichen. Zusätzlich zu einer KTM 1190 Adventure mit Kurven-ABS wurde das gleiche Modell auch mit konventionellem ABS und auch mit deaktiviertem ABS getestet. Bei den Bremsungen ohne Schräglage (0°) und bei 20° Schräglage ergaben sich leicht kürzere Bremswege für das konventionelle ABS der KTM 1190 Adventure (ABS: 15,1 m; Kurven-ABS: 15,4 m bzw. ABS: 15,6 m; Kurven-ABS: 16,0 m). Bei 30° Schräglage wurde jedoch ein kürzerer Bremsweg mit Kurven-ABS gemessen (ABS: 19,3 m; Kurven-ABS: 16,2 m). Aufgrund von Sturzgefahr erfolgte ohne Kurven-ABS keine Vollbremsung bei den Schräglagen von 40° und 45°.

1.4 Fahrversuche auf Kreisradien

Um geeignete Radien und Geschwindigkeitsbereiche für die Entwicklung von Fahrmanövern zu ermitteln, welche die genannten Anforderungen erfüllen und zu möglichst vielen Bremsungen einer Schräglage von 20° und darüber führten, wurden Fahrversuche aus der Literatur analysiert.

Ein Überblick von veröffentlichten Publikationen und den definierten Zielen der angeführten Fahrversuche ist in Tabelle 3-2 zusammengefasst. Keiner der angeführten Fahrversuche hatte das Ziel mit Probandinnen und Probanden unterschiedlicher Fahrerfahrung die Unterschiede zwischen Kurven-ABS und ABS zu ermitteln. Dennoch konnten einzelne Parameter bei der Fahrmanöverentwicklung berücksichtigt werden. Die angeführten Fahrversuche aus der Literatur beinhalteten Kreisfahrten mit definierten Radien und vorgegeben Geschwindigkeiten. Alle angeführten Fahrversuche wurden auf einem Testgelände durchgeführt. Die Fahrversuche und Vollbremsungen von Mölleer-Töllner (2015) und Matschl et al. (2016) wurden von einem professionellen Testfahrer durchgeführt. Bei Lucci et al. (2020) wurden die Bremsungen durch einen ferngesteuerten Notbremsassistenten aktiviert.

Quelle	Kreisradius [m]	Geschwindigkeitsvorgabe [km/h]	Anzahl der Teilnehmenden	Ziel der Fahrversuche
Funke et al. (2001)	15	-	6	Positionsverlagerung und Kräfte auf Lenkstange der Probanden
Funke (2006)	50	50	9	Vergleich von fünf Bremssystemen
Mölleer-Töllner (2015)	28	60	1*	Vergleich von Kurven-ABS-Systemen verschiedener Motorradmodelle
Matschl et al. (2016)	80	100	1*	Vergleich einer Bremsung mit MSC und ohne ABS
Staffetius and Beiteltschmidt (2017)	26	20/30/40	18	Verhalten von Motorradfahrenden unterschiedlicher Fahrerfahrung
	6	25/frei	18	

Lucci et al. (2020)	15-20	25-40	55	Realisierbarkeit von automatischen Notbremsassistenten
---------------------	-------	-------	----	--

Tabelle 3-2: Übersicht von Veröffentlichungen mit Fahrversuchen bei vorgegebenen Kreisradien auf Testgeländen (* Fahrversuche wurden von einem professionellen Testfahrer durchgeführt).

Die Kreisradien welche mit Versuchspersonen unterschiedlicher Fahrerfahrung im Zuge der Fahrversuche gefahren wurden bewegten sich zwischen 6 und 50 m. Die vorgegebenen Geschwindigkeiten betrugen maximal 50 km/h. Größere Radien und höhere Geschwindigkeiten wurden nur bei Fahrversuchen mit einem professionellen Testfahrer vorgegeben.

Ergänzend zu den Messdaten der durchgeführten Fahrversuche im Straßenverkehr wurden auch Fahrversuche aus der Literatur für den Vergleich und die Bewertung hinsichtlich der Repräsentativität der Ausgangswerte der Fahrmanöver herangezogen. Für diesen Vergleich wurden die ermittelten Schräglagen bei kategorisierten Kurvenradien der Fahrversuche von Hädrich (2012) ausgewählt. Dabei wurden auf einer 22,3 km langen Versuchsstrecke Messungen im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt. Die Schräglagewerte von 29 Probanden, welche mit ihren eigenen Motorrädern die vorgegebene Strecke befuhren, wurden anhand von sechs Kurvenkategorien (Bereiche von Kurvenradien) ausgewertet. Der Median für die Schräglage der Kurvenkategorien ist in Tabelle 3-4 angegeben.

Schräglage [°]	Kurvenkategorie
32,4	10 bis 35 m
28,7	35 bis 55 m
28,9	55 bis 80 m
24,4	80 bis 125 m
24,8	125 bis 200 m
20,8	200 bis 300 m

Tabelle 3-3: Median der Schräglage bei unterschiedlichen Kurvenkategorien (Hädrich, 2012)

1.5 Ausgangslage, Forschungsbedarf und Zielsetzung

Zusammenfassend werden in der Literatur widersprüchliche Aussagen zu Fahrversuchen mit Kurven-ABS gefunden. Daraus lässt sich kein übereinstimmendes Fazit über das schräglagenabhängige Bremssystem bilden, welches eine einheitliche Beurteilung des Kurven-ABS zulässt. Die Hauptpunkte der durchgeführten Literaturstudie sind im Folgenden zusammengefasst:

Schneider (2014) stellt einen kürzeren Bremsweg (höhere Bremsverzögerung) für das konventionelle ABS im Vergleich zum Kurven-ABS fest. Bei „Panikbremsungen/Schreckbremsungen“, bei denen es zu einem Sturz mit dem konventionellem ABS kommen könnte, verhindert das Kurven-ABS einen zu hohen Bremsdruck. Bei den Fahrversuchen von Mölleer-Töllner (2015) ergeben sich kürzere Bremswege mit Kurven-ABS ab einer Schräglage von 30°. Die Fahrversuche beider Veröffentlichungen wurden von professionellen Testfahrern durchgeführt.

Es liegen keine Veröffentlichungen zu Fahrversuchen vor, die Unterschiede zwischen Kurven-ABS und konventionellem ABS rausarbeiten, welche mit einer größeren Anzahl an Versuchspersonen unterschiedlicher Fahrerfahrung durchgeführt wurden.

Daher besteht ein gezielter Forschungsbedarf bezüglich Kurven-ABS, welcher Fahrversuche mit einer größeren Anzahl an Versuchspersonen unterschiedlichen Alters, Geschlechtes und Fahrerfahrung berücksichtigt. Des Weiteren konnten keine Veröffentlichungen von Probandenversuchen ermittelt werden, welche die Motorradfahrenden selbst und die entsprechenden subjektiven Eindrücke berücksichtigt. Für eine Potenzialbewertung des Kurven-ABS sind jedoch Motorradfahrende und deren Meinungen mit einzubeziehen, um eine ganzheitliche Bewertung des Kurven-ABS durchführen zu können. Dies deshalb, da gerade beim Motorradfahren Fahrenden selbst mit der Fahrtechnik und damit auch mit der Bremstechnik einen großen Einfluss auf objektiv ermittelte fahrdynamische Werte hat: die wahrnehmungsbezogenen Leistungsgrenzen und damit die individuelle Reaktion der Motorradlenkenden, deren Erfahrung und automatisiert ablaufende Prozesse im Zuge der Durchführung eines Fahrmanövers, beeinflussen daher die fahrzeugbezogenen Ergebnisse.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, den Unterschied von Kurven-ABS zum konventionellen ABS unter realistischen Bedingungen anhand von Fahrversuchen durch Motorradfahrende unterschiedlicher Fahrerfahrung zu bewerten. Ein möglicherweise vorliegendes Potenzial des Kurven-ABS gegenüber dem konventionellen ABS soll anhand von Hypothesen und probandenspezifischen Auswertungen ermittelt werden.

Die folgenden Forschungsfragen sollen anhand der Auswertung von fahrdynamischen Daten und der subjektiven Meinungen von Motorradfahrenden beantwortet werden:

- „Welche fahrdynamischen Unterschiede können bei Motorradfahrenden unterschiedlicher Fahrerfahrung aufgrund des Kurven-ABS festgestellt werden?“
- „Kann ein personenabhängiges Bremsverhalten bzw. 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 Motorradfahrenden aufgrund der gezielten Durchführung von Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS?“

2 ERWARTUNGSHALTUNG GEGENÜBER KURVEN-ABS

Das Vertrauen in ein neues System und die Erwartungshaltung der Motorradfahrenden ist ein wesentlicher Faktor bei der Einführung neuer Assistenzsysteme. Die Fahrer beeinflussen durch das Fahrverhalten die objektiv gemessenen fahrdynamischen Werte. Deshalb ist es erforderlich deren Erwartungshaltung und Akzeptanz betreffend des kurvenadaptiven Systems zu ermitteln. Die Akzeptanz eines neuen Systems hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Etliche Psychologen haben Modelle aufgestellt, die veranschaulichen wie der Prozess der Akzeptanzbildung abläuft. Diese werden im Folgenden zusammengefasst.

2.1 Akzeptanz von Assistenzsystemen

Laut Nielsen (1993) bezieht sich Akzeptanz darauf, ob ein System alle Anforderungen und Bedürfnisse der Nutzer und anderen potenziellen Stakeholder erfüllt. Schade and Schlag, 2003 unterscheiden die beiden Begriffe, in diesem Zusammenhang *acceptance* und *acceptability*, wobei *acceptance* mit Akzeptanz und *acceptability* mit Akzeptabilität übersetzt werden kann. Beide Begriffe beschreiben eine positive Einstellung der Nutzer zu einem Objekt, mit dem Ziel dieses gemäß seiner intendierten Funktion zu benutzen. Der feine Unterschied zwischen beiden Begriffen ist, dass Akzeptanz die Einstellung zu existierenden Objekten beschreibt, während Akzeptabilität auf projizierten Einschätzungen zu noch nicht existenten bzw. nicht selbst getesteten Objekten beruht.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden Motorradfahrende, die bereits praktische Erfahrung mit einem Kurven-Anti-Blockiersystem (Kurven-ABS) haben, aber auch solche, die noch keine Erfahrungen mit diesem System gemacht haben, einbezogen. D.h. es wurde sowohl die Akzeptanz als auch die Akzeptabilität angesprochen. In weiterer Folge wird jedoch der feine Unterschied zwischen den Begriffen nicht vorgenommen, sondern nur der Begriff Akzeptanz verwendet.

2.1.1 TAM – Technology Acceptance Modell

Das psychologische Modell von Davis (1985) das sogenannte TAM Modell (Technology Acceptance Modell) ist eines der ersten Modelle, das erstellt wurde um eine Voraussage zu ermöglichen, ob eine neue Technologie akzeptiert wird oder nicht. Laut Davis hängt die Einstellung zu einer neuen Technologie von zwei Variablen ab: der Nützlichkeit (=Perceived Usefulness) und der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit (Perceived Ease of Use). Diese beiden Faktoren wirken sich auf die tatsächliche Verwendung der Technologie aus. Wird kein persönlicher Nutzen in der Technologie gesehen, bzw. ist der persönliche Aufwand zu groß, um die neue Technologie anwenden zu können, wird diese auch nicht verwendet werden. Im Jahre 2000 erweitern Davis and Venkatesh das Modell um mehrere Variablen. In TAM2 wurden sogenannte Eingangsvariablen mitberücksichtigt. Davis ergänzte das Modell um folgende Variablen:

- Subjektive Norm: wie groß ist der soziale Druck ein Verhalten auszuführen
- Image: welchen Einfluss hat die Nutzung der Technologie auf den sozialen Status
- Erfahrung: welche Erfahrungen habe ich mit ähnlichen Technologien gemacht
- Freiwilligkeit: wird mir das System aufgezwungen oder kann ich frei wählen, ob ich die Technologie nutzen will
- Job Relevanz: inwieweit unterstützt mich die Technologie in meiner Arbeit
- Auswirkungen (output quality): Inwieweit trägt die neue Technologie zu mehr Lebensqualität bei
- Ergebnisklarheit: inwieweit kann eine Steigerung der Arbeitsleistung direkt der neuen Technologie zugeschrieben werden

Das erweiterte Modell von Davis and Venkatesh (2000) veranschaulicht, dass die Akzeptanz eines Produktes bzw. die wahrgenommene Nützlichkeit von einer Vielzahl von Faktoren abhängt. Die Akzeptanzvorhersage eines Produktes bedarf daher umfassender Erhebungen.

2.1.2 Modell der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen

Angelehnt an das Modell von Davis and Venkatesh (2000) und an psychologische Verhaltensmodelle, wie die Theory of planned behaviour von Ajzen (1991) entwickelten Arndt et al. (2008) ein Modell, das sich mit der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen (FAS) auseinandersetzt. Mit Hilfe der Faktoren des Modells soll bereits vor der Markteinführung von unterschiedlichen FAS eine Voraussage der Akzeptanz ermöglicht werden. Zusätzliche sollen Kaufbarrieren und Kaufanreize eines Systems identifiziert und analysiert werden.

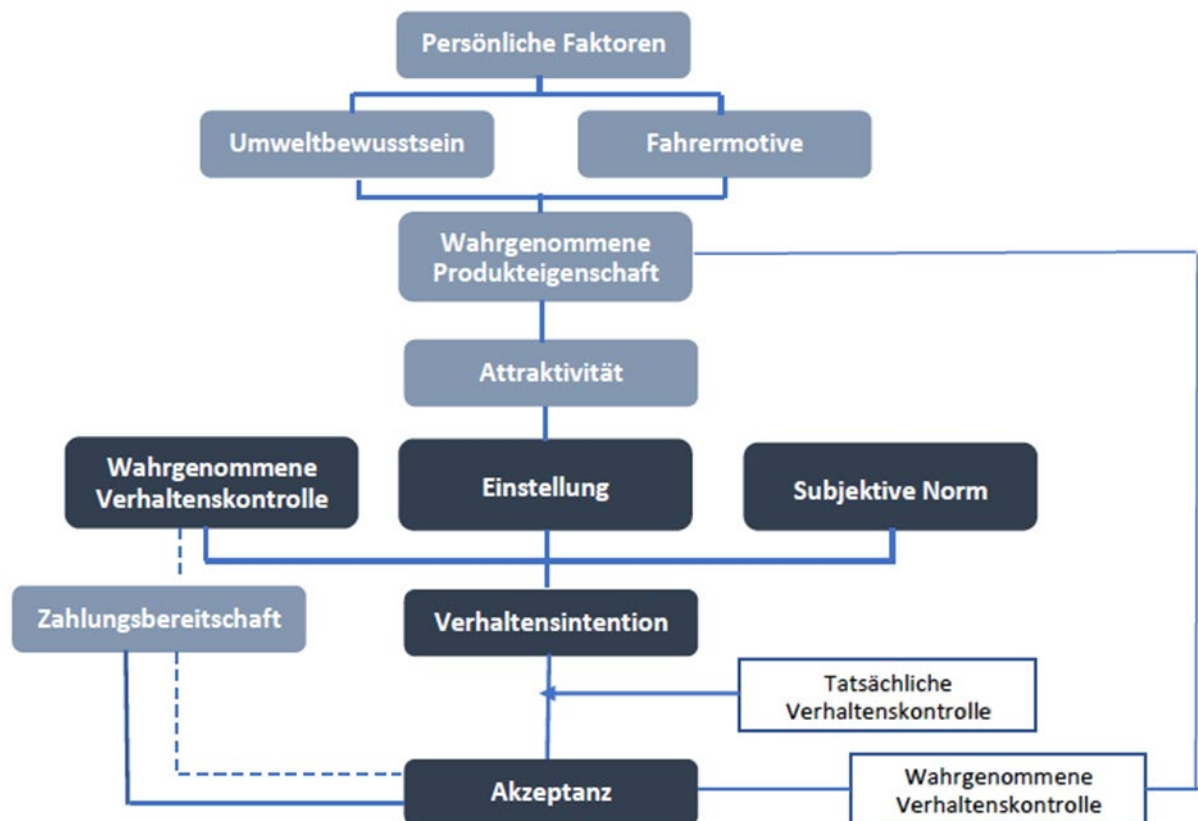


Bild 2-1: Modell der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen (eigene Darstellung nach Arndt et al., 2008)

Die Verhaltensintention ist laut der Theory of Planned Behaviour der beste Prädiktor für das Verhalten eines Menschen. Dies wird laut Ajzen (1991) durch drei Variablen beeinflusst:

- Wahrgenommene Verhaltenskontrolle: wie leicht bzw. schwierig ist der Kauf eines FAS (z.B. Akzeptanz könnte gering sein, wenn System nicht für seine Pkw-Marke zur Verfügung steht)
- Einstellung zum Verhalten: welche Konsequenz wird durch den Kauf oder die Nutzung von FAS erwartet, und wie wird diese potenzielle Konsequenz bewertet
- Subjektive Norm: wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass gewisse Gruppen (z.B. Freunde und Familie) das FAS für gutheißen

Zusätzlich beeinflusst die Zahlungsbereitschaft - wie viel würde jemand für ein FAS zahlen - die Relevanz für die Akzeptanz.

Als externe Variable gelten die persönlichen Faktoren wie Problembewusstsein, Fahrermotive, sowie wahrgenommene Produkteigenschaften und Attraktivität.

Unter Problembewusstsein fällt die Wahrnehmung verkehrsbezogener Probleme z.B. hohe Fahrgeschwindigkeiten in Kurven als Gefahr zu sehen.

Bei den Fahrermotiven wird nachgefragt, welches Ziel Fahrende mit dem Kauf eines FAS erreichen wollen, z.B. sicherer unterwegs zu sein.

Unter wahrgenommene Produkteigenschaften werden die Eigenschaften zusammengefasst, die dem Produkt zugeschrieben werden, z.B. Beitrag des Systems zu mehr Verkehrssicherheit, Umweltschutz, Stressvermeidung.

Unter Attraktivität wird die positive Einstellung dem Objekt (und nicht dem Verhalten) gegenüber verstanden.

Auch wenn sich eine Person für den Kauf eines bestimmten FAS entschieden hat, wirken sich noch situative Einflüsse (unvorhersehbare Ereignisse) auf den Kauf eines FAS aus z.B. Lieferschwierigkeiten des Herstellers. Dies wird mit der Variable „tatsächliche Verhaltenskontrolle“ beschrieben.

Auch dieses Modell von Arndt et al. unterstreicht, wie komplex der Vorgang ist, ob ein gewisses System akzeptiert wird oder nicht.

2.2 Fokusgruppe

2.2.1 Ziele und Vorgehensweise

Ziel der Fokusgruppe war es relevante Faktoren, die das individuelle Fahrverhalten und damit die Sicherheit sowie die Akzeptanz von Assistenzsystemen beeinflussen, mithilfe der Inputs von aktiven Motorradfahrenden zu identifizieren. Dabei wurden die Themenfelder möglichst breit aufbereitet und die Rolle des Kurven-ABS umfangreich diskutiert. Aufgrund der geringen Bereitschaft von Motorradfahrenden an einer Fokusgruppe teilzunehmen, wurden neben einer Fokusgruppe noch fünf Einzelinterviews durchgeführt.

2.2.2 Inhalt und Struktur der Fragen

Auf Basis der psychologischen Modelle wurden in einem internen Workshop subjektive Bewertungskriterien erarbeitet, die in der Folge Ausgangspunkt für die Entwicklung des Leitfadens für die Einzelinterviews und für die Fragebögen im Rahmen der Online-Befragung, sowie der Befragungen im Rahmen der Fahrversuche waren.

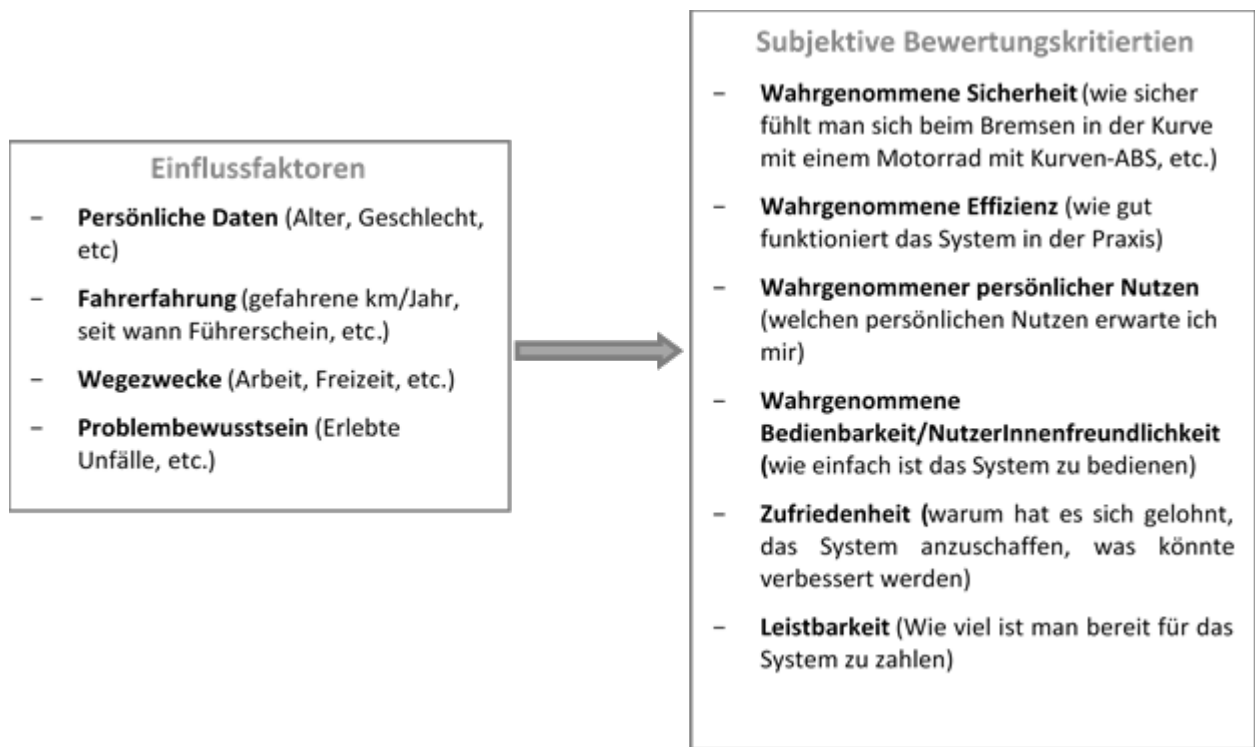


Bild 2-2: Bewertungskriterien (eigene Darstellung)

Die Fokusgruppe begann mit einer kurzen Einleitung über das Projekt und einer Vorstellungsrunde, in der die Fahrerfahrung, Wege Zwecke und Motive für die Motorradnutzung abgefragt wurden.

Im Hauptteil wurden im Rahmen der Fokusgruppe bzw. in den Einzelinterviews drei Bereiche thematisiert:

- Einstellung zu ABS und Kurven-ABS für das Motorrad bzw. Erfahrungen mit ABS und Kurven-ABS
- Potenzielle Vor- und Nachteile: Erlebte Situationen in denen (Kurven)-ABS unterstützend wirken kann; Grenzen des Systems
- Voraussetzungen für den Kauf, den Erfolg dieses Systems

In einer Abschlussrunde hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit zusätzliche Themen anzusprechen, die sie im Zusammenhang mit ABS und Kurven-ABS noch als relevant erachteten.

2.2.3 Auswertung

Die Fokusgruppe bzw. die Einzelinterviews wurden mit Tonband aufgezeichnet, transkribiert und anhand der Themenanalyse nach Froschauer and Lueger (2003) ausgewertet. Dabei wurde vor allem die Strategie des Textreduktionsverfahrens und des Kodiervfahrens angewandt. Bei diesem Verfahren wird das vorhandene Interviewmaterial in Kategorien analog zu den behandelten Themen/Fragen zusammengefasst und benannt, damit man einen Überblick über die Vielzahl an Gesichtspunkten erhält. Die erhaltenen Aussagen werden anhand von zusammenfassenden Begriffen strukturiert, sodass sie als Antwortkategorien den gestellten Fragen zugeordnet werden können. Damit werden die charakteristischen Elemente der unterschiedlichen Themen herausgearbeitet.

2.2.4 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt nahmen neun Motorradfahrer und eine Motorradfahrerin an den Interviews teil: Fünf Personen wurden im Einzelinterview (Nr. 1-5) befragt und fünf nahmen an einer Fokusgruppe (Nr. 6-10) im Rahmen eines Motorrad-Clubabends teil. Von den 10 befragten Personen waren neun männlich und eine Person weiblich. Der jüngste Teilnehmer war 29 Jahre alt und der älteste 75 Jahre. Alle Teilnehmenden verfügten über mehrjähriger Motorraderfahrung und hatten bis auf eine Person schon Unfälle erlebt. Insgesamt verfügten vier Personen über ein Motorrad mit Kurven-ABS.¹

2.2.5 Wichtigste Ergebnisse

Folgende Aspekte können zusammenfassend für die Fokusgruppe festgehalten werden.

- **Information:** Wie ein Kurven-ABS funktioniert, in welchen Situationen es unterstützend eingreift, oder auf was man speziell achten soll, sind laut Meinungen der Teilnehmenden in Zukunft in der Ausbildung, beim Kauf eines Motorrads, beim Fahrsicherheitstraining, etc. Rechnung zu tragen.
- **Sicherheit/Effizienz:** Tendenziell ist eine positive Grundeinstellung gegenüber Kurven-ABS vorhanden, es wird ein Sicherheitsgewinn erwartet, auch wenn dieser mitunter als minimal angesehen wird. „... jedes Hilfsmittel auch wenn es nur 1 % mehr Sicherheit bedeutet, hilft. ... bei den 10 000-20 000 Kurven, die man fährt, da werden sicherlich fünf Kurven dabei sein, wo es gut ist ein Kurven-ABS zu haben.“ (Interviewter Nr. 6)

Das eigene Austesten des Kurven-ABS scheint eine positive Grundeinstellung zum System zu verstärken. Gleichzeitig werden einige Herausforderungen mit dem Kurven-ABS verbunden:

- **Risikokompensation:** Die gewonnene Sicherheit wird durch risikoreicheres Fahren wettgemacht
- **Delegation der Verantwortung:** Motorradfahrende verlassen sich zunehmend auf das System und übernehmen weniger Verantwortung für ihre eigene Fahrweise
- **Überforderung:** Die Motorradlenkenden fühlen sich durch unerwartete Fahreigenschaften überfordert.

Für manche Versuchspersonen überwiegen die negativen Aspekte des Kurven-ABS und sie sehen im Kurven-ABS kein Potenzial zur Unfallvermeidung. „Kurven-ABS hat gar kein Potenzial, Unfälle zu verhindern.“ (Interviewter Nr. 7)

- **Persönlicher Nutzen:** Jeder Sicherheitsgewinn beim Motorradfahren wird von den teilnehmenden Motorradfahrern als persönlicher Nutzen gewertet. „Das Kurven-ABS kann wie ein Polster in Gefahrensituationen sein.“ (Interviewter Nr. 1). Das Kurven-ABS ist laut Meinung der Teilnehmenden eine Zusatzausstattung und kein Kaufargument bei der Anschaffung eines neuen Motorrads.
- **Bedienbarkeit/Nutzerfreundlichkeit:** Das Vertrauen in das System ist nicht bei allen Versuchspersonen vorhanden. Zum jetzigen Zeitpunkt hatte der Großteil der Befragten Bedenken, das System unter gesicherten „Testbedingungen“ auszutesten. Jene, die über ein Kurven-ABS verfügten, wünschten sich zum Teil, dass das System abschaltbar ist.
- **Leistung:** Das Kurven-ABS wird als zu teuer eingestuft, dass es sich alle Motorradfahrenden leisten könnten.

¹ Genaue Beschreibung der Teilnehmenden siehe Anhang

2.3 Online-Befragung

2.3.1 Ziele und Vorgehensweise

Die Online-Befragung zielte darauf ab, die in den Fokusgruppen für die Akzeptanz des Kurven-ABS identifizierten Faktoren hinsichtlich ihrer Verteilung abzufragen und ein Meinungsbild der zweiradfahrenden Bevölkerung in Österreich und Deutschland zu geben.

Der Online-Fragebogen basierte auf den in der Literaturstudie und den Fokusgruppen erarbeiteten Themenbereichen. Vor allem bei der Wahl und Formulierung der Antwortkategorien, aber auch bei der Interpretation der Ergebnisse des quantitativen Fragebogens, leisteten die erhobenen qualitativen Daten wertvolle Dienste.

Der Fragebogen wurde einem ausführlichen Pre-Test unterzogen und mehrmals überarbeitet. Der Fragebogen stand auf der Plattform [soscisurvey.de](https://www.soscisurvey.de) zur Verfügung. Der Zugangslink zum Fragebogen, der in der Zeit von Anfang Mai bis Ende Juni 2019 abrufbar war, wurde über verschiedene Kanäle verteilt: Die Umfrage wurde in Newsletters von 1000ps.at, Honda, arge2Rad beworben. Zusätzlich wurden über 100 österreichische und deutsche Motorradclubs sowie Motorradmagazine kontaktiert mit der Bitte, den Link zur Umfrage an die eigenen Mitglieder weiterzuleiten.

2.3.2 Inhalt und Struktur der Fragen

Der Fragebogen bestand primär aus geschlossenen Fragen bzw. Statements, die mit Hilfe von fünfstufigen Likert-Skalen bewertet wurden. Unter der Kategorie „Sonstiges“ konnten bei einigen Fragen eigene Anmerkungen gemacht werden. Außerdem bestand am Ende des Fragebogens noch die Möglichkeit, Zusätzliches zum Thema anzuführen.

Der Fragebogen gliederte sich in folgende Themenbereiche:

- Soziodemografische Daten (Geschlecht, Alter, Wohnort, Verkehrsmittelnutzung im Alltag, Motorradtyp)
- Fahrerfahrung (Anzahl der aktiven „Motorradjahre“, km-Leistung pro Jahr) und Fahrmotive/-zwecke
- Problembewusstsein (Unfälle, Gefahrenquellen im Verkehr, Schutzmaßnahmen)
- Wahrgenommene Eigenschaften Assistenzsysteme allgemein (Sicherheit, Nutzen)
- Wahrgenommene Eigenschaften des Kurven-ABS (Effizienz, Nutzen, Sicherheit, Leistbarkeit)

2.3.3 Auswertung

Die Daten wurden am Ende der Befragung von [soscisurvey.de](https://www.soscisurvey.de) heruntergeladen und als SPSS Datensatz gespeichert. Nach einer Überprüfung und Säuberung der Daten wurden diese mittels SPSS und Excel statistisch ausgewertet (deskriptive Statistik, Kreuztabellen, Varianzanalyse-ANOVA).

Auf Basis der Literatur und Fokusgruppe wurden verschiedene Thesen aufgestellt und in 12 Hypothesen zusammengefasst:

- H1 Jüngere Personen (< 45) bewerten das Kurven-ABS kritischer als ältere Personen (>45).
- H2 Es gibt keine Unterschiede in der Einschätzung des Kurven-ABS nach Regionen.
- H3 Motorradfahrende mit viel Fahrerfahrung (mehr als 10.000 km Leistung/Jahr) bewerten das Kurven-ABS kritischer als Personen mit wenig Fahrerfahrung.
- H4 Personen mit viel Fahrerfahrung vertrauen dem Kurven-ABS weniger als Personen mit wenig Fahrerfahrung.
- H5 Fahrer, die das Motorrad auch im Alltag verwenden, bewerten das Kurven-ABS positiver als reine Freizeitfahrer.

- H6 Motorradfahrende, die Kraft, Geschwindigkeit und das Gefühl von Freiheit und Unabhängigkeit als Fahrmotiv angaben, stehen dem Kurven-ABS eher negativ gegenüber.
- H7 Erlebte Unfälle und Verletzungen bedingen, dass das Kurven-ABS positiver beurteilt wird.
- H8 Personen, die Selbstüberschätzung der Motorradfahrenden als eine hohe Gefahrenquelle für Unfälle sehen, stehen dem Kurven-ABS positiv gegenüber.
- H9 Motorradfahrende, deren Motorrad mit Assistenzsystemen ausgestattet ist, evaluieren das Kurven-ABS positiver als jene, die über keine Assistenzsysteme verfügen.
- H10 Personen, die ein Motorrad auf Grund der Ausstattung mit einem Assistenzsystem gekauft haben, stehen dem Kurven-ABS eher positiv gegenüber.
- H11 Personen, die sich mit Assistenzsystemen sicherer unterwegs fühlen, stehen dem Kurven-ABS eher positiv gegenüber.
- H12 Personen, deren Freunde Kurven-ABS gut finden, stehen dem Kurven-ABS eher positiv gegenüber.

Um die Hypothesen zu überprüfen wurden die jeweiligen Items in einem ersten Schritt, falls notwendig, recodiert. Die Hypothesenprüfung selbst erfolgte mittels Varianzanalyse (ANOVA) bei der die möglichen signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen berechnet wurden. Stellte sich ein signifikanter Unterschied (5 % Signifikanzniveau) zwischen den Gruppen heraus, wurde die Hypothese entsprechend angenommen oder abgelehnt.

Für die Recodierung wurden die Antworten auf die für die Auswertung relevanten Fragebogenfragen entweder zu einer Variablen zusammengefasst, oder in die gleiche Aussagerichtung (mehr/weniger) oder zu einem Index (Zusammenfassung über mehrere Fragebogenfragen) umgewandelt.²

2.3.4 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt füllten 492 Personen den Fragebogen aus. Davon konnten 313 österreichischen und 179 deutschen Motorradfahrern zugeordnet werden.

Geschlecht & Alter

93 Prozent der Umfrageteilnehmenden waren männlich, sieben Prozent weiblich. Laut Daten des ÖAMTC sind österreichweit neun Prozent aller Motorräder auf Frauen zugelassen.³ Frauen waren daher in der Umfrage leicht unterrepräsentiert. Dies könnte mit der Bewerbung über Motorradclubs zu tun haben, welche Frauen offenbar weniger erreichen.

Die Mehrheit der Befragten stammte aus Österreich (63 %). 37 % der Befragten hatten die deutsche Staatsbürgerschaft.

Bezüglich der in der Stichprobe vertretenen Altersgruppen zeigte sich, dass die Altersgruppe der über 55jährigen (41 %) im Vergleich zur zweiradfahrenden Gesamtbevölkerung überrepräsentiert und die Gruppe der 35-55jährigen (36 %) sowie der unter 35jährigen (22 %) zu wenig stark vertreten waren. Dies kann ebenfalls mit der Bewerbung über Motorradclubs zusammenhängen, da eine Mitgliedschaft in einem Motorradclub tendenziell die älteren Motorradfahrenden anspricht.⁴

Region & Verkehrsmittelwahl

Die Teilnehmenden der Befragung waren zu 31 % in Großstädten, zu 34 % im Stadtumland und zu 35% in ländlichen Regionen wohnhaft, d.h. in allen regionalen Gebieten konnten fast gleich viele Personen befragt werden.

Das Hauptverkehrsmittel der Befragten war zu mehr als drei Viertel das Auto. Aber auch das Motorrad nutzten zwei Drittel der Befragten regelmäßig.

² Ein Überblick über die recodierten Fragebogenfragen und deren neue Ausprägungen findet sich im Anhang.

³ Die Zahlen stammen aus 2012, aktuellere Zahlen wurden keine gefunden:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/290474/umfrage/umfrage-unter-frauen-und-maennern-zum-besitz-eines-motorrad-fuehrerscheins/>

⁴ Siehe z.B. <https://www.stimme.de/archiv/region-hn/sonstige-Motorradclubs-fehlt-der-Nachwuchs;art16305,1248814>

Fahrerfahrung & Fahrleistung

Der Großteil des Samples verfügte über mehr als 10 Jahre Fahrerfahrung (61 %). Rund ein Fünftel gab an, nicht mehr als 5 Jahre aktiv mit dem Motorrad unterwegs gewesen zu sein.

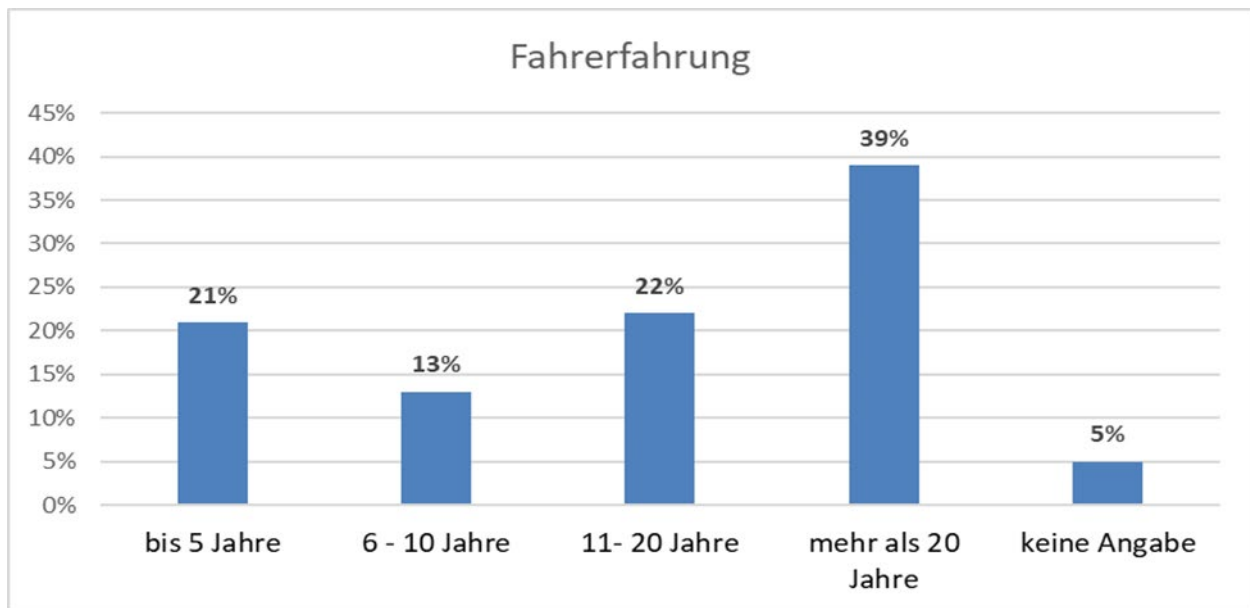


Bild 2-3: Aktive Fahrerfahrung der Befragten (n=492)

Bezüglich der Fahrleistung gaben 28 % der Befragten an, mehr als 10000 km im letzten Jahr mit dem Motorrad gefahren zu sein. 37 % waren zwischen 5000-10000 km unterwegs. 32 % gaben an zwischen 1000 km und 5000 km zurückgelegt zu haben und 3 % fuhren im letzten Jahr weniger als 1000 km.

Wegzweck & Motive

Bei der Frage nach dem Fahrzweck waren Mehrfachantworten möglich. Fast alle Befragten gaben an, das Motorrad in der Freizeit zu nutzen (98 %). 40 % legten ihren Arbeits- bzw. Alltagsweg damit zurück. 17 % der Befragten fahren mit dem Motorrad einkaufen und 8 % gaben sonstige Gründe an, wobei hier vor allem das Fahren auf der Rennstrecke erwähnt wurde.

Auch bei der Frage nach den Motiven, warum Motorrad gefahren wird, konnten die Teilnehmenden mehrere Antworten auswählen. Fast alle (98 %) kreuzten das Motiv „Spaß am Fahren“ an. Dies deckte sich auch mit dem überwiegenden Fahrzweck „Freizeit“. Jeweils mehr als 50 % wählten mindestens eines von den vier weiteren Motiven die erkennen lassen, dass das Motorradfahren mit Genuss und Freiheit sowie Stärke verbunden ist. („Entdecken und Genießen von Landschaft und Natur“, Entspannung, „Kraft und Geschwindigkeit“, „Gefühl der Freiheit und Unabhängigkeit“). Die Technik faszinierte mehr als ein Drittel der Befragten am Motorradfahren. Fast ebenso viele gaben an, dass sie es schätzten mit dem Motorrad schnell und flexibel ihr Ziel zu erreichen. Praktische Argumente wie „einfache Parkplatzsuche“ oder „kostengünstig“ sind von geringerer Bedeutung.

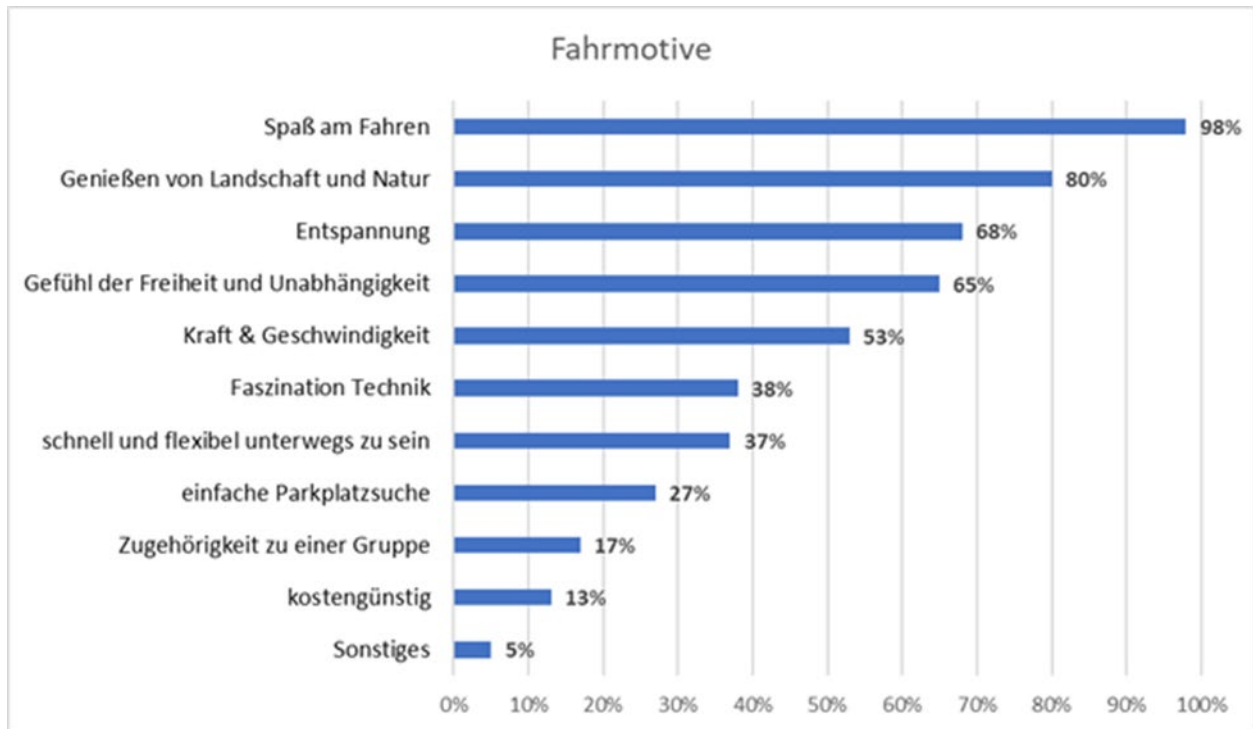


Bild 2-4: Fahrmotive (n=492)

Ausstattung Assistenzsysteme

21 % der Befragten gaben an ein Motorrad ohne Assistenzsysteme zu fahren und 79 % ein Motorrad mit Assistenzsystemen. Davon waren 90 % mit einem ABS ausgestattet, 61 % verfügten über eine Traktions- & Wheeliekontrolle und 33 % über ein Kurven-ABS, je 8 % über einen SOS-Notknopf bzw. sonstige Systeme wie Anti-Hoppingkupplung, Berganfahrhilfe oder Kurvenlicht.

Interessant zu erwähnen ist, dass laut Motorradtypangabe lediglich bei 10 % der Befragten das Motorrad mit einem Kurven-ABS ausgestattet sein hätte können. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Befragten zum Teil entweder nicht gut über die tatsächliche Ausstattung ihres Motorrades informiert waren oder das Kurven-ABS mit ABS gleichsetzten.

2.3.5 Sicherheitsbewusstsein

Inwieweit das Thema Sicherheit bzw. Sicherheitsbewusstsein ein Thema bei den Befragten ist, wurde mit den Fragen nach bisherigen Unfällen, Risikofaktoren, die einen Unfall begünstigen, sowie Sicherheitsmaßnahmen beim Motorradfahren abgefragt. Als Einstiegsfrage zu diesem Themenbereich wurde die Frage gestellt, wie sicher bzw. unsicher sich die Befragten generell beim Motorradfahren fühlen? Hier gaben rund zwei Drittel der Befragten (67 %) an, dass sie sich sehr sicher fühlen, 28 % eher sicher, 4 % eher unsicher und 1 % unsicher.

Unfälle

40 % der befragten Personen gaben an noch nie einen Motorradunfall gehabt zu haben. 60 % verunglückten ein bzw. mehrmals beim Motorradfahren.

In rund zwei Drittel der Fälle (64 %) handelte es sich bei den Unfällen um Alleinunfälle. Bei den restlichen Unfällen waren auch andere am Unfall beteiligt (36 %). Ein knappes Drittel (31 %) der Befragten wurde bei den Unfällen nicht verletzt, 50 % leicht und 19 % schwer verletzt. Nach Details zum Unfallhergang wurde nicht gefragt.

Risikofaktoren Unfälle

Befragt nach den drei wichtigsten Faktoren, die das Motorradfahren gefährlich machen, gaben 92 % der Befragten „Unaufmerksamkeit anderer Verkehrsteilnehmer“ als Gefahrenquelle an. 61 % sahen in der „Selbstüberschätzung der Motorradfahrenden“ eine potenzielle Gefahrenquelle und 45 % machten überhöhte Geschwindigkeiten der Motorradfahrenden für entstandene Gefahrensituationen verantwortlich. Infrastrukturmängel (27 %), Unaufmerksamkeit der Motorradfahrenden (26 %) sowie Selbstüberschätzung anderer Verkehrsteilnehmer (15 %) wurden ebenso als relevant eingestuft.

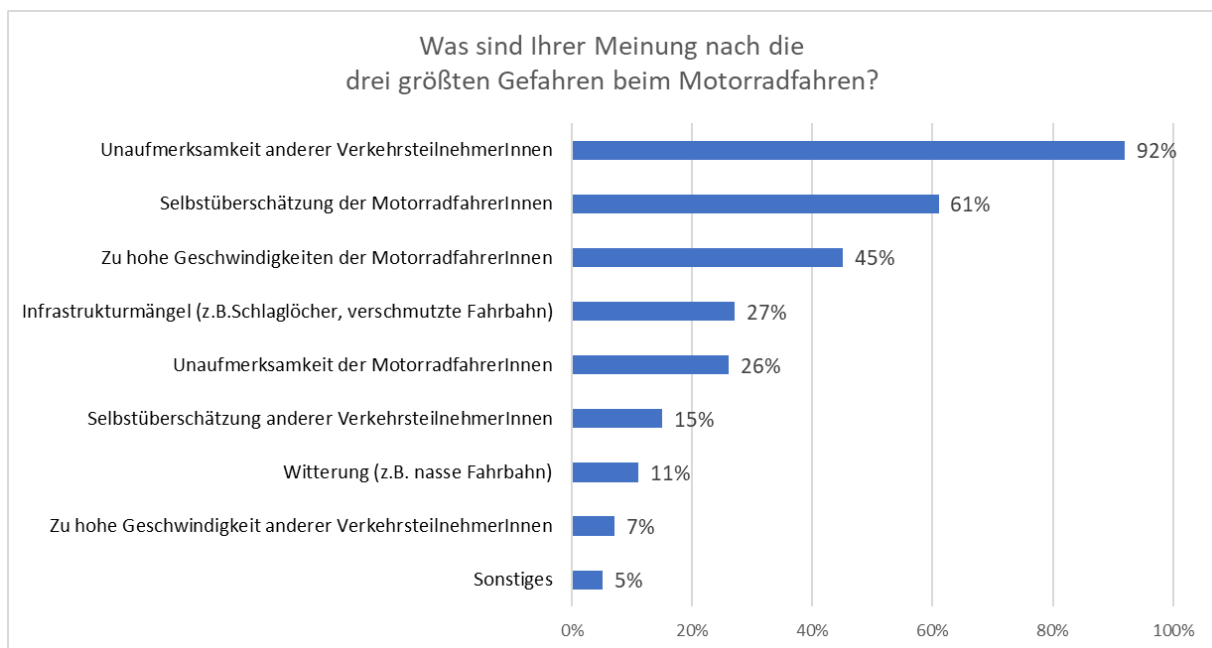


Bild 2-5: Gefahrenquellen beim Motorradfahren (n=492)

Bezüglich Gegenmaßnahmen gaben drei Viertel der Befragten Schutzkleidung als wichtigsten Faktor an, um im Falle eines Unfalls geschützt zu sein. 55 % erachteten den regelmäßigen Besuch eines Fahrsicherheitstrainings als notwendige Maßnahme, um die Verkehrssicherheit von Motorradfahrern zu verbessern. In Assistenzsystemen sehen 54 % für Motorradfahrenden ein Potenzial, Gefahren beim Motorradfahren zu verringern. Gute Bereifung kann laut 48 % der Befragten ebenfalls die Sicherheit im Straßenverkehr für Motorradfahrende erhöhen. Generell kann festgehalten werden, dass laut Meinung der Befragten die Frage der Sicherheit zum Großteil von der Ausstattung der motorradfahrenden Person bzw. des Motorrads abhängt und weniger von äußeren Faktoren, wie der Straßeninstandhaltung oder verstärkter Geschwindigkeitskontrollen.

2.3.6 Bewertung von Assistenzsystemen allgemein

Der zweite Teil des Fragebogens beschäftigte sich mit Assistenzsystemen allgemein und Kurven-ABS im Speziellen.

Es wurde zunächst die allgemeine Frage gestellt, wie sehr Assistenzsysteme zur Sicherheit beitragen. In der Folge wurde die Frage auf das eigene Sicherheitsgefühl bezogen. Zusätzlich beantworteten die Teilnehmenden die Frage, ob Assistenzsysteme beim Kauf eines Motorrads für die Auswahl entscheidend sind.

Eine große Mehrheit der Befragten (86 %) geht davon aus, dass Assistenzsysteme (eher) zu Sicherheit beitragen. Jene Gruppe, deren Motorräder mit Assistenzsysteme ausgestattet sind, bewertete die Aussage „Sicherheit von Assistenzsystemen tragen sehr stark / tragen gar nicht zum sicheren Motorradfahren bei“ signifikant höher als jene Gruppe, die keine Assistenzsysteme besaßen ($p=0,000$).

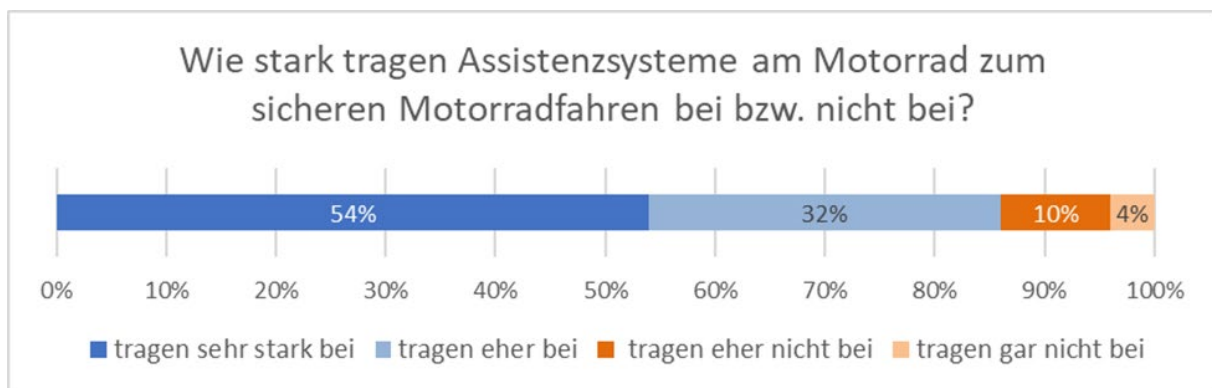


Bild 2-6: Beitrag Assistenzsysteme zur Sicherheit (n= 473)

Betrachtet man die Einschätzung, wie sehr Assistenzsysteme zur eigenen Sicherheit beitragen, so zeigte sich, dass nicht mehr ganz so viele Befragte dieser Aussage zustimmen. Auch hier gaben mehr Befragte, die ein Motorrad mit Assistenzsystem hatten (77 %) an, dass Assistenzsysteme ihr subjektive Sicherheitsgefühl (eher) erhöhe als jene, die keine Erfahrungen mit Assistenzsystemen hatten (44 %).

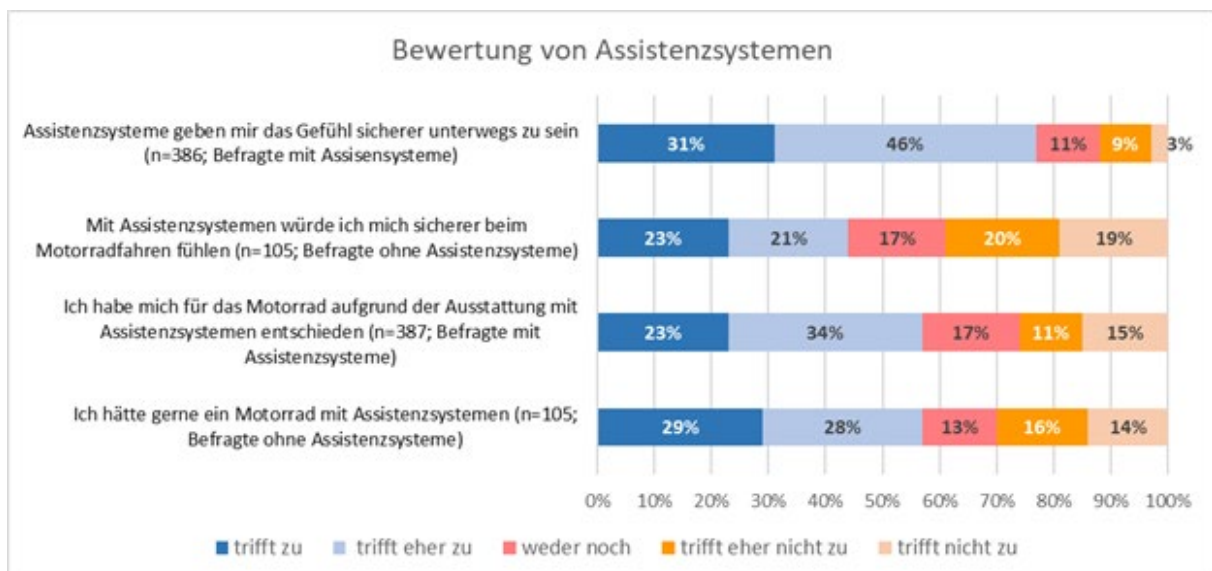


Bild 2-7: Bewertung von Aussagen zu Assistenzsystemen

Für 57 % der Befragten war die Ausstattung des Motorrades mit Assistenzsystemen ein entscheidendes Argument für den Kauf des aktuellen Motorrades. 57 %, die über kein Motorrad mit Assistenzsystemen verfügten, hätten gerne ein Motorrad mit Assistenzsystemen.

2.3.7 Bewertung von Kurven-ABS

Erfahrungen Kurven-ABS

Mehr als die Hälfte der befragten Personen (52 %) gab an, keine Erfahrungen mit Kurven-ABS zu haben. Knapp über ein Drittel (36 %) war schon mit einem Motorrad mit Kurven-ABS gefahren. Diese Gruppe hatte jedoch noch keine Situation erlebt, in denen sie das Kurven-ABS aktiv gespürt hätten, 11 % der Befragten konnte sich an Situationen erinnern, in denen das Kurven-ABS aktiv wurde.

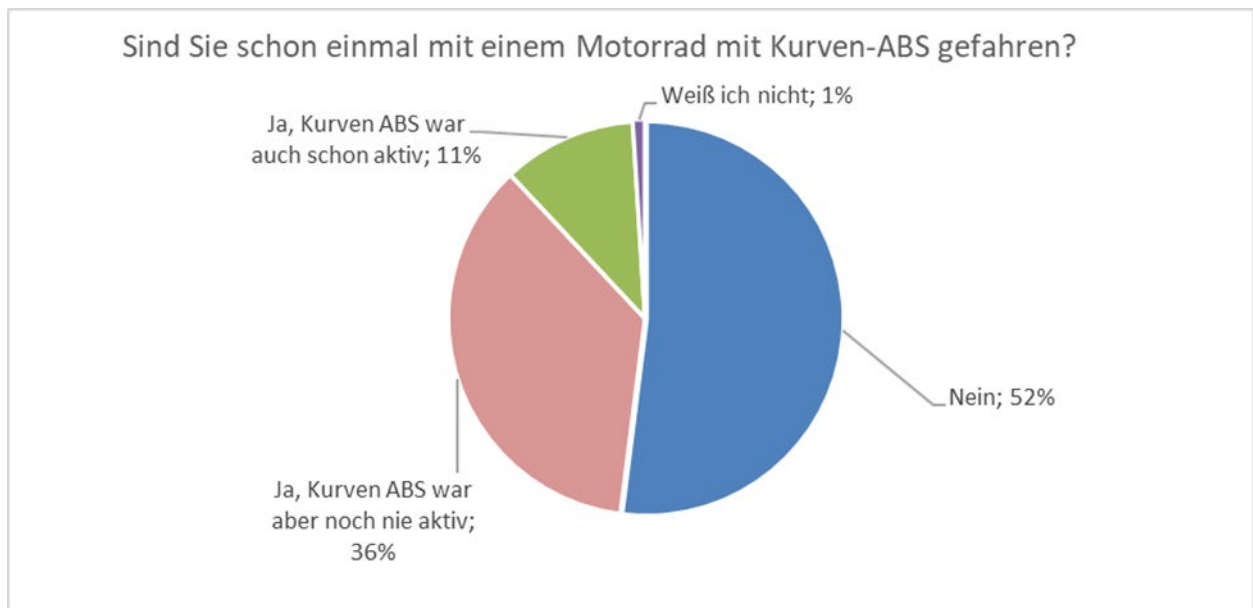


Bild 2-8: Erfahrungen Kurven-ABS

Zielgruppe

Das Kurven-ABS wurde von einer Mehrheit der Befragten (86 %) für wenig erfahrene Motorradfahrer als Sicherheitsgewinn gesehen. Der Großteil der Befragten (76 %) ging zudem davon aus, dass es für erfahrene Motorradfahrende eine hilfreiche Zusatzausstattung sein könnte.

Kurven-ABS und Sicherheit

Dem Kurven-ABS wurde von einem Großteil der befragten Personen ein Potenzial zur Unfallverhütung zugesprochen. 92 % der Befragten stimmten der Aussage (eher) zu „Ein solches System kann dazu beitragen, Unfälle zu verhindern.“. 4 % sind unentschieden und weitere 4 % stimmen (eher) nicht zu. Die Frage, ob sie selbst dem System vertrauen würden, bejahten drei Viertel der Befragten. Das Vertrauen in das Kurven-ABS war signifikant höher bei Befragten, deren Motorrad mit Kurven-ABS ausgestattet war ($p=0,005$) und bei Befragten, die angaben, dass Assistenzsysteme ihnen das Gefühl gebe, sicherer mit dem Motorrad unterwegs zu sein ($p=0,000$).

Mehr als die Hälfte hätte gerne die Möglichkeit, das System bei Bedarf auszuschalten. Personen, die bereits einen Unfall hatten, stimmten der Aussage, dass es eine Möglichkeit geben müsse, das System abzuschalten signifikant häufiger zu ($p=0,019$), sowie Befragte in der Altersgruppe unter 35 ($p=0,011$) und jene Personen, die bereits über ein Motorrad mit Assistenzsysteme verfügten ($p=0,005$).

Rund drei Viertel der Befragten hätten auch gerne ein Motorrad mit Kurven-ABS. Für ein gutes Drittel der Befragten waren Motorräder mit Kurven-ABS derzeit jedoch noch zu teuer. Ob Freunde das Kurven-ABS gut finden, konnten 46 % der Befragten nicht beurteilen, eine knappe Hälfte ging jedoch davon aus, dass dies der Fall sei. Auch hier bejahten diese Aussage vor allem jene, denen Assistenzsysteme das Gefühl von Sicherheit gab und die dem Kurven-ABS vertrauten.

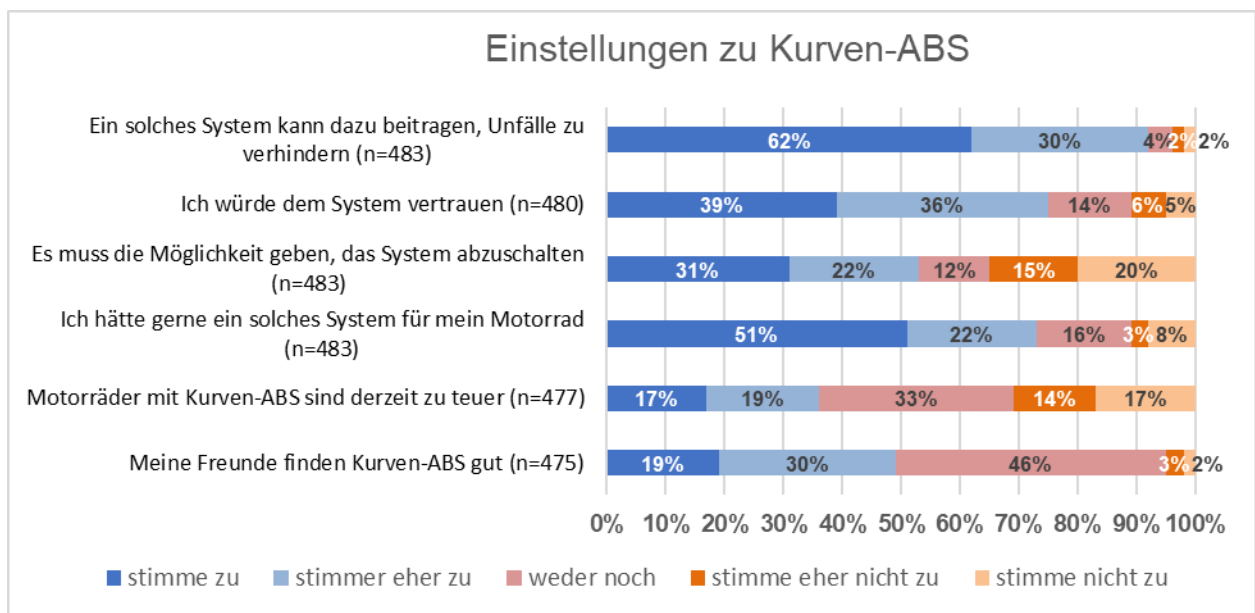


Bild 2-9: Aussagenbewertung Kurven-ABS

87 % jener Personen, die bereits ein Motorrad mit Kurven-ABS hatten, würden das Kurven-ABS auch weiterempfehlen. Hier dürfte vor allem der Sicherheitsaspekt eine Rolle spielen und weniger der Spaßfaktor. 80 % standen der Aussage, dass die Nutzung des Kurven-ABS Spaß mache, entweder neutral gegenüber bzw. stimmten ihr (eher) nicht zu.

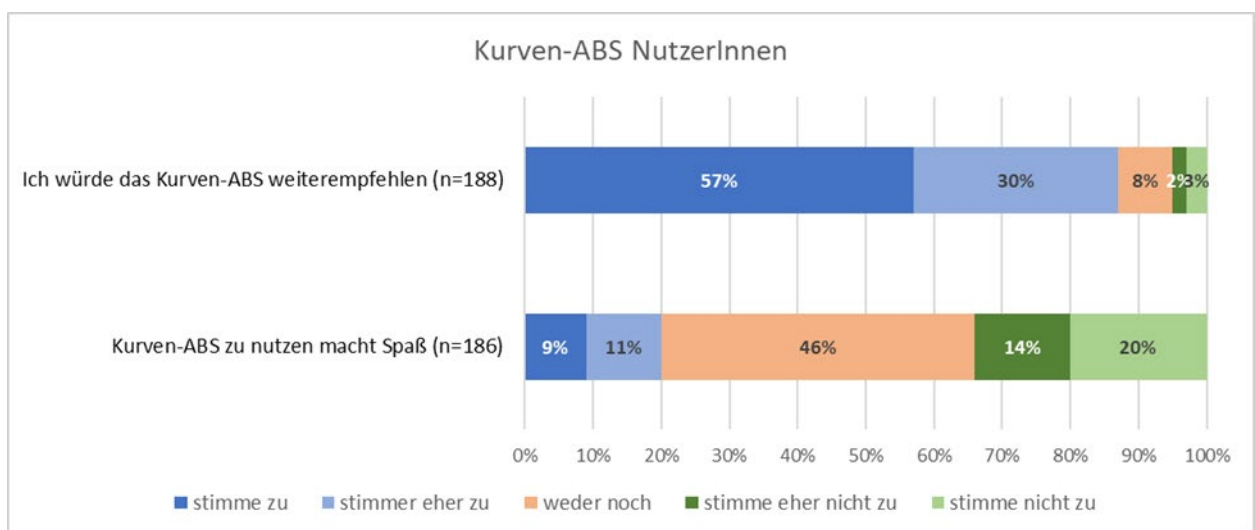


Bild 2-10: Bewertung von Aussagen durch Kurven-ABS Erfahrene

2.3.8 Herausforderungen Kurven-ABS

Die Befragten sahen im Kurven-ABS nicht nur einen Sicherheitsgewinn. Ein gutes Drittel der Befragten ging davon aus, dass das Kurven-ABS dazu führen könnte, dass die Fahrweise der Motorradfahrenden riskanter werde. 39 % waren der Meinung, dass Motorradfahrer unaufmerksamer werden könnten, wenn sie sich auf das System verließen. Weniger problematisch wurden die Auswirkungen auf das Fahrgefühl gesehen. So vertraten 16 % (eher) die Meinung, dass das Kurven-ABS das Gefühl erzeugen kann, fremdsteuert zu sein. Für 6 % würde sich der Spaß beim Fahren verringern. Diese Items

wurden von Befragten, deren Motorrad über keine Assistenzsysteme verfügten, signifikant ($p=0,001$) kritischer bewertet als von Befragten, die Erfahrungen mit Assistenzsystemen hatten.

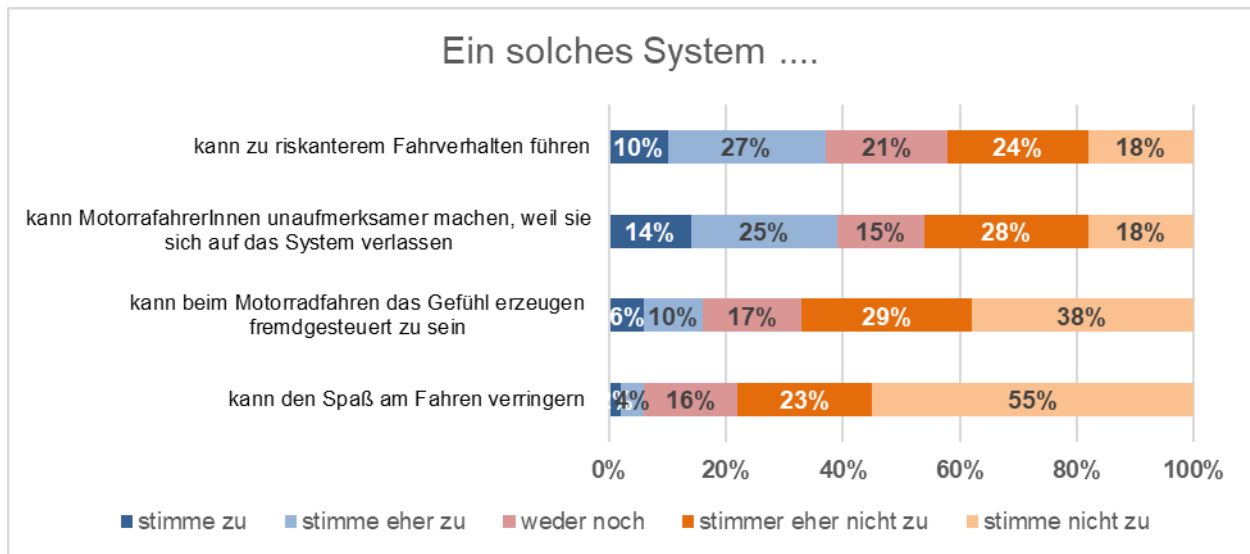


Bild 2-11: Herausforderungen Kurven-ABS – Bewertung von Aussagen (n=480)

2.3.9 Auswirkungen von Kurven-ABS

Die Mehrheit der befragten Personen (58 %) befürwortete eine verpflichtende Einführung des Kurven-ABS für alle neu zugelassenen Motorräder. Ein Fünftel stand der Verpflichtung neutral gegenüber und ein knappes Viertel würde die verpflichtende Einführung nicht gutheißen. Hier zeigte sich, dass Männer ($p=0,005$) signifikant häufiger für die verpflichtende Einführung des Kurven-ABS waren als Frauen. Gute 70 % der Befragten würden sich eine praktische Einschulung in das System wünschen, falls sie sich für ein Motorrad mit Kurven-ABS entschieden. Ein Fünftel hatte dazu keine Meinung und 10 % hielten eine Einschulung nicht für notwendig, wobei Ältere (über 50 Jahren, $p=0,004$) und Personen, die keine Erfahrung mit Kurven ABS haben ($p=0,047$) sich signifikant häufiger eine Einschulung wünschten, als Personen unter 50 Jahren bzw. die Erfahrung mit einem Kurven ABS hatten.

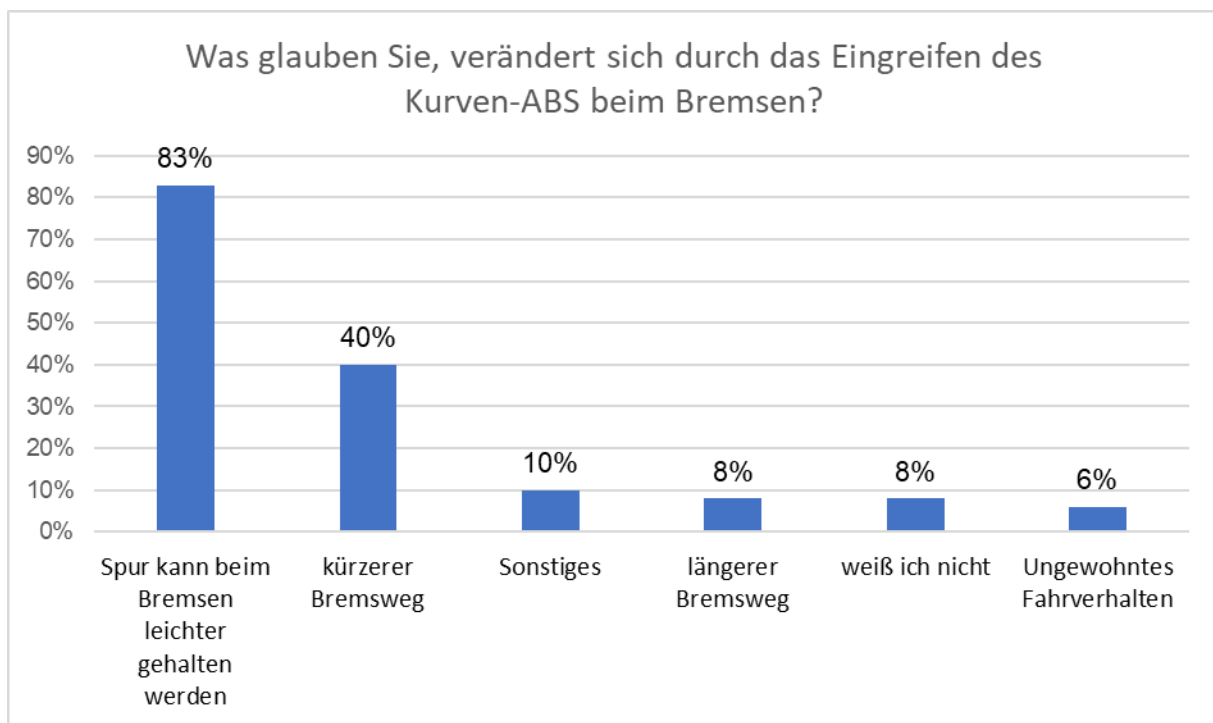


Bild 2-12: Auswirkungen des Kurven-ABS (n=492)

2.3.10 Verpflichtende Einführung Kurven-ABS - Einschulung?

Die Mehrheit der befragten Personen (58 %) befürwortete eine verpflichtende Einführung des Kurven-ABS für alle neu zugelassenen Motorräder. Ein Fünftel stand der Verpflichtung neutral gegenüber und ein knappes Viertel würde die verpflichtende Einführung nicht gutheißen. Hier zeigte sich, dass Männer ($p=0,005$) signifikant häufiger für die verpflichtende Einführung des Kurven-ABS waren als Frauen. Gute 70 % der Befragten würden sich eine praktische Einschulung in das System wünschen, falls sie sich für ein Motorrad mit Kurven-ABS entschieden. Ein Fünftel hatte dazu keine Meinung und 10 % hielten eine Einschulung nicht für notwendig, wobei Ältere (über 50 Jahren, $p=0,004$) und Personen, die keine Erfahrung mit Kurven ABS haben ($p=0,047$) sich signifikant häufiger eine Einschulung wünschten, als Personen unter 50 Jahren bzw. die Erfahrung mit einem Kurven ABS hatten.

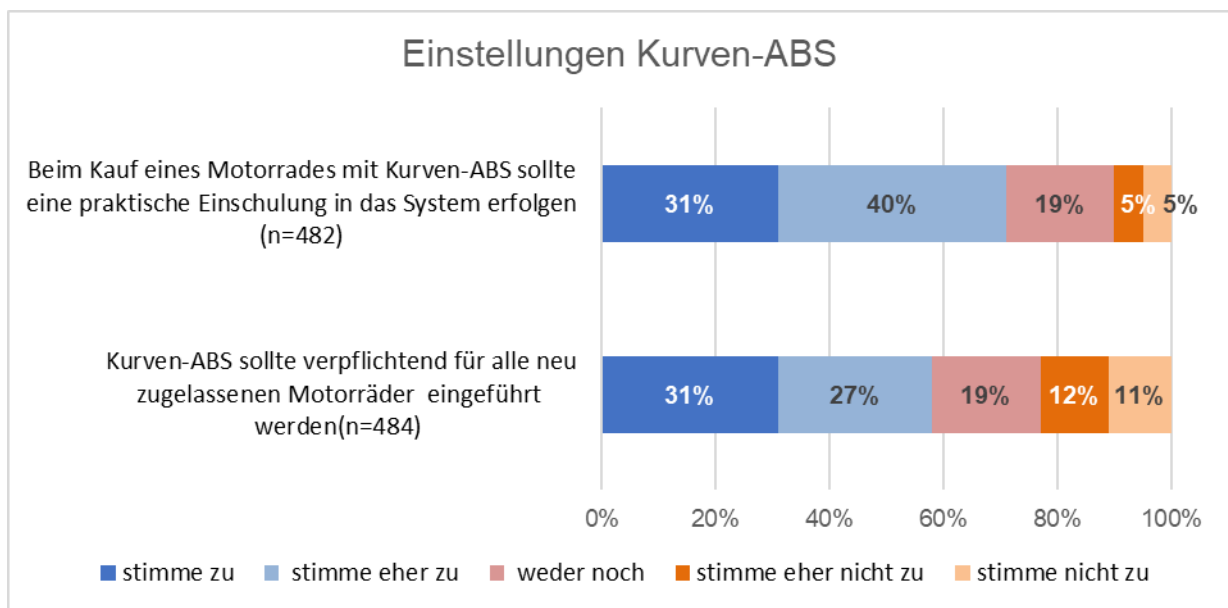


Bild 2-13: Einstellung Kurven-ABS zur verpflichtenden Einführung und zu einer Einschulung

2.3.11 Hypothesengeleitete Auswertung

Wie das Kurven-ABS von den Umfrageteilnehmern evaluiert wurde, hängt von verschiedenen individuellen Einflussgrößen ab. Welche Faktoren dabei relevant sind und wie sie die Akzeptanz des Systems beeinflussen, soll in diesem Abschnitt geklärt werden.

Wie bereits erwähnt wurden auf Basis der Literatur und der Fokusgruppen 12 Hypothesen abgeleitet. Die Hypothesenprüfung kam dabei zu folgendem Ergebnis:

Hypothese 1 Jüngere Personen (< 45) bewerten das Kurven-ABS kritischer als ältere Personen (>45).

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen festgestellt werden. Beide Altersgruppen bewerten das Kurven-ABS sehr ähnlich.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Hypothese 2 Es gibt keine Unterschiede in der Einschätzung des Kurven-ABS nach Regionen.

Lediglich zwischen den Befragten aus ländlichen und jenen aus städtischen Gebieten gab es bei der Aussage, dass das Kurven-ABS den Spaß am Fahren verringern könne einen signifikanten Unterschied ($p=0,046$). Befragte aus ländlichen Gebieten waren hier kritischer als jene aus den städtischen Gebieten. Bei allen anderen Aussagen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Regionen. Auch zwischen österreichischen und deutschen Umfrageteilnehmern gab es keinerlei signifikante Unterschiede in der Beantwortung der Fragen.

Die Hypothese kann gehalten werden.

Hypothese 3 Motorradfahrende mit viel Fahrerfahrung (mehr als 10.000 km Leistung/Jahr) bewerten das Kurven-ABS kritischer als Personen mit wenig Fahrerfahrung.

Zwischen den Gruppen mit mehr (über 10.000 km) und weniger Fahrleistung (unter 10.000 km) gab es nur bei der Bewertung der Aussage, ob das Kurven-ABS den Spaß verringern könne, einen signifikanten Unterschied ($p=0,036$). Hier bewertete die Gruppe mit weniger Fahrleistung die Aussage kritischer, d.h. sie gingen eher davon aus, dass durch das Kurven-ABS der Spaßfaktor beim Motorradfahren beeinträchtigt werden könne.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Hypothese 4 Personen mit viel Fahrerfahrung vertrauen dem Kurven-ABS weniger als Personen mit wenig Fahrerfahrung.

Zwischen den Gruppen mit mehr und weniger Fahrerfahrung gab es keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Vertrauens in das Kurven-ABS.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Hypothese 5 Fahrer, die das Motorrad auch im Alltag verwenden, bewerten das Kurven-ABS positiver als reine Freizeitfahrer.

Es gab signifikante Unterschiede zwischen den Befragten, die das Motorrad nur zu Freizeit Zwecken benutzten und jenen, die es auch im Alltag verwendeten. Jedoch waren Alltagsfahrer kritischer als Freizeitfahrer, und nicht umgekehrt. Befragte, die Alltagswege erledigten, glaubten eher, dass das Kurven-ABS zu riskanterem Fahrverhalten führe und es Motorradfahrende unaufmerksamer machen könne. Sie gaben auch signifikant häufiger an, dass der Spaß durch die Nutzung des Kurven-ABS verringert werde und glaubten weniger oft, dass durch ein Kurven-ABS Unfälle vermieden werden können. Auch der gebildete Index über alle Bewertungsfragen zeigte, dass Befragte, die auch Alltagswege mit dem Motorrad erledigten, das Kurven-ABS insgesamt schlechter bewerteten.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Hypothese 6 Motorradfahrende, die Kraft & Geschwindigkeit und das Gefühl von Freiheit und Unabhängigkeit als Fahrmotiv angeben, stehen dem Kurven-ABS eher negativ gegenüber.

Bei der Aussage, dass Kurven-ABS hilfreich für wenig erfahrene Personen sei, gab es einen signifikanten Unterschied zwischen jenen Befragten, die Kraft und Freiheit als Motivation fürs Motorradfahren angegeben hatten und jenen, die das nicht angekreuzt hatten. Hier glaubten jene, für die Kraft und Freiheit eine Motivation war, signifikant öfter, dass das Kurven-ABS besonders hilfreich für wenig erfahrene Personen sei. Bei allen anderen Items gab es keine signifikanten Unterschiede.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Hypothese 7 Erlebte Unfälle und Verletzungen bedingen, dass das Kurven-ABS positiver beurteilt wird.

Personen, die bereits einen Unfall erlebt hatten, stimmten der Aussage, dass das Kurven-ABS beim Motorradfahren das Gefühl fremdgesteuert zu sein erzeugen kann, signifikant eher zu, als jene, die noch keinen Unfall hatten. Befragte, die noch keine Verletzung bei einem Unfall erlitten hatten, gingen eher nicht davon aus, dass das Kurven-ABS zu riskanterem Fahrverhalten führen könne. Bei allen anderen Items wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Hypothese 8 Personen, die Selbstüberschätzung der Motorradfahrenden als eine hohe Gefahrenquelle für Unfälle sehen, stehen dem Kurven-ABS positiv gegenüber.

Zwischen den Befragten, die die Hauptgefahrenquellen bei der Selbstüberschätzung von Motorradfahrern sahen, und jenen, die das nicht taten, gab es einen signifikanten Unterschied in der Bewertung der Aussagen, dass die Verwendung des Kurven-ABS zu riskanterem Fahrverhalten führen könne bzw. dass der Spaß am Fahren verringert werde. Bei beiden Aussagen stimmten die Befragten, die die Hauptgefahrenquellen bei der Selbstüberschätzung von Motorradfahrern sahen, den Aussagen eher nicht zu. Auch beim zusammenfassenden Index über alle Bewertungsfragen zeigte sich, dass jene Gruppe, die die Hauptgefahrenquellen bei der Selbstüberschätzung von Motorradfahrern sah, allgemein das Kurven-ABS besser bewertete.

Die Hypothese kann gehalten werden.

Hypothese 9 Motorradfahrende, deren Motorrad mit Assistenzsystemen ausgestattet ist, evaluieren das Kurven-ABS positiver als jene, die über keine Assistenzsysteme verfügen.

Zwischen den Gruppen, die über ein Motorrad mit Assistenzsysteme bzw. über kein Assistenzsystem verfügten, gab es fast durchwegs signifikante Unterschiede bei der Bewertung des Kurven-ABS, die alle

in die Richtung gehen, dass das System von Motorradfahrern mit Assistenzsystemen besser bewertet wurde. Lediglich bei der Aussage, dass das Kurven-ABS für wenig erfahrene Personen hilfreich sei, gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Die Hypothese kann gehalten werden.

Hypothese 10 Personen, die ein Motorrad auf Grund der Ausstattung mit einem Assistenzsystem gekauft haben, stehen dem Kurven-ABS eher positiv gegenüber

Insbesondere zwischen jenen Befragten, die sich ein Motorrad auf Grund der Ausstattung mit einem Assistenzsystem gekauft hatten, und jenen, für die das (eher) nicht zutraf, gab es einige signifikante Unterschiede bei der Bewertung des Kurven-ABS. So wurden die Aussagen über das Kurven-ABS „ist hilfreich für erfahrene Motorradfahrer“, „kann Motorradfahrer unaufmerksamer machen, weil sie sich auf das System verlassen“, „kann beim Motorradfahren das Gefühl erzeugen fremdgesteuert zu sein“ und „kann dazu beitragen Unfälle zu verhindern“ durchwegs besser von jener Gruppe bewertet, die sich in Motorrad auf Grund der Ausstattung mit einem Assistenzsystem gekauft hatten. Auch der zusammenfassende Index zeigte, dass diese Gruppe allgemein das Kurven-ABS besser bewertete. Die Hypothese kann gehalten werden.

Hypothese 11 Personen, die sich mit Assistenzsystemen sicherer unterwegs fühlen, stehen dem Kurven-ABS eher positiv gegenüber.

Alle Aussagen über das Kurven-ABS wurden von der Gruppe, die sich mit Assistenzsystemen sicher fühlten, signifikant besser bewertet als von jener Gruppe, für die das nicht zutraf.

Die Hypothese kann gehalten werden.

Hypothese 12 Personen, deren Freunde Kurven-ABS gut finden, stehen dem Kurven-ABS eher positiv gegenüber

Befragte, deren Freunde das Kurven-ABS gut fanden, bewerteten alle Aussagen zum Kurven-ABS signifikant positiver als jene Gruppe, deren Freunde das Kurven-ABS nicht gut bewerteten.

Die Hypothese kann gehalten werden.

Hinsichtlich der Hypothesenprüfung kann zusammenfassend folgendes festgehalten werden.

Motorradfahrende stehen dem Kurven-ABS positiver gegenüber, wenn

- sie primär in der Freizeit mit dem Motorrad unterwegs sind
- das eigene Motorrad bereits über Assistenzsysteme verfügt
- die Ausstattung mit Assistenzsystemen ein Kaufargument für das eigene Motorrad war
- sie sich durch Assistenzsysteme sicherer fühlen beim Motorrad fahren
- sie die Selbstüberschätzung der Motorradfahrenden als Gefahrenpotenzial sehen
- die Freunde Kurven-ABS für gutheißen.

Keinen Einfluss auf die Akzeptanz haben das Alter, Geschlecht, die Fahrerfahrung, die Fahrmotive, oder ob man schon in einen Unfall mit dem Motorrad verwickelt war.

2.3.12 Zusammenfassung

Information: Der Großteil der Befragten ging davon aus, dass durch das Kurven-ABS die Spur besser gehalten werden könne, d.h. die Motorradfahrenden haben eine Vorstellung davon, wie ein Kurven-ABS theoretisch wirken soll. Bezüglich der praktischen Handhabung des Kurven-ABS besteht jedoch ein Bedarf an mehr Information. Die Mehrheit der Befragten, unabhängig von der Fahrerfahrung begrüßte

es, wenn beim Kauf eines Motorrades mit Kurven-ABS eine praktische Einschulung in das System erfolgt. Vor allem ältere Motorradfahrende und solche ohne Assistenzsystemerfahrung erwarteten sich eine Einschulung.

Sicherheit: Das Kurven-ABS wurde von einer Mehrheit als technisch ausgereift angesehen. Die Motorradfahrenden sahen im Kurven-ABS ein Potenzial zur Unfallverhütung. Insbesondere bei unerfahrenen Motorradfahrern könnte laut Meinung der Befragten ein Kurven-ABS zu mehr Sicherheit beitragen, aber auch für erfahrene Motorradfahrende wurde das Kurven-ABS als hilfreiche Zusatzausstattung angesehen. Mit dem Kurven-ABS wurden jedoch von einem Teil der Befragten auch unbeabsichtigte Nebeneffekte befürchtet, dass Motorradfahrende unaufmerksamer werden könnten, die gewonnene Sicherheit durch höhere Geschwindigkeiten kompensiert werde. Hier muss durch eine gute Einschulung und Bewusstseinsbildung gegengesteuert werden.

Persönlicher Nutzen: Es wurde ein Nutzen für die eigene Sicherheit gesehen. Die Wenigsten gingen davon aus, dass sich durch ein Kurven-ABS der Spaß beim Fahren verringere, oder das Gefühl entstehe, fremdgesteuert zu sein. Vor allem eigene Erfahrungen mit dem System, verstärkten die Ansicht, dass das Kurven-ABS zur eigenen Sicherheit beitrage. Der Großteil, jener, die über ein Kurven-ABS verfügten, würden das Kurven-ABS auch weiterempfehlen. Der überwiegende Teil jener Befragten, die noch kein Motorrad mit Kurven-ABS hatten, hätte auch gerne ein Motorrad mit Kurven-ABS.

Effizienz: Der Großteil der Befragten vertraute dem System und ging davon aus, dass es im Notfall funktionieren werde. So befürwortete die Mehrheit auch eine verpflichtende Einführung des Kurven-ABS für alle neu zugelassenen Motorräder.

Nutzerfreundlichkeit: Auch wenn das Kurven-ABS von einem Großteil sehr positiv bewertet wurde, wollte mehr als die Hälfte der Befragten selbst bestimmen, ob man mit oder ohne System fahre. Insbesondere jüngere Personen und Personen, deren Motorräder mit Assistenzsystemen ausgestattet waren, begrüßten es, wenn das System zum Abschalten sei.

Leistbarkeit: Kurven-ABS ist zum Teil noch eine Frage der Leistbarkeit und wurde von Vielen als zu teuer angesehen.

Insgesamt kann laut Online-Befragung festgehalten werden, dass von einer breiten Akzeptanz bezüglich Kurven-ABS bei der motorradfahrenden Bevölkerung ausgegangen werden kann. Herausforderungen wie Risikokompensation, Delegation der Verantwortung sollten jedoch nicht außer Acht gelassen werden, und durch entsprechenden Informations- und Bewusstseinskampagnen entgegengewirkt werden.

3 METHODE DER FAHRVERSUCHE

Ziel der Fahrversuche auf dem Testgelände ist es fahrdynamische Daten für einen Vergleich von Bremsungen mit Kurven-ABS und mit ABS zu messen. Es ist die Entwicklung eines Versuchsablaufes mit mehreren Fahrmanövern erforderlich. Dabei müssen Anforderungen zur Gewährleistung der Sicherheit, sowie zur Durchführbarkeit für Versuchspersonen unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Fahrerfahrung berücksichtigt werden.

Grundsätzlich ist ein Bremsmanöver (Vollbremsung) für die Versuchspersonen eine physische und psychisch herausfordernde Situation (Kapitel 3.1.2). Durch mehrere kurzzeitig aufeinanderfolgende Handlungen, wie beispielsweise der Situationswahrnehmung, dem Treffen einer Entscheidung, der Möglichkeit der getrennten Betätigung der Vorderrad- und Hinterradbremse oder dem Ziehen der Kupplung ist die Belastung auf die Probanden nicht zu unterschätzen (Funke, 2006).

Zusätzlich kommen bei den Bremsmanövern noch die Anforderungen an die Anpassung der vorgegebenen Geschwindigkeit, Wahrnehmung der Bremsmarkierungen und (teilweise) dem Folgen einer vorgegebenen Fahrlinie (z.B. Kreisradius) hinzu.

Aus den definierten Forschungsfragen (s. Kapitel 1.5) werden die folgenden Anforderungen an das Versuchsdesign abgeleitet und bei der Entwicklung des Versuchsablaufes (Kapitel 3.1.3) mit den entsprechenden Fahrmanövern (Kapitel 3.1.4) zugrunde gelegt:

- Um möglicherweise vorhandene fahrdynamische Unterschiede zwischen Kurven-ABS und konventionellem ABS festzustellen, bedarf es Fahrmanövern, welche für Personen unterschiedlicher Fahrerfahrung geeignet sind. Die Durchführbarkeit von Vollbremsungen, hinsichtlich der vorgegebenen Fahrlinie und der gewählten Geschwindigkeit, müssen für Versuchspersonen unterschiedlichen Alters, Geschlechts, Fahrerfahrung und Fahrkönnens gegeben sein.
- Die Fahrmanöver müssen so gestaltet sein, dass die Probanden diese unter Wahrung der eigenen Sicherheit ausführen können. Die Sicherheit der Versuchspersonen hat höchste Priorität (Ethischer Grundsatz ist von höchster Bedeutung bei Freiwilligenversuchen). Die Probanden dürfen hinsichtlich ihres Fahrkönnens nicht überfordert werden.
- Die Versuchspersonen müssen langsam an die Vollbremsung während der Kurvenfahrt herangeführt werden, auch wenn dies möglicherweise zu einem Lerneffekt aufgrund der hohen Anzahl an wiederholten Bremsungen über dem gesamten Versuchsdurchgang führt.
- Im Bereich der Bremsmanöver muss ein großzügiger Auslaufbereich vorhanden sein, welcher frei von sämtlichen Objekten (auch von Pylonen) ist. Dies ist wichtig, um die von den Versuchspersonen gewählte Fahrlinie, beispielsweise aus Angst vor dem Abkommen von der Fahrbahn, nicht zu beeinflussen.
- Eine Steigerung der zu fahrenden Geschwindigkeiten und entsprechenden Schräglagen muss den Versuchspersonen selbst überlassen werden. Ein reduzieren der Geschwindigkeit, sowie das Abbrechen des Fahrmanövers muss ebenfalls jederzeit möglich sein. Gleichzeitig soll aber die Möglichkeit bestehen, die Geschwindigkeit und Schräglage an die Grenze des eigenen Wohlfühlbereiches zu erhöhen.
- Die Fahrmanöver müssen schrittweise instruiert werden und dürfen nicht zu komplex aufgebaut sein, um die dadurch entstehende, zusätzliche psychische Anstrengung der Probanden zu begrenzen.
- Es soll eine möglichst hohe Anzahl an Vollbremsungen während eines Versuchsdurchganges erreicht werden. Der gesamte Versuchsdurchgang darf aber nicht zu lange dauern, um die Versuchspersonen psychisch und physisch nicht übermäßig zu ermüden.
- Gleichzeitig sollen die entwickelten Fahrmanöver dazu führen, dass möglichst viele Vollbremsungen im Eingriffsbereich des Kurven-ABS (zumindest 20° Schräglage und darüber) ausgeführt werden.

- Die Fahrmanöver müssen so gestaltet sein, dass der/die Motorradfahrzeuglenkerin noch genügend Ressourcen hat, um die Fahraufgabe auszuführen und der subjektive Eindruck durch Befragung erhoben werden kann. Dies bedeutet, dass die Fahrmanöver möglichst einfach gehalten werden müssen, um durch die Komplexität der Fahraufgabe die Probanden möglichst nicht zu beeinflussen. Dies vor allem im Hinblick auf das Bremsverhalten und die damit verbundene Bremsbetätigung. Diese sollten durch die Fahraufgabe nicht beeinflusst werden und möglichst authentisch, entsprechend dem jeweiligen Fahrstil und der Fahrtechnik der Versuchsperson, abgebildet werden.
- Die ermittelten Meinungen und Einstellungen der motorradfahrenden Bevölkerung hat ergeben, dass grundsätzlich ein hohes Vertrauen in das Kurven-ABS und die Wirkung dessen vorhanden ist. Dementsprechend ist sicherzustellen, dass die Probanden zu jedem Zeitpunkt Kenntnis darüber haben, ob das Kurven-ABS oder das konventionelle ABS aktiviert wurde.

Die Meinungen und Einstellungen der motorradfahrenden Bevölkerung zu Kurven-ABS, welche im Zuge der Fokusgruppe und der Online-Befragung ermittelt wurden, hat eine grundlegende positive Einstellung zu Kurven-ABS und eine positive Erwartungshaltung der Motorradführenden ergeben. Nachdem nur einige der Befragten in Online-Befragung und Fokusgruppe Motorräder mit ABS oder Kurven-ABS besaßen, bzw. auch keine gezielten Vollbremsungen mit Kurven-ABS durchgeführt hatten, war eine gezielte Befragung der Probanden vor und nach den Fahrversuchen notwendig. Dadurch wurden subjektive Einschätzungen, bezüglich der Wirkung der Systeme (ABS und Kurven-ABS) und etwaige Unterschiede vor und nach den Fahrversuchen, abgefragt. Ziel war es, durch die Befragung vor den Fahrversuchen die Meinung und Einstellung zu Kurven-ABS festzustellen und durch die Befragung nach den Fahrversuchen die subjektive Bewertung der Versuchspersonen, direkt nachdem diese das Kurven-ABS im Zuge der getätigten Vollbremsungen getestet haben, abzubilden. Dies bildete auch die Grundlage einer Bewertungsmöglichkeit für einen Vergleich der subjektiven Eindrücke und der objektiv erfassten Messwerte.

Ziel der Erfassung der fahrdynamischen Messwerte bei den Fahrversuchen am Testgelände ist es, die Unterschiede zwischen ABS und Kurven-ABS Bremsungen zu ermitteln. Damit können etwaige Unterschiede im Bremsverhalten, anhand von objektiven Daten ermittelt werden. Die Auswertung der Fahrversuche im Straßenverkehr dient als Basis für einen Vergleich und als Überprüfung der Repräsentativität der angenommenen Ausgangsbedingungen der definierten Fahrmanöver der Fahrversuche am Testgelände.

3.1 Fahrversuche am Testgelände

Die Fahrversuche werden auf einem abgesperrten Testgelände durchgeführt. Höchste Priorität liegt dabei auf der Sicherheit der einzelnen Versuchspersonen und diese hinsichtlich ihres Fahrkönnens nicht zu überfordern, ihnen aber die Möglichkeit zu bieten, sich vorsichtig an die persönliche Wohlfühlgrenze heranzutasten. Dies bedeutet, dass die eigens entwickelten Fahrmanöver dahingehend aufgebaut sind, dass sowohl eine Versuchsperson mit wenig Fahrerfahrung (Fahranfänger), als auch eine Versuchsperson mit sehr viel Routine im Handling von Motorrädern, Kurvenbremsungen mit ABS und mit Kurven-ABS durchführen kann. Die Probanden werden instruiert, entsprechend ihrer eigenen Wohlfühlgrenze Vollbremsungen durchzuführen und sich selbst nicht zu überfordern.

Für die Aufzeichnung der fahrdynamischen Daten wird eine KTM 790 Duke mit einem Trägheitsnavigationssystem und einem CAN-Datenlogger ausgerüstet (Kapitel 3.3). Durch einen Kippschalter können entweder das Kurven-ABS oder das konventionelle ABS aktiviert werden.

Von allen Versuchspersonen werden jeweils Bremsungen mit konventionellen ABS und Kurven-ABS durchgeführt. Für die Ermittlung der Unterschiede von ABS und Kurven-ABS wurden geeignete

Fahrmanöver (Kapitel 3.1.5) entwickelt und ein entsprechender Versuchsablauf (Kapitel 3.1.4) festgelegt. Dafür war es grundsätzlich notwendig, die Schräglagen zu ermitteln, bei welchen die entsprechenden Kreisradien von den Probanden durchfahren werden.

Die erforderliche Schräglage λ als Funktion von Kurvenradius und Fahrgeschwindigkeit ergibt sich anhand der Gleichung $\tan\lambda = \frac{v^2}{R \cdot g}$ mit der Fahrgeschwindigkeit v , dem Kurvenradius r und der Erdbeschleunigung g .

Die tatsächlich gefahrene Schräglage von Versuchspersonen unterschiedlicher Fahrerfahrung hängt jedoc sowohl vom Motorrad und der Motorradgeometrie als auch vielmehr von dem Motorradfahrenden und der exakt gewählten Trajektorie ab. Deshalb werden im Vorfeld zur Fahrmanöverentwicklung Fahrversuche aus der Literatur und der darin enthaltene Versuchsabläufe, sowie die gefahrenen Kreisradien und Geschwindigkeiten untersucht (Kapitel 3.1.1). Ziel war es Kreisradien zu wählen, welche unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Fahrmanöver auch dazu führten, eine möglichst große Anzahl an Vollbremsungen aller Probanden bei einer Schräglage von 20° und darüber zu erreichen.

Die Fahrversuche im Straßenverkehr dienen als Vergleichsbasis zur Ermittlung der Repräsentativität hinsichtlich der gefahrenen Geschwindigkeiten und Schräglagen für die Fahrversuche am Testgelände (Kapitel 3.2.2). Zusätzlich wurden auch bereits durchgeführte Fahrversuche aus der Literatur herangezogen und bei dem Vergleich berücksichtigt (Kapitel 3.2.1).

3.1.1 Faktor Mensch bei Fahrversuchen

Der Faktor Mensch (also die Fahrzeugführenden) hat beim Motorradfahren einen wesentlichen Einfluss auf Fahrdynamik, Fahrlinie und somit auch auf die objektiv ermittelten fahrdynamischen Messwerte. Daraus resultiert, dass bei der Entwicklung von Fahrmanövern der Faktor Mensch besonders berücksichtigt werden muss.

Aus diesem Grund wurde eine Literaturrecherche auch bezüglich physischer und psychischer Belastungen durchgeführt. Dies um die Zusatzbelastung bei den durchzuführenden Vollbremsungen für die Fahrzeugführenden über den gesamten Versuchsablauf so gering wie möglich zu halten und die Dauer der Fahrversuche anzupassen.

Die Belastung und Beanspruchung von Versuchsperson bei Fahrmanövern und der Durchführung von Fahrversuchen wurden von Funke (2006) untersucht. Unter anderem für die Analyse der physischen und psychischen Beanspruchung von Motorradfahrern wurden dabei fünf verschiedene Bremssysteme jeweils direkt miteinander verglichen (z. B. Standardbremssystem und Kombinationsbremse) verwendet. Bei den Fahrversuchen mit insgesamt neun Versuchspersonen definierte der Autor drei Permutationen seiner Fahrmanöver, um Artefakte aufgrund des Versuchsablaufes auszuschließen. Es wurde damit sichergestellt, dass nie zwei gleiche Bremssysteme hintereinander getestet werden oder hinsichtlich der Reihenfolge der Bremssysteme bei den Fahrtests an der gleichen Stelle im Versuchsablauf stehen. Bei den Vorversuchen wurde ein Lerneffekt beobachtet: Die Probanden erreichten ihre höchste Bremsleistung innerhalb der ersten sieben Bremsungen und erreichten so ihr erstes Lernplateau. Eine weitere Erhöhung der Bremsleistung nach der maximalen Anzahl von 15 Bremsungen wurde vom Autor für sehr wahrscheinlich befunden. Es wurde, um eine übermäßige Ermüdung der Versuchspersonen zu vermeiden, die Gesamtdauer der Versuche zeitlich beschränkt. Die Fahrversuche benötigen insgesamt eine Zeit von ca. 90 Minuten. Zwischen den Versuchen wurde, während dem Umschalten des Bremssystems, eine kurze Befragung durchgeführt.

Lucci et al. (2021) veröffentlichten Rahmenbedingungen für Motorradfahrversuche auf einem Testgelände. Auf deren Basis wurden Fahrversuche mit 55 Versuchspersonen mit einer ferngesteuerten Aktivierung eines Bremsassistenten (s. Lucci et al. (2020)) durchgeführt.

Es werden die folgenden Anforderungen an Fahrversuche mit Versuchspersonen definiert: Grundsätzlich muss ein Kompromiss zwischen optimalen Ergebnissen der Fahrversuche und der Sicherheit der Teilnehmer (Ethik) gefunden werden. Eine Eingewöhnungszeit von 10 bis 15 Minuten an das Versuchsmotorrad ist erforderlich. Die Beschreibung der Fahrmanöver für die Probanden ist wichtig, denn unerwartete Bremsungen oder Events sind zu gefährlich. Ein Herantasten bei Steigerungen der Bremsverzögerungen ist notwendig, auch wenn dies zu einem unvermeidlichen Lerneffekt führt. Die Teilnehmenden müssen bei Steigerungen (z. B. Verzögerung des ferngesteuerten Bremsassistenten) selbst über eine weitere Erhöhung entscheiden können. Die Gesamtdauer (inklusive Befragungen) ist auf maximal 2 Stunden zu beschränken, denn die Versuchsdurchführung würde sonst zu übermäßiger physischer Ermüdung und psychologischer Anstrengung führen.

Wie Fahrzeuglenkende entsprechend des gewählten Fahrzeuges ihre alltäglichen Fahraufgaben bewältigen ist unterschiedlich und komplex zu beurteilen. Im Kompetenz-Belastungsmodell von Kerwien (2002) wird beispielsweise davon ausgegangen, dass die Fahrzeugführenden die Schwierigkeit der Fahraufgabe nach ihren subjektiv zur Verfügung stehenden Kompetenzen auswählen. Das Ergebnis ist ein Wohlfühlgefühl und wird als Balancezustand bezeichnet, das Risiko ist für die Versuchspersonen minimal. Kommt es zu Abweichungen von dem Balancezustand wird dies von den Probanden als unangenehm wahrgenommen und äußert sich zum Beispiel in Stress oder Langeweile. Dies wird abhängig von der subjektiven Aufgabenschwierigkeit bzw. der Kompetenz unterschiedlich empfunden. Wird im Bereich der fahrphysikalischen Grenzen gefahren, so kommt es, je nach Schwierigkeit der Aufgabe und abhängig von dem Zustand des Fahrers (müde, nicht ausgeruht usw.), zu Angstsymptomen. Ist der Balancezustand durch etwaige Vorkommnisse gestört, so kann dies dazu führen, dass die Durchführung eines Trainings dazu führt, dass schwierigere Fahraufgaben ausgewählt werden. Daraus kann beispielsweise resultieren, dass höhere Geschwindigkeiten oder größere Schräglagen, als vorgegeben, gefahren werden. In der Veröffentlichung wurden weitere Trainingswirkungen und mögliche Konsequenzen für Sicherheitstrainings, basierend auf dem Kompetenz-Belastungsmodell vorgeschlagen.

3.1.2 Beschreibung des Testgeländes

Als Testgelände für die Fahrversuche wurde das ÖAMTC Fahrtechnikzentrum in Lang/Lebring ausgewählt. Das Fahrtechnikzentrum verfügt über 60.000 m² asphaltierte Fläche und besteht aus fünf verschiedenen Bereichen (ÖAMTC, 2021).

Aus den bereits durchgeführten Fahrversuchen der Literatur (s. Kapitel 3.1.1) und den gestellten Anforderungen an die Fahrmanöverentwicklung für diese Studie ergab sich ein Zielkonflikt, welcher sowohl bei der Wahl des Testgeländes als auch bei der Entwicklung der Fahrmanöver zu berücksichtigen war.

Grundsätzlich hatte die Sicherheit der Probanden höchste Priorität. Gleichsam war es aber für die Bewertung der möglicherweise vorhandenen Unterschiede zwischen ABS und Kurven-ABS wichtig, eine möglichst große Anzahl an Vollbremsungen bei einer Schräglage von 20° und darüber durchzuführen. Für die detaillierte Auswertung von Vollbremsungen wären größere Kurvenradien, höhere Geschwindigkeiten und damit eine längere Bremsphase von Vorteil. Die Hemmschwelle der Versuchspersonen unterschiedlicher Fahrerfahrung, aus höheren Geschwindigkeiten eine Vollbremsung auf der Geraden auszuführen, war aber aus Fahrtechniktrainings bekannt. Deshalb konnte auch nicht davon ausgegangen werden, dass eine hohe Ausgangsgeschwindigkeit für die Vollbremsung in der Kurve dazu führen würde, dass viele Versuchspersonen sich dies zutrauen. Mit einer geringeren Ausgangsgeschwindigkeit auf größeren Radien wären damit auch weniger Vollbremsungen aus einer Schräglage von zumindest 20° zu erwarten gewesen.

Aus diesem Grund wurde entschieden, ein Herantasten an die Vollbremsungen beginnend mit Geschwindigkeiten ab 30 km/h auf Radien von 20 bis 30 m durchzuführen. Der Fokus wurde darauf gelegt Probanden die Möglichkeit zu bieten auch Schräglagen von weit über 20° zu erreichen. Bei

entsprechenden Radien wurde die Durchführbarkeit mit Probanden unterschiedlichen Fahrkönnens und unterschiedlicher Fahrerfahrung auch in der Literatur bereits bestätigt. Mit diesem Kompromiss wurde in Kauf genommen, dass sich kürzere Bremszeiten ergeben.

Außerdem liegt das ausgewählte Testgelände in der geografische Nähe von Probanden, welche schon im Vorfeld ihr Interesse an einer Teilnahme bei den Fahrversuchen bekundet haben.

Zur Durchführung von Kurvenbremsungen sind, insbesondere aufgrund des weiträumigen Auslaufbereiches, die folgenden zwei Bereiche des Fahrtechnikzentrums geeignet:

Der Bereich Kreis (2) besitzt eine Fahrbahnbegrenzung außen mit einem Radius von 36 m. Zusätzlich existieren zwei markierte Fahrstreifen, welche durch eine Sperrlinie voneinander getrennt sind.

Im Bereich Kuppe (3) befindet sich eine weitere geeignete Kurve mit einem Radius von 20 m. Die Fahrbahn wird auf der rechten Seite durch eine Leitschiene begrenzt und es sind mehrere Fahrstreifen markiert, weist damit also Merkmale für einen Vergleich zu Fahrten im Straßenverkehr auf. Es befindet sich ein großzügiger Auslaufbereich im Bereich der Kurve, der frei von Hindernissen ist.

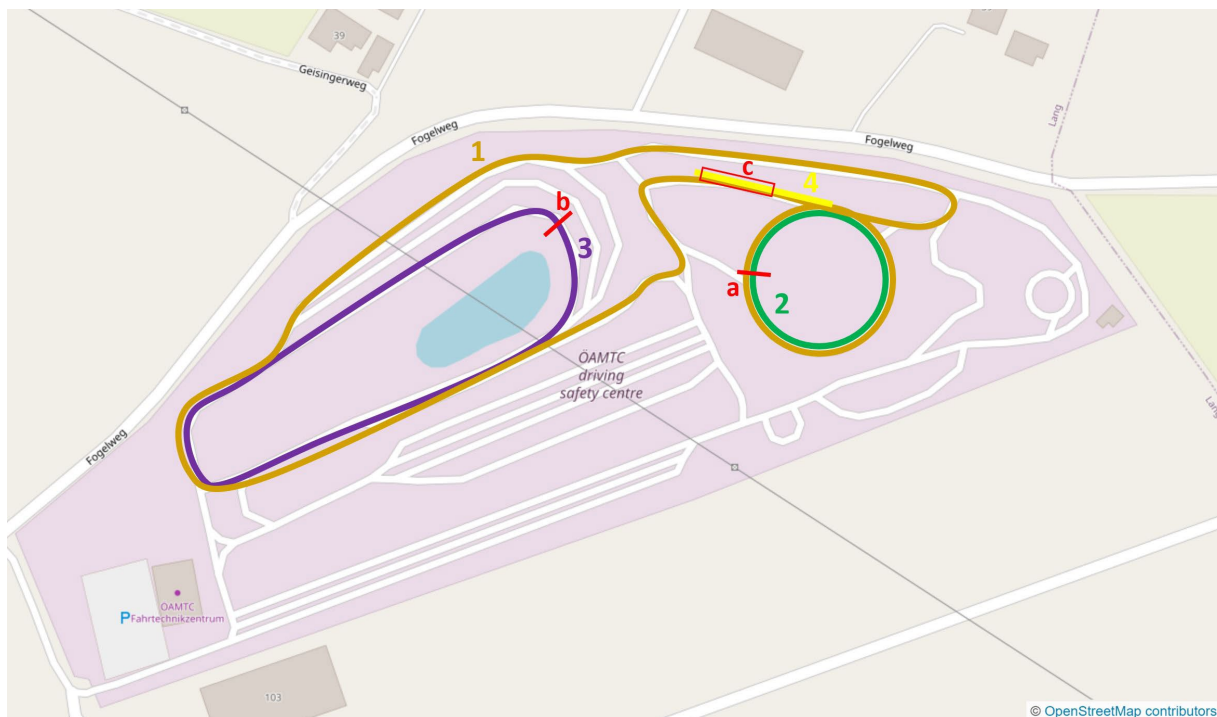


Bild 3-1: Übersichtsdarstellung ÖAMTC Fahrtechnikzentrum Lang/Lebring
(Bild: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)

3.1.3 Versuchsablauf

Ziel der Fahrversuche war es, die Versuchspersonen in einem sicheren Versuchsaufbau an Vollbremsungen in einer Kurve heranzuführen und mehrere Vollbremsungen hintereinander durchführen zu lassen. Jede Versuchsperson sollte die Geschwindigkeit innerhalb der persönlichen Wohlfühlgrenze soweit erhöhen können, bis eine Vollbremsung entsprechend des eigenen Fahrkönnens noch sicher durchgeführt werden konnte.

Unter Berücksichtigung der genannten Anforderungen wurde ein Versuchsablauf mit einer bestimmten Abfolge der einzelnen Fahrmanöver entwickelt. Der Versuchsablauf bestand aus den fünf Teilen Einschulung, Einfahren, Manöver Teil A, Manöver Teil B und Abschluss und ist in Bild 3-2 dargestellt.

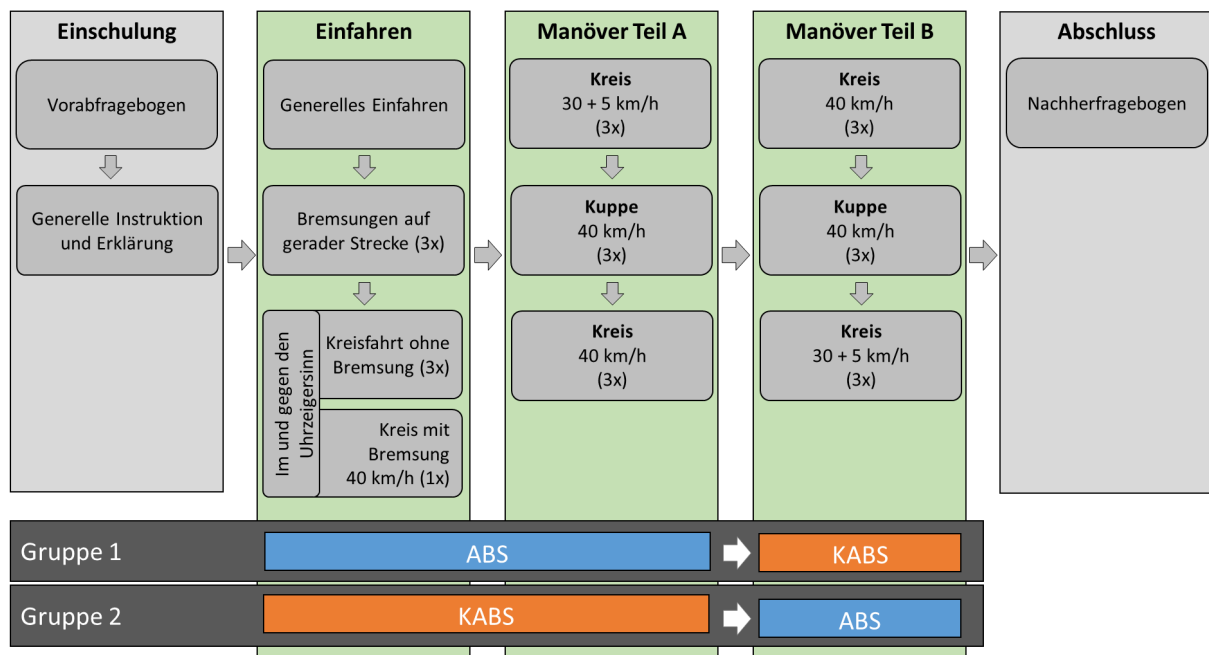


Bild 3-2: Versuchsablauf mit Abfolge der Fahrmanöver

Die Einschulung begann mit dem Ausfüllen des Vorabfragebogens und einer Erklärung des Motorrades sowie des Versuchsablaufes. Es folgte eine Kurzbeschreibung der durchzuführenden Fahrmanöver. Die Streckenführung und die Verhaltensregeln am Testgelände wurden mit allen Versuchspersonen besprochen. Anschließend erfolgte eine Sicherheitsunterweisung und Begehung der Strecke mit jeder Versuchsperson einzeln. Zur Prävention von Stürzen wurde auf die Gefahren bei einem unbeabsichtigten Befahren der Rutschbeläge (Streckenteile mit geringerem Reibwert) hingewiesen und die Streckenführung unmittelbar vor dem jeweiligen Fahrmanöver im Detail nochmals erklärt.

Das Einfahren bestand aus einer allgemeinen Eingewöhnungsphase an das Motorrad, Bremsungen auf gerader Strecke und Kreisfahrten mit und ohne Bremsungen. Bei den Manövern Teil A und Manövern Teil B wurden jeweils die Fahrmanöver Kreis (Kreis 30+5 km/h und Kreis 40 km/h) und das Fahrmanöver Kuppe (40 km/h) absolviert. Die einzelnen Fahrmanöver wurden jeweils mit konventionellen ABS und mit Kurven-ABS durchgeführt, wobei sich die Reihenfolge aus der Gruppeneinteilung des jeweiligen Probanden ergab.

Nach dem absolvierten Fahrmanövern fand anhand des Nachherfragebogens eine mündliche Befragung der Probanden statt, wobei die Angaben von der Interviewer auf dem Fragebogen notiert wurden.

Um den Einfluss, welcher sich aus einem möglichen Lerneffekt durch die steigende Anzahl an Vollbremsungen ergibt, nicht fälschlicherweise systembezogen auszuwerten, wurden die Probanden in zwei Gruppen eingeteilt. Die Reihenfolge der Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS wurde umgekehrt. Gruppe 1 (n=27 Probanden) absolvierten das Einfahren und auch die Manöver Teil A mit ABS, für die Manöver Teil B wurde das Kurven-ABS (KABS) aktiviert (siehe Bild 3-2). Gruppe 2 (n=28 Probanden) absolvierte das Einfahren und Manöver Teil A mit Kurven-ABS, für Manöver Teil B wurde auf ABS umgeschaltet.

Für die gesamte Dauer des Versuchsablaufes pro Person wurde, aufgrund der hohen Anzahl der durchzuführenden Kurvenbremsungen und der damit verbundenen physischen und psychischen Belastung, eine kürzere als in der Literatur (max. 120 Minuten bei Lucci et al. (2021) und 90 Minuten ohne Befragung bei Funke (2006)) angegebene Dauer ausgewählt. Jede Versuchsperson benötigte für den gesamten Versuchsablauf (inklusive Befragungen) ca. 90 Minuten.

3.1.4 Fahrmanöver

Im Folgenden werden die einzelnen Fahrmanöver Einfahren, Kreis und Kuppe im Detail beschrieben.

Einfahren

Um allen Probanden die gleichen Voraussetzungen zu ermöglichen, das Motorrad und das damit verbundene Handling kennen zu lernen, erfolgte zu Beginn des Einfahrens ein Befahren eines vordefinierten Streckenverlaufes (Bild 3-1, orange (1) markiert).

Es folgten drei Bremsungen auf der Geraden. Die drei Bremsungen ohne Schräglage wurden durchgeführt, um die Probanden, entsprechend ihres Fahrkönnens auf die Vollbremsungen im Kreis vorzubereiten und ein Herantasten innerhalb der eigenen Leistungsgrenzen zu ermöglichen (in Bild 3-1, rot gekennzeichneten Bereiches (c) und auf der mit gelb (4) markierten Geraden). Hierbei wurden die Versuchspersonen angewiesen in diesem Bereich innerhalb der dort befindlichen Bodenmarkierungen nach freier Wahl eine Vollbremsung durchzuführen und diese drei Mal zu wiederholen. Die Probanden konnten die Geschwindigkeit frei wählen.

Der letzte Teil des Einfahrens bestand darin, der eingezeichneten Bodenmarkierung (Bild 3-1, grün (2)) im Uhrzeigersinn für drei Runden ohne zu Bremsen mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h zu folgen. Anschließend sollten die Versuchspersonen bei der ebenfalls rot eingezeichneten Bodenmarkierung/Quermarkierung (a) nach einer weiteren Runde eine Vollbremsung tätigen. Die Aufgabenstellung wurde nochmals wiederholt, dabei wurde die Fahrtrichtung geändert.

Die Versuchspersonen wurden anschließend hinsichtlich der bevorzugten Fahrtrichtung befragt. Es wurden entsprechend der Entscheidung auch sämtliche folgenden Fahrmanöver Kreis in der von den Probanden bevorzugten Fahrtrichtung gefahren.

Durch die detaillierte Instruktion des Einfahrens konnte sichergestellt werden, dass jede Versuchsperson die gleiche Gewöhnungsphase an das Motorrad hatte.

Fahrmanöver Kreis 30 km/h mit Steigerung der Geschwindigkeit in 5 km/h Schritten (Kreis 30+5)

Die erste Bremsung dieses Fahrmanövers wurde mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h instruiert. Gleichzeitig erfolgte die Anweisung der angebrachten Bodenmarkierung (Radius 29 m, Kreis grün (2)) zu folgen und bei der rot eingezeichneten Bodenmarkierung (Bremsmarkierung/Quermarkierung (a)) eine Vollbremsung zu tätigen. Die Probanden wurden angewiesen danach die Geschwindigkeit in 5 km/h Schritten zu erhöhen und den Versuchspersonen wurde die Entscheidung überlassen, aus welcher Geschwindigkeit sie sich noch sicher fühlten eine Vollbremsung zu tätigen. Die theoretischen Schräglagen für die Kurvenfahrt auf einem Radius von 29 m für 30, 40 und 50 km/h ergibt sich zu 13,7°, 23,5° und 34,1°.

Fahrmanöver Kreis mit 40 km/h (Kreis 40)

Das Fahrmanöver wurde ebenfalls im Bereich grün (2) gefahren und beinhaltete eine Geschwindigkeitsvorgabe von 40 km/h. Die Probanden wurden wieder angewiesen der angebrachten Bodenmarkierung (Radius 29 m) im Kreis zu folgen und bei der Bremsmarkierung (a) eine Vollbremsung bis zum Stillstand auszuführen.

Fahrmanöver Kuppe mit 40 km/h (Kuppe)

Für das Fahrmanöver Kuppe wurde eine Bremsausgangsgeschwindigkeit von 40 km/h im Kurvenbereich (Kreisradius 20 m) nach der Kuppe (Bild 3-1, violett (3)) instruiert. Es erfolgte die Anweisung vor der Kurveneinfahrt nochmals die Geschwindigkeit zu kontrollieren und bei der eingezeichneten Bodenmarkierung (Bremsmarkierung - rot (b)) eine Vollbremsung zu tätigen. Die Fahrlinie war innerhalb des durch Sperrlinien begrenzten Fahrstreifens von den Versuchspersonen frei zu wählen. Der zurückgelegte Weg zwischen den einzelnen Bremsungen betrug rund 410 m. Die theoretische Schräglage bei der Durchfahrt einer Kurve mit 40 km/h und einem Radius von 20 m beträgt 32,2°.

3.1.5 Probandenbefragung

Ziel der Probandenbefragung im Rahmen der Fahrversuche war es, die objektiven Messdaten der Fahrversuche mit subjektiven Einschätzungen zu ergänzen und die Akzeptanz bzw. subjektiven Eindrücke zum Kurven-ABS nach Vollbremsungen mit und ohne Kurven-ABS abzufragen. Die Befragung bestand aus einem Vorabfragebogen zu Beginn des Versuchsablaufes zum Selbstausfüllen und einer face to face Nachherbefragung, welche unmittelbar nach dem letzten Fahrmanöver durchgeführt wurde.

Der Vorabfragebogen bestand aus geschlossenen Fragen, wobei soziodemografische Daten, Fahrerfahrung, erlebte Unfälle und erwartete Auswirkungen des Kurven-ABS abgefragt wurden. Bei den Fragen des Nachherfragebogens standen spontane Assoziationen zum Kurven-ABS nach den Fahrmanövern, die Bewertung der Testaufgaben, Unterschiede zwischen Fahrten mit und ohne Kurven-ABS, die Kaufbereitschaft und die Auswirkungen des Kurven-ABS auf die Verkehrssicherheit im Mittelpunkt. Der Nachherfragebogen enthielt sowohl geschlossene als auch offene Fragen und die Befragung wurde face to face durchgeführt, wobei die Antworten von den Interviewern auf dem Fragebogen notiert wurden. Bei wiederholten Versuchsdurchgängen (Mehrfachfahrten) erfolgte keine zusätzliche Befragung der Versuchspersonen.

Die Antworten auf die Vorher- und Nachherbefragung wurden mit der Statistiksoftware SPSS deskriptiv ausgewertet.

Die Ergebnisse der Befragungen vor und nach den Fahrversuchen waren eine Momentaufnahme. Aus den Aussagen der Testpersonen ließen sich Tendenzen ablesen hinsichtlich der Akzeptanz und der subjektiven empfundenen Effizienz des Systems, aber auch Kritik, die damit verbunden war.

3.1.6 Beschreibung der Probandinnen und Probanden

Ausgewertet wurden die Fragebögen von 54 Probanden, die sowohl vor als auch nach den Fahrversuchen befragt wurden. Bei zwei Personen wurde keine Nachherbefragung durchgeführt.

Von den 54 befragten Versuchspersonen waren sieben weiblich und 47 männlich. Das Durchschnittsalter betrug 36 Jahre. 22 Personen waren zwischen 22 und 30 Jahren, 14 Versuchspersonen zwischen 31 und 40 Jahren und 18 Teilnehmende 41 Jahre oder älter.

Bei den Probanden waren sowohl wenig erfahrene, als auch erfahrene Personen vertreten. Zehn Personen (18 %) verfügten über maximal ein Jahr aktive Motorradfahrerfahrung. Zwölf Personen (22 %) gaben an, zwischen 2-5 Jahre Fahrerfahrung aufzuweisen. Acht Versuchspersonen (15 %) nutzten das Motorrad zwischen sechs und zehn Jahren aktiv und 24 Personen (45 %) hatten mehr als zehn Jahre Fahrerfahrung. Die Person mit der meisten Erfahrung fuhr bereits seit 58 Jahren Motorrad.

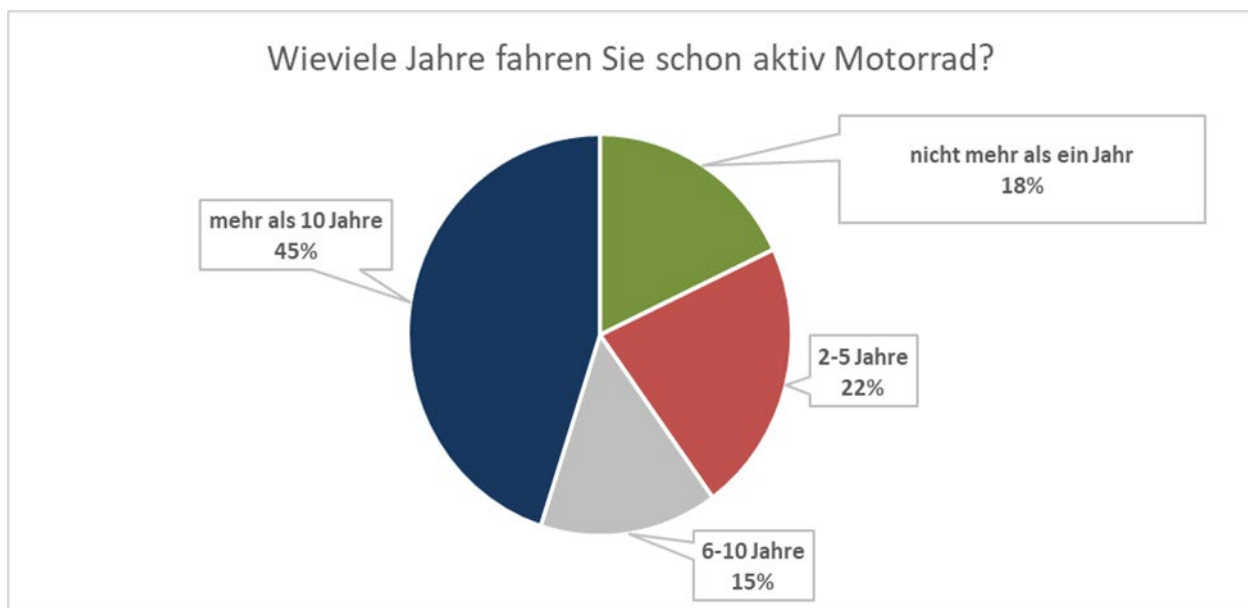


Bild 3-3: Motorradfahrerfahrung der Probanden (n=56)

Bezüglich der gefahrenen Kilometer der Probanden im letzten Jahr ergab sich folgende Aufteilung:

Fahrleistung im letzten Kalenderjahr [km]	Anzahl der Personen [-]
< 1000	12
1000 - 2500	11
2501 - 5000	8
5001 - 10000	12
10000 - 30000	8
> 30000	2

Tabelle 3-1: Fahrleistung der Probanden im letzten Kalenderjahr

3.2 Fahrversuche im Straßenverkehr

Ziel der Fahrversuche im Straßenverkehr war es die Repräsentativität der Ausgangsbedingungen der Fahrversuche am Testgelände anhand der Schräglagen und Geschwindigkeiten für die entsprechenden Kurvenradien zu bewerten. Fünf Versuchspersonen haben hierfür Messfahrten im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt. Dabei wurden sowohl zwei vorgegebene Streckenabschnitte (typische Motorradstrecken) als auch frei wählbare Strecken mit dem Versuchsmotorrad befahren. Die von den Probanden im Zuge der Vollbremsungen bei den Fahrmanövern am Testgelände gefahrenen Schräglagen und Geschwindigkeiten wurden anhand der Radien mit den beim Durchfahren der Kurven im Straßenverkehr gefahrenen Schräglagen und Geschwindigkeiten verglichen. Dabei wurde überprüft, ob die Geschwindigkeiten und Schräglagen vor der Vollbremsung mit den Geschwindigkeiten und Schräglagen im Straßenverkehr, abhängig von den betreffenden Radien, übereinstimmen. Zusätzlich erfolgte eine Auswertung aller im Straßenverkehr zurückgelegten Strecken hinsichtlich der Eingriffe von Kurven-ABS bzw. von ABS, sowie der Schräglage und Geschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt.

3.2.1 Versuchsablauf

Die Fahrversuche im Straßenverkehr wurden mit dem Versuchsmotorrad (Kapitel 3.3.1) durchgeführt. Das Kurven-ABS war bei allen Fahrten auf öffentlichen Straßen aktiviert. Es erfolgte eine Aufzeichnung der CAN-Daten mittels des Datenloggers, das Trägheitsnavigationssystem war nicht montiert.

Die Versuchspersonen konnten das Motorrad in der zur Verfügung gestellten Zeit frei nutzen. Sie wurden jedoch angewiesen, zumindest einmal eine der vordefinierten Streckenabschnitte in beide Fahrtrichtungen zu befahren. Die beiden vordefinierten Streckenabschnitte (Griffnerberg und Berndorf) hatten jeweils einen festgelegten Start- und Wendepunkt.

Der vordefinierte Streckenabschnitt Griffnerberg (Bild 3-4, links) befindet sich in Kärnten, östlich von Griffen und weist eine Länge von 11,7 km auf. Der zweite Streckenabschnitt Berndorf (Bild 3-4, rechts) befindet sich in der Steiermark, westlich von Graz und weist eine Streckenlänge von 20,0 km auf.

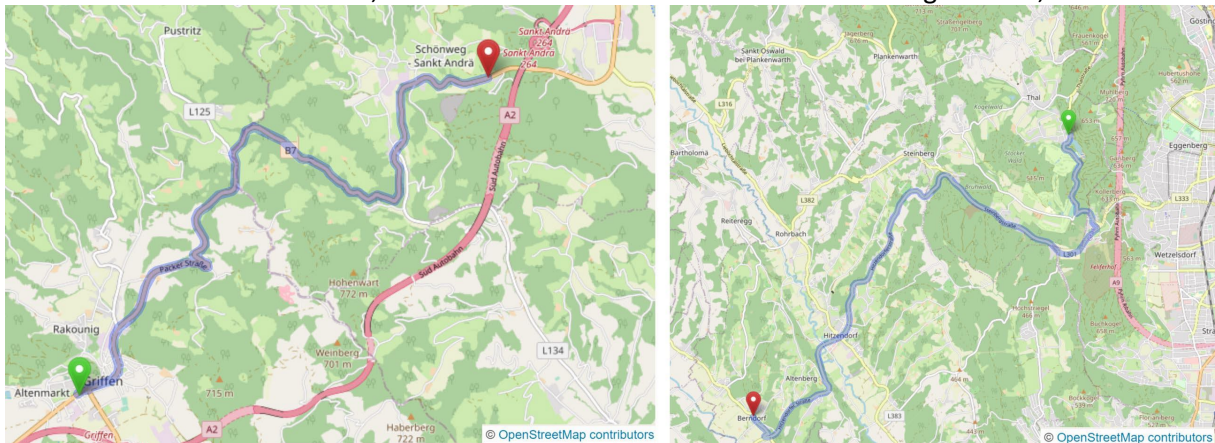


Bild 3-4: Übersichtsdarstellung Streckenabschnitt Griffnerberg (links) und Berndorf (rechts, nur Ausschnitt aus Versuchsstrecke mittels Routenplanung markiert (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0))

3.2.2 Beschreibung der Probandinnen und Probanden

Fünf Versuchspersonen nahmen an den Fahrversuchen im Straßenverkehr teil. Tabelle 3-5 fasst die Details der Probanden, sowie die im letzten Jahr gefahrenen Kilometer, den Typ des eigenen Motorrads und die aktiv Motorrad fahrenden Jahre zusammen. Im letzten Kalenderjahr hatten zwei Personen unter 1000 km mit dem Motorrad zurückgelegt und drei Personen zwischen 1000 und 2500 km. Bei den Typen des eigenen Motorrads waren Enduro, Roller und Naked Bike Fahrende vertreten. Die Fahrerfahrung lag im Bereich zwischen 0 Jahren (hatte in demselben Jahr das Motorrad gekauft) und 18 Jahren.

Probanden Nr.	Fahrleistung im letzten Kalenderjahr [km]	Typ des eigenen Motorrads	Aktiver Motorradfahrende seit [Jahre]
101	1000-2500	Enduro	18
102	<1000	Roller	0
103	<1000	Naked Bike	12
104	1000-2500	Naked Bike	2
105	1000-2500	Enduro	10

Tabelle 3-2: Details der Probanden der Fahrversuche im Straßenverkehr

3.3 Versuchsmotorrad und Datenaufzeichnung

3.3.1 Versuchsmotorrad

Als Versuchsmotorrad für die Durchführung der Fahrversuche wurde eine KTM 790 Duke (KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen, Österreich) mit MSC inklusive Kurven-ABS verwendet. Die zweikreisige hydraulische ABS-Bremsanlage vom Typ Bosch 9.1 MP moduliert dabei Vorder- und Hinterrad getrennt und unabhängig voneinander. Das System besitzt keine Verstärkerfunktion und kann den Bremsdruck nicht aktiv aufbauen.

Über das Kombiinstrument des Motorrades können verschiedene Fahrmodi gewählt werden, für die Fahrversuche war der Fahrmodus Street aktiviert.

Technische Daten und Bereifung der KTM 790 Duke (KTM, 2019):

- Motorleistung: 77 kW (2 Zylinder Reihenmotor)
- Hubraum: 799 ccm
- Gewicht ohne Kraftstoff: 174,6 kg
- Radstand: 1475 mm (± 15 mm)
- Sitzhöhe unbelastet 825 mm
- Federweg: 140 mm (vorne), 150 mm (hinten)
- Kraftstofftankinhalt: 14 l
- Höchstzulässiges Gesamtgewicht: 430 kg
- Reifen vorne: Maxxis Supermaxx ST (120/70 ZR17 M/C (58W) TL (J))
- Reifen hinten: Maxxis Supermaxx ST (180/55 ZR 17 M/C (73W) TL (G))



Bild 3-5: Versuchsmotorrad (KTM 790 Duke) mit Messaufbau: Trägheitsnavigationssystem am Soziussitz und WLAN Antenne über der Kennzeichenhalterung

Um die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS zu deaktivieren, wurde das Versuchsmotorrad adaptiert. Mittels Kippschalter konnte die Spannungsversorgung des MM5.10 Internalsensors getrennt werden. Der Schalter war für die Fahrenden gut sichtbar an der Lenkstange

vor dem Kombiinstrument montiert, und eine Beschriftung erklärte den Aktivierungszustand des Kurven-ABS. Durch die Trennung der Spannungsversorgung des MM5.10 Sensors war eine systeminterne Verarbeitung der Daten des Inertialsensors durch das ABS-Steuergerät nicht mehr möglich. Das System wechselte in einen Fail-Safe Mode und die Bremsdruckmodulation war somit einem konventionellen ABS-System gleichzusetzen.

3.3.2 Datenaufzeichnung

Für die Messung der Beschleunigungen, Geschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeiten, Schräglage (Rollwinkel) und Nickwinkel sowie der Fahrtrajektorie wurde ein Trägheitsnavigationssystem RT3004 (OxTS Inc., Middleton Stoney, Vereinigtes Königreich) anstatt des Soziussitzes am Motorrad montiert (Bild 3-5). Eine Positionsgenauigkeit im Bereich von einem Zentimeter wurde durch die GPS-Korrekturdaten erreicht. Dies erfolgte mittels DL-V3 GPS-Empfänger (NovAtel Inc, Calgary, Kanada), welcher als GPS-Basisstation zur Generierung der Korrekturdaten verwendet wurde. Die entsprechenden Daten wurden im Format RTCMv3 über die WLAN Station Ubiquiti Rocket M2 mit Ubiquiti airMAX Omni Antenne an die am Motorrad montierte Ubiquiti Bullet M2 Antenne gesendet. Vor Beginn der Fahrversuche wurde das Trägheitsnavigationssystem nach den Herstellervorgaben initialisiert und aufgewärmt (Warm-up). Nach der Initialisierung und der Warm-up Phase erfolgte der Betrieb im Bereich der spezifizierten Genauigkeitswerte. Die Angaben der OxTS RT3004 aus dem Datenblatt des Herstellers und die während der Versuchsdurchführungen am Testgelände erreichten Werte (von OxTS ausgegeben) sind in Tabelle 3-6 zusammengefasst.

Genauigkeit	Datenblatt	Erreichter Wert
Position RTK (CEP) [m]	0,01	Norden: 0,011(SD 0,004) Osten: 0,007 (SD 0,003)
Geschwindigkeit (RMS) [km/h]	0,05	0,043 (SD 0,010)
Roll/Nick-Winkel (1σ) [°]	0,03	Roll: 0,024 (SD 0,008) Nick: 0,093 (SD 0,103)

Tabelle 3-3: Spezifizierte Genauigkeit (OxTS, 2017) und erreichte Genauigkeit (Mittelwert) bei den Fahrversuchen am Testgelände (Abkürzung: SD ... Standardabweichung)

Die Messdaten der OxTS wurden per WLAN-Verbindung live auf den Laptop des Versuchsleiters übertragen. Über die NAVdisplay Software (NAVsuite 2.6.1908.30) konnte die Datenaufzeichnung, der GPS Empfang sowie alle Messdaten ständig überwacht werden. Die Messdaten wurden in einem Rohdatenformat am internen Speicher der OxTS gespeichert.

Die CAN-Daten des Steuergerätes des Motorrades (z.B. Radgeschwindigkeiten, Status ABS-Eingriff, Schräglage, Signale des MM5.10 Sensors, Nickwinkel, Motordrehzahl) wurden mit einem Datenlogger LG-CANStick_OPT-000 (2D Debus & Diebold Messsysteme GmbH, Karlsruhe, Deutschland) aufgezeichnet. Die Messung des modulierten Bremsdruckes erfolgte an der Vorderbremse durch den internen Drucksensor des ABS-Steuergerätes.

Der Datenlogger speicherte, neben den Messdaten des CAN-Bus des Steuergerätes, die Positions- und Zeitdaten mittels einer GPS-Antenne und mittels zweier Drucksensoren Bremsdrücke. Für die Messung des Bremsdruckes wurde nach der Bremspumpe des Vorderrades und am Bremssattel des Hinterrades jeweils ein piezoresistiver Sensor (PA-21PY/22-2160-143, KELLER AG für Druckmesstechnik, Winterthur, Schweiz), mit einem Messbereich von 0 bis 250 bar montiert. Die Stromversorgung des Datenloggers erfolgte über den CAN-Bus. Die Datenaufzeichnung wurde vom Datenlogger automatisch gestartet, sobald die Zündung des Motorrades aktiviert wurde.

3.3.3 Messdatenverarbeitung

Mit den Rohdaten des Trägheitsnavigationssystems erfolgte durch die Software NAVsolve (NAVsuite 2.6.1908.30) ein Postprocessing und anschließend der Export der Messdaten. Die Messdaten des Datenloggers wurden mittels der Software WinARace 2018 exportiert.

Für die Datenauswertung wurde das mit dem Fahrzeug bewegte horizontierte Koordinatensystem „OxTS horizontal frame“ verwendet. Die Fahrzeuglängsachse (x-Achse) blieb stets parallel zu einer horizontalen Ebene (normal auf den Erdbeschleunigungsvektor), welche die Fahrbahn darstellt. Die laterale Achse (y-Achse) ist normal auf den Erdbeschleunigungsvektor und normal auf die x-Achse. Die z-Achse zeigt in Richtung Fahrbahn und fällt mit dem Vektor der Erdbeschleunigung zusammen.

Das Trägheitsnavigationssystem konnte aus platztechnischen Gründen nicht im Schwerpunkt des Motorrades montiert werden. Für die Messgrößen der Beschleunigung, der Geschwindigkeit, sowie der Trajektorie kam es daher zu einer Abweichung zwischen dem Messpunkt des Trägheitsnavigationssystems und dem Fahrzeugschwerpunkt. Aus diesem Grund wurde der Ausgabepunkt der Messwerte mittels der Funktion „Displace Output“ in den Fahrzeugschwerpunkt verschoben. Der Vektor für diese Verschiebung war 0,53 m in x-Richtung, 0,02 m in y-Richtung (Messpunkt im Gehäuse des Trägheitsnavigationssystems ist um diesen Wert seitlich in y-Richtung verschoben) und 0,23 m in z-Richtung. Bild 3-6 zeigt das verwendete Koordinatensystem (OxTS horizontal frame, x_m , y_m , z_m) im Schwerpunkt des Motorrades. Die Trajektorie wurde hingegen auf der Fahrbahnebene ausgewertet. Hierzu wurden die Positionswerte auf die Projektion des Schwerpunktes auf der Fahrbahnebene (Punkt P in Bild 3-6) verschoben. Dies ermöglichte eine schräglagenunabhängige Positionsbestimmung des Versuchsmotorrades. Eine vergleichbare Umrechnung der schräglagenabhängigen Trajektorie, jedoch bezogen auf den hinteren Radaufstandspunkt, wurde auch von Smaiah et al. (2018) angewandt. Der Einfluss des Nickwinkels wurde durch den verwendeten Ansatz nicht berücksichtigt.

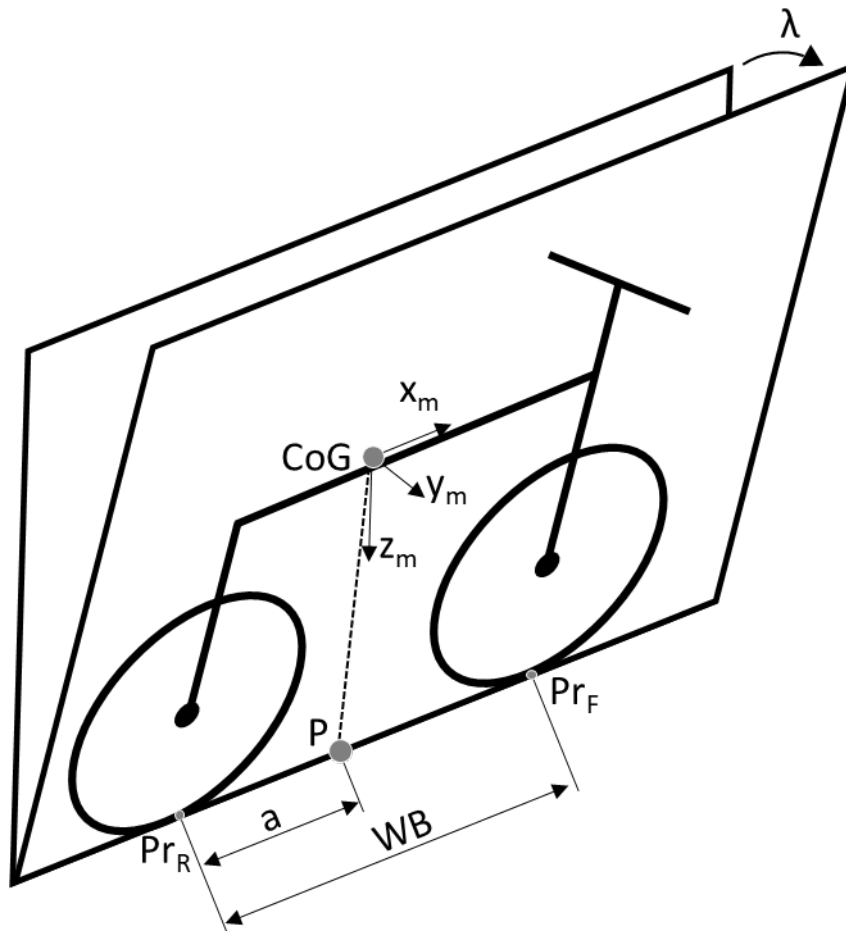


Bild 3-6: Skizze des Motorrads mit Koordinatensystem im Schwerpunkt und Auswertepunkt der Trajektorie (Darstellung in Anlehnung an Gasbarro et al. (2004))

Die Bremsungen der Fahrmanöver Kreis wurden, je nach Wahl der Versuchspersonen, entweder im oder gegen den Uhrzeigersinn durchgeführt. Deshalb wurden die betroffenen Messwerte hinsichtlich des Vorzeichens entsprechend korrigiert. Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten wurden mit einem Chebyshev Filter (0,5 dB, Grenzfrequenz: 5,686 Hz) gefiltert.

Bei Kurvenfahrt und der damit verbundenen resultierenden Schräglage des Motorrads existiert aufgrund des schräglagenabhängigen Abrollradius des Reifens ein Unterschied der Geschwindigkeiten des Vorderrades (aufgezeichnet vom Datenlogger) zu der Fahrzeuggeschwindigkeit (aufgezeichnet vom Trägheitsnavigationssystem). Die gemessene Vorderradgeschwindigkeit wurde deshalb schräglagenkorrigiert.

$$V_{wheel_front_corr} = V_{wheel_front} * (a^2 \lambda + b \lambda + c) \quad \text{Formel (4-1)}$$

Für die Berücksichtigung der Schräglage bei Kurvenfahrten wurde ein Polynom zweiten Grades verwendet. Eine derartige Berechnung wird auch von einem bekannten Reifenhersteller verwendet, um den Abrollradius abhängig von der Schräglage λ darzustellen (datamc, 2021). Die Fahrzeuggeschwindigkeit, aufgezeichnet vom Trägheitsnavigationssystem, ist schräglagenunabhängig und wurde als Referenzgeschwindigkeit herangezogen. Durch Multiplikation der Vorderradgeschwindigkeit mit dem Polynom ergab sich die schräglagenkorrigierte Vorderradgeschwindigkeit wie in Formel 4-1 dargestellt. Die Koeffizienten dieses Korrekturpolynoms wurden durch Minimierung der Residuenquadratsumme bestimmt ($a=6.09E-06$, $b=-0.001788$,

$c=0.996081$). Bild 3-7 (oben) zeigt die Verläufe der aufgezeichneten Vorderradgeschwindigkeit (lila), der korrigierten Vorderradgeschwindigkeit (grau), der Fahrzeuggeschwindigkeit (schwarz), sowie der Schräglage (grün) während des Fahrmanövers Kreis. Zur besseren Erkennbarkeit ist eine Kreisfahrt mit ca. 50 km/h in Bild 3-7 (rechts unten) im Detail dargestellt. Bei dieser Kreisfahrt betrug die Geschwindigkeitsabweichung des Vorderrades aufgrund der Schräglage ca. 3,0 bis 4,5 km/h. Ebenfalls in Bild 3-7 (links unten) ist der zweidimensionale Plot des Korrekturpolynoms dargestellt, der die Geschwindigkeitsabweichung, abhängig von der Schräglage und der Vorderradgeschwindigkeit zeigt.

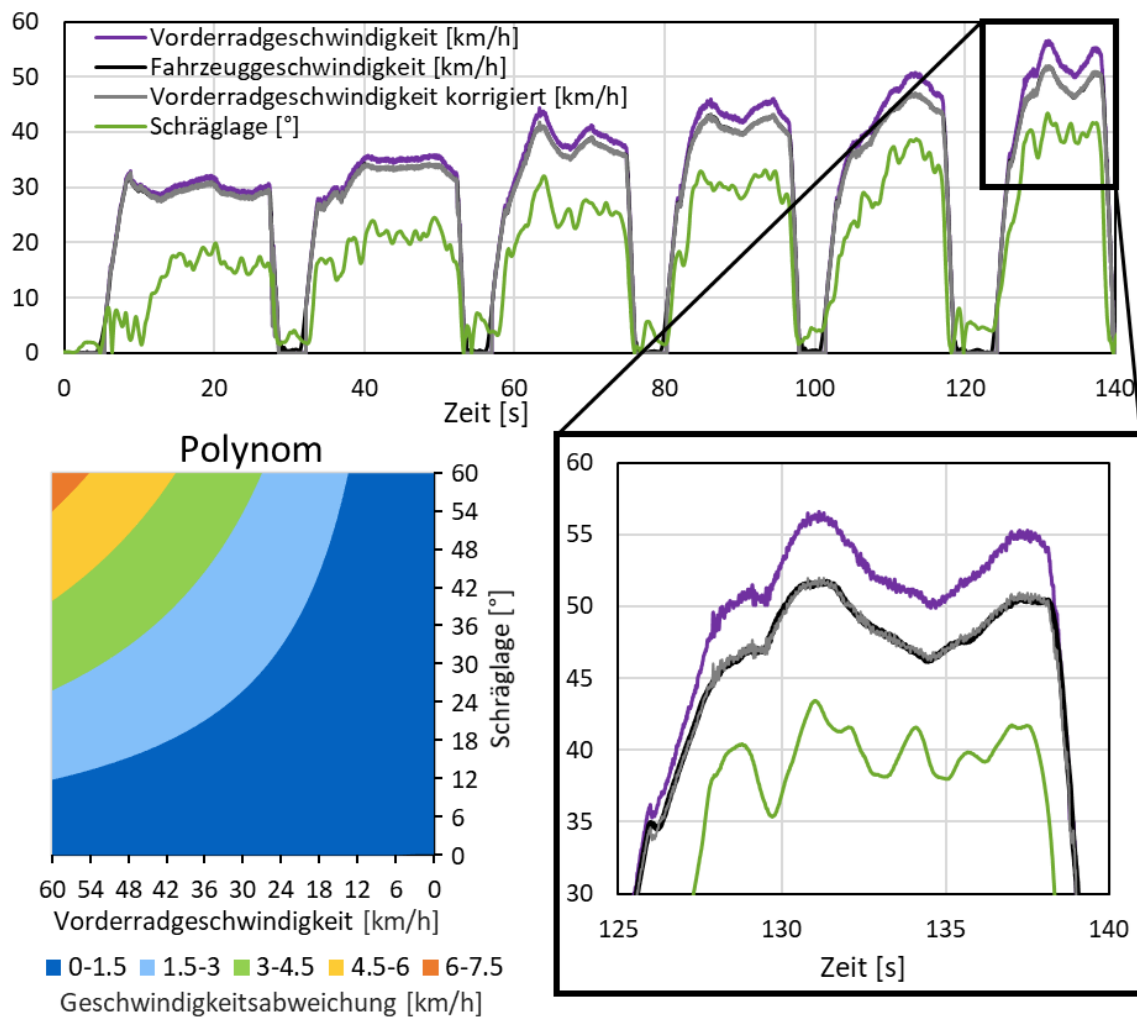


Bild 3-7: Abweichung der Vorderradgeschwindigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit aufgrund des schräglagenabhängigen Reifenabrollradius

3.3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde in PSPP 1.2.0 (www.gnu.org/software/pspp) durchgeführt. Die Verteilung der kontinuierlichen Werte wurde mittels Kolmogorov-Smirnov Test (Signifikanzniveau 0,05) auf das Vorhandensein der Normalverteilung überprüft. Für normalverteilte Werte wurde der Zweistichproben-t-Test (mit Welch-Korrektur bei Varianzheterogenität nach Levene) verwendet, für nichtparametrisch verteilte Werte der Mann-Whitney U-Test. Das Unterschreiten des Signifikanzniveaus von 0,05 bedeutet, dass die Nullhypothese (beide Stichproben besitzen dieselben Erwartungswerte) zugunsten der Alternativhypothese (beide Stichproben besitzen unterschiedliche Erwartungswerte) abgelehnt wird.

Die Darstellung der numerischen Werte erfolgte größtenteils in Boxplots, wobei die Länge der Antennen auf das 1,5-fache des Interquartilsabstandes begrenzt wurde und Ausreißer mittels Punkten dargestellt wurden. Der arithmetische Mittelwert wurde, zusätzlich zum Median, mittels eines Kreuzes dargestellt.

4 ERGEBNISSE DER FAHRVERSUCHE

Zu Beginn dieses Kapitels werden die aufgezeichneten Messdaten der Kurvenbremsungen und das Auswertungsschema erklärt. Anschließend wird das Funktionsprinzip des Kurven-ABS, im Vergleich zum konventionellem ABS, anhand von zwei Bremsungen mit ähnlichen Ausgangswerten dargestellt. Die Auswertung der Unterschiede zwischen den Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS erfolgte basierend auf Hypothesen.

Es wurden stark probandenabhängige Unterschiede des Bremsverhaltens festgestellt, weshalb auch eine probandenspezifische Auswertung durchgeführt wurde. Zusätzlich wurden Lerneffekte während des ersten Versuchsdurchganges aller Versuchspersonen und anhand der Versuchspersonen, die den Versuchsdurchgang mehrmals absolvierten, ausgewertet. Die Auswertung des Lerneffektes zeigt etwaige vorhandene Trends bezüglich einer möglichen Verbesserung der Performance bei Vollbremsungen in der Kurve. Ebenso wurden die subjektiv, mittels Fragebögen erhobenen Eindrücke der Probanden den objektiv erhobenen Messwerten gegenübergestellt.

4.1 Messdaten und Auswertungsgrundlagen

Die Fahrversuche fanden an insgesamt zehn Tagen, verteilt auf den Zeitraum eines Jahres, statt. 55 Probanden nahmen an den Fahrversuchen teil und es wurden insgesamt 67 Versuchsdurchgänge aufgezeichnet. Sechs Versuchspersonen absolvierten den Versuchsdurchgang zumindest ein weiteres Mal (Mehrfachfahrten). Um mögliche Lerneffekte zu detektieren, wurden die Mehrfachfahrten dieser Versuchspersonen getrennt von den ersten Versuchsdurchgängen (Erstfahrten) ausgewertet. 27 Probanden absolvierten ihren ersten Versuchsdurchgang in der Reihenfolge ABS/KABS und 28 Probanden in der Reihenfolge KABS/ABS. Insgesamt nahmen 56 Probanden an den Fahrversuchen teil, bei einer Person kam es jedoch zu einem Datenverlust.

Bild 4-1 zeigt einen Überblick über die Anzahl der aufgezeichneten Bremsungen der Fahrmanöver Kreis, Kuppe und gerade Bremsungen (Teil des Einfahrens) für die Erstfahrten (links) und Mehrfachfahrten (rechts). Die Bremsungen wurden nach Schalterstellung in Fahrten mit ABS bzw. Kurven-ABS unterteilt. Bei den Bremsungen des Fahrmanövers Kreis konnten bei den Erstfahrten 424 Bremsungen mit Schalterstellung ABS (davon 119 ohne Eingriff) und 462 Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS (davon 63 ohne Eingriff) aufgezeichnet werden. Bei dem Fahrmanöver Kuppe wurden 92 Bremsungen mit Schalterstellung ABS (davon 40 ohne Eingriff) und 92 Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS (davon 20 ohne Eingriff) aufgezeichnet.

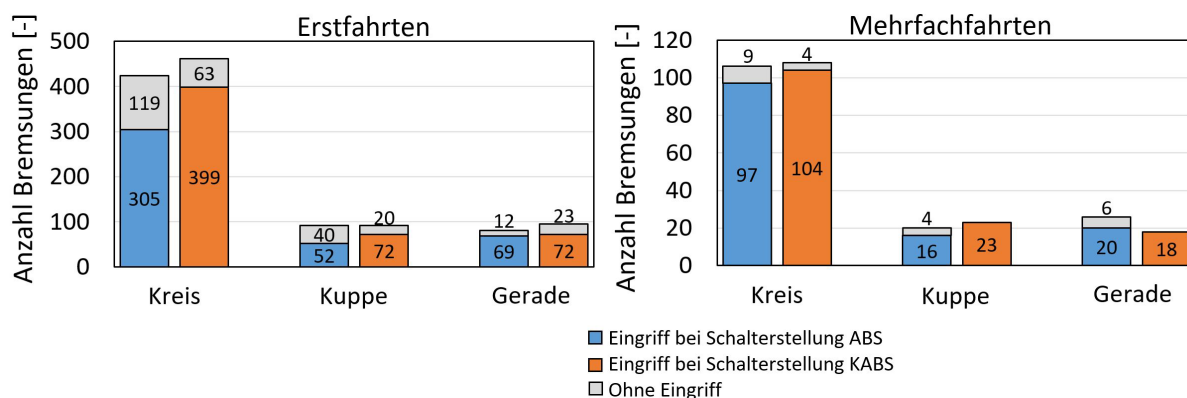


Bild 4-1: Anzahl der Bremsungen, unterteilt nach Fahrmanöver und Schalterstellung Kurven-ABS und Schalterstellung ABS, sowie Bremsungen ohne Eingriff der Erstfahrten (links) und Mehrfachfahrten (rechts)

Bei dem Fahrmanöver Kuppe kam es an den ersten Versuchstagen zu Abbrüchen der Datenaufzeichnung des Datenloggers unter der 380 kV Hochspannungsleitung, welche über das Testgelände verläuft. Dieser Bereich wurde nur bei den Fahrmanövern Einfahren und Kuppe durchfahren. Das Fahrmanöver Kreis war von keinem derartigem Abbruch der Datenaufzeichnung des Datenloggers betroffen. Aufgrund dieses Datenverlustes standen für das Fahrmanöver Kuppe in Reihenfolge ABS/KABS 32 Bremsungen und für den Versuchsablauf KABS/ABS hingegen 92 Bremsungen mit einem Eingriff von ABS bzw. Kurven-ABS (Erstfahrten) für die Auswertung zur Verfügung. Die Abbrüche der Datenaufzeichnung des Datenloggers konnten durch eine alternative Einbauposition behoben werden.

Für das Separieren der einzelnen Bremsungen aus den Messdatensätzen des jeweiligen Fahrmanövers wurde ein Python Skript verwendet. Zusätzlich wurde mit diesem Skript die Synchronisation der separat aufgezeichneten Messdaten des Trägheitsnavigationssystems und des Datenloggers durchgeführt. Der Datenlogger speicherte die Daten während den Fahrten auf einen USB-Stick, somit waren Signallaufzeiten und Zeiten für Datenverarbeitungen in der gespeicherten GPS-Uhrzeit enthalten. Mit den Rohdaten des Trägheitsnavigationssystems wurde ein Postprocessing mit der Software NAVsolve durchgeführt. Dadurch besaßen diese Daten einen Versatz zur GPS-Uhrzeit von weit unter 10 Mikrosekunden (OxTS, 2018).

Von beiden Systemen wurden vergleichbare Kanäle, basierend jedoch auf unterschiedlichen Ausgangsdaten und Berechnungsmethoden, aufgezeichnet (Geschwindigkeit, Schräglage, Nickwinkel und Beschleunigung). Diese wurden verwendet, um den Wert des Zeitversatzes beider Messsysteme zu bestimmen. Hierzu wurde die Residuenquadratsumme der vergleichbaren Kanäle minimiert. Der Wert des Zeitversatzes der aufgezeichneten Daten des Datenloggers und des Trägheitsnavigationssystems war konstant über alle Messdaten und wurde auf 0,39 Sekunden berechnet.

Der Bremsbeginn wurde als der erste Anstieg des Bremsdruckes der vorderen oder der hinteren Bremse, entsprechend der zuerst von dem Probanden betätigten Bremse, festgelegt. Die automatische Detektion der Bremsvorgänge wurde in Anlehnung an Baldanzini et al. (2016) durchgeführt. Die jeweiligen Schwellwerte der Messdaten wurden den durchgeführten Fahrmanövern entsprechend angepasst. Als Kriterium für den Bremsbeginn und die dazugehörige Zeit $t=0$ Sekunden wurde dabei folgende Bedingung definiert: Der Bremsdruck überschreitet ein bar und der darauffolgende Höchstwert beträgt mindestens acht bar.

Das Ende des Bremsvorganges wurde zum Zeitpunkt des Unterschreitens der Fahrzeuggeschwindigkeit von 0,5 m/s definiert.

Messwert	Grenzwert
Bremsdruck für Bremsbeginn	1 bar
Überschreitung des Bremsdruckes während der Bremsung	8 bar
Fahrmanöver Kreis: Position innerhalb des Radius um den Kreismittelpunkt	35 m
Fahrmanöver Kuppe: Position innerhalb des Radius um den Mittelpunkt der Bremsmarkierung	35 m

Tabelle 4-1: Kriterien der automatischen Detektion der Bremsungen den Fahrmanövern entsprechend

Um die Bremsungen dem entsprechenden Fahrmanöver zuzuordnen, wurde die Position des Motorrads zu Bremsbeginn herangezogen. Bei dem Fahrmanöver Kreis wurde ein Radius von 35 m um den Kreismittelpunkt, bei den Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe ein Radius von 35 m um die Bremsmarkierung gewählt. Die Kriterien zur automatischen Detektion von Bremsbeginn und

Bremsende der Bremsmanöver sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst. Die Trajektorien aller automatisch identifizierten Bremsungen wurden geplottet, um eventuelle Ausreißer oder fälschlicherweise identifizierte Bremsungen zu erkennen und manuell auszuschließen.

4.1.1 Grundlagen der Auswertung

Die Ergebnisse der Fahrversuche zeigten, dass die Schräglage bei ungebremster Kurvendurchfahrt nicht der Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation gleichgesetzt werden kann. Im Median waren die Schräglagen zu Beginn der Modulation um 40 bis 50 % im Vergleich zur Schräglage beim Durchfahren der Kurve verringert. Bei den Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe konnte eine größere Reduktion der Schräglage im genannten Zeitintervall festgestellt werden: Mit Schalterstellung Kurven-ABS wurde im Median eine Reduktion der Schräglage von 10,9° (Kreis) bzw. 16,8° (Kuppe) gemessen. Aus den Geschwindigkeits- und Schräglagenverläufen konnte auch abgeleitet werden, dass die Probanden das Motorrad eine halbe bis eine Sekunde vor Bremsbeginn aktiv aufstellten.

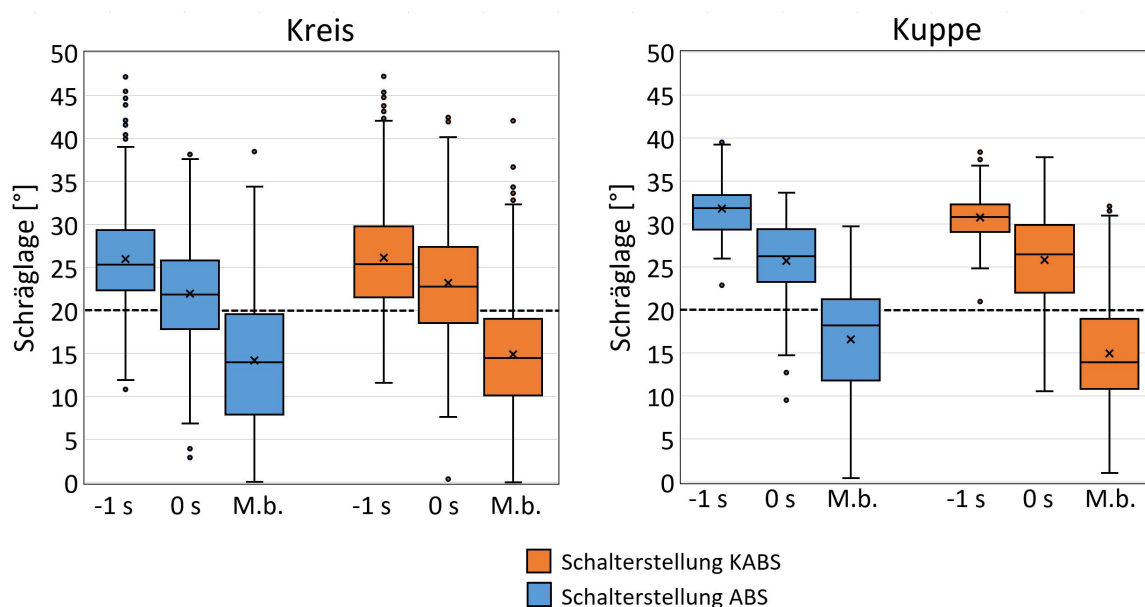


Bild 4-2: Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn (-1 s), zu Bremsbeginn (0 s) und zu Modulationsbeginn (M.b.) mit ABS und Kurven-ABS für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis (links) und Kuppe (rechts)

Die Schräglage vor Bremsbeginn (-1 s), die Schräglage zu Bremsbeginn (0 s) und die Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation (M.b.) mit Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS wurde für alle Bremsungen mit einem Eingriff des Systems ausgewertet. Die Schräglage der Bremsungen zu diesen drei Zeitpunkten ist mittels Boxplots in Bild 4-2 dargestellt. Besonders zwischen Bremsbeginn und Modulationsbeginn wurde eine deutliche Reduktion der Schräglage für die Bremsungen beider Fahrmanöver, sowie für die Schalterstellung ABS und die Schalterstellung Kurven-ABS gemessen.

Für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis war der Median der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn 25,3° (ABS) und 25,4° (Kurven-ABS). Zu Bremsbeginn wurde eine Schräglage von 22,0° (ABS) und 22,8° (Kurven-ABS) festgestellt. Zu Modulationsbeginn war die Schräglage im Median auf 14,0° (ABS) und 14,5° (Kurven-ABS) verringert.

Beim Fahrmanöver Kuppe wurde eine Sekunde vor Bremsbeginn im Median eine Schräglage von 31,8° (ABS) und 30,8° (Kurven-ABS) gemessen. Zu Bremsbeginn wurden die Schräglagen auf 26,3° (ABS) und 26,5° (Kurven-ABS) verringert. Zu Modulationsbeginn waren die Schräglagen im Median auf 18,2° (ABS) bzw. 14,0° (Kurven-ABS) reduziert.

Um das Verhalten der Versuchspersonen auch vor Bremsbeginn zu analysieren und das Aufstellen des Motorrads vor dem Betätigen der Bremse darzustellen wurden die zeitlichen Verläufe geplottet. Dazu wurden die Schräglage und die Fahrzeuggeschwindigkeit in einem Zeitintervall ab fünf Sekunden vor Bremsbeginn bis eine Sekunde danach dargestellt. Der Verlauf dieser Werte ist im Median, mit 25 % und 75 % Quartil, für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis (Bild 4-3, oben) und für die Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe (Bild 4-3, unten) dargestellt.

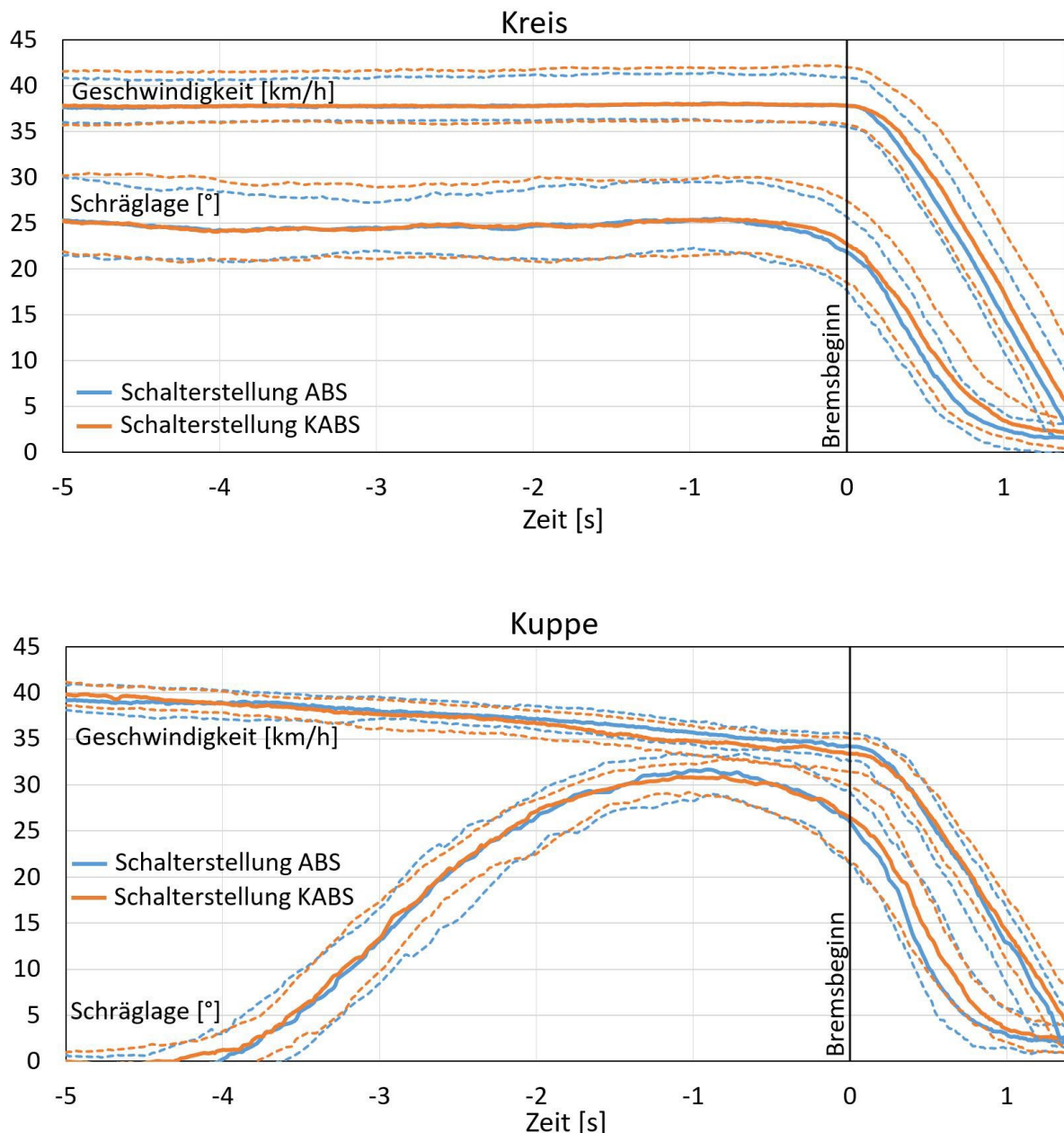


Bild 4-3: Schräglage und Geschwindigkeit im Zeitintervall von 5 Sekunden vor bis eine Sekunde nach Bremsbeginn für das Fahrmanöver Kreis (oben) und Kuppe (unten), durchgezogene Linie: Median, gestichelte Linien: 25 % und 75 % Quartil

In Bild 4-3 (oben) und den dargestellten Bremsungen des Fahrmanövers Kreis ist ein anderes Verhalten der Versuchspersonen anhand der Schräglage zu erkennen. Die Schräglage wurde innerhalb einer Sekunde vor Bremsbeginn verringert, wohingegen bei der Geschwindigkeit keine Veränderung vor Bremsbeginn ersichtlich ist. Daraus wurde abgeleitet, dass die Probanden das Motorrad vor Bremsbeginn aktiv aufgestellt haben.

Bei den Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe Bild 4-3 (unten), ist ein verändertes Verhalten der Versuchspersonen im Vergleich zum Fahrmanöver Kreis zu erkennen. Ab ungefähr einer Sekunde vor Bremsbeginn ist das Aufstellen des Motorrads durch Versuchspersonen in der Darstellung im Zeitverlauf erkennbar. Fünf Sekunden vor Bremsbeginn befanden sich die Probanden noch auf dem gerade verlaufenden Streckenabschnitt vor der Kurve mit der vorgegebenen Bremsmarkierung. Die Geschwindigkeit fiel im betrachteten Zeitintervall näherungsweise linear ab.

Das Aufstellen des Motorrads wurde beim Fahrmanöver Kreis (minus 2,5°) innerhalb einer halben bis einer Sekunde vor Bremsbeginn und beim Fahrmanöver Kuppe (minus 4,7°) innerhalb einer Sekunde vor Bremsbeginn von den Probanden umgesetzt. Die Unterschiede vor Bremsbeginn sind auf den Aufbau des Fahrmanövers Kuppe zurückzuführen, welcher das Durchfahren einer Kurve, wie sie auch im Straßenverkehr gefahren wird, repräsentiert.

Ein beispielhafter Bremsvorgang des Fahrmanövers Kuppe, samt der fahrdynamischen Kennwerte inklusive der Schräglage, wird im Folgenden diskutiert: Die in Bild 4-5 dargestellte Bremsung wurde mit Schalterstellung Kurven-ABS durchgeführt. Bei dieser Bremsung wurde eine Sekunde vor Bremsbeginn eine Schräglage von 32,7° gemessen. Bis zum Bremsbeginn, bei dem vordere und hintere Bremse zeitgleich betätigt wurden, reduzierte sich die Schräglage auf 25,3°. Im selben Zeitintervall verringerte sich die Geschwindigkeit von 35,8 km/h auf 35,0 km/h. Der Modulationsbeginn an der vorderen Bremse erfolgte 0,53 Sekunden nach Bremsbeginn. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Schräglage 14,0°.

Die dargestellte Bremsung zeigt ein aktives Aufstellen des Motorrads durch die Versuchsperson vor Bremsbeginn. Das Aufstellen des Motorrads hatte eine Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn um 7,4° zur Folge. Von Bremsbeginn bis zu Modulationsbeginn wurde die Schräglage um weitere 11,3° verringert. Obwohl eine Sekunde vor Bremsbeginn eine Schräglage von 32,7° gemessen wurde, erfolgte der Modulierungsbeginn des Bremsdruckes bei 14,0°. Das heißt, obwohl die Bremsung mit Schalterstellung Kurven-ABS durchgeführt wurde, erfolgte jedoch der Eingriff durch das ABS.

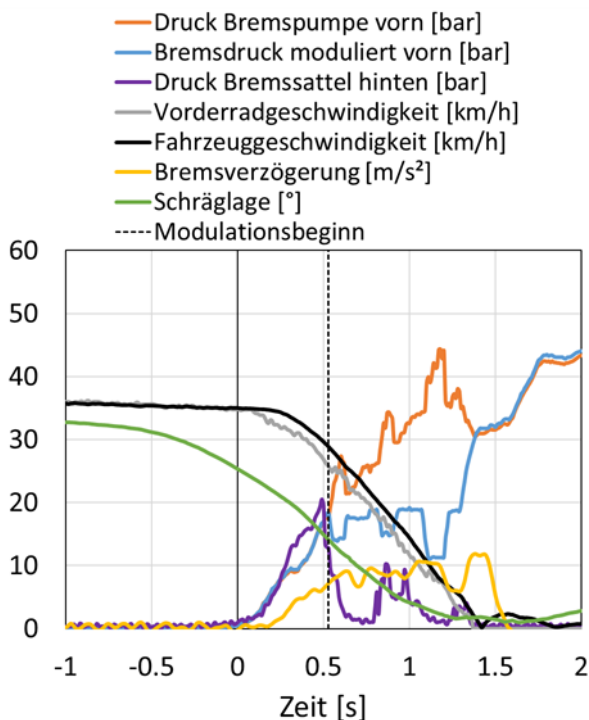


Bild 4-4: Beispielbremsung mit Schalterstellung Kurven-ABS des Fahrmanövers Kuppe

Aufgrund des Aufstellens des Motorrads vor Bremsbeginn ist der Schräglagenwert zu Bremsbeginn nicht dafür geeignet, Ausgangswerte der Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS zu vergleichen. Die Werte der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn eignen sich jedoch dazu, da dieser Zeitpunkt

noch vor dem Beginn des Aufstellens der Probanden liegt. Entsprechend wurden auch die Geschwindigkeiten zu diesem Zeitpunkt berücksichtigt. Tabelle 4-2 zeigt die Medianwerte, den Quartilsabstand und den p-Wert des durchgeführten statistischen Tests für die entsprechenden Werte vor Bremsbeginn für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS festgestellt werden.

Kennwert	Schalterstellung	Median [IQR]	p-Wert
Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn [°]	ABS (n=305)	25,3 [22,3; 29,4]	0,947 ^U
	KABS (n=399)	25,4 [21,5; 29,8]	
Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn [km/h]	ABS (n=305)	37,9 [36,3; 41,0]	0,450 ^U
	KABS (n=399)	38,0 [36,3; 41,8]	

Tabelle 4-2: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn für das Fahrmanöver Kreis
(^T Zweistichproben T-Test, ^U Mann-Whitney U-Test)

Die Schräglagen vor Bremsbeginn ($t=-1$ s), zu Bremsbeginn ($t=0$ s) und zu Beginn der Bremsdruckmodulation sind in Bild 4-5 über den Versuchsablauf dargestellt. Für einen Vergleich der Schräglagen zu diesen Zeitpunkten wurden die Bremsungen in Gruppen unter 20° Schräglage und mit mindestens 20° Schräglage und darüber eingeteilt.

Die Schräglagenreduktion im Zeitintervall eine Sekunde vor Bremsbeginn bis zum Modulationsbeginn ist für jedes Fahrmanöver und über den gesamten Versuchsablauf deutlich ersichtlich. Bei den ersten zwei Bremsungen mit 30 und 35 km/h des Fahrmanövers Kreis (30+5) haben die Versuchspersonen eine Schräglage von über 20° aufgrund der geringen Geschwindigkeit und dem vorgegebenen Radius nur in einem geringen Ausmaß erreicht.

Bei allen anderen Fahrmanövern wurden bei 90-100 % der Bremsungen zum Zeitpunkt eine Sekunde vor Bremsbeginn eine Schräglage von zumindest 20° und darüber festgestellt. Der Anteil der Bremsungen, welcher zum Zeitpunkt des Beginns der Bremsdruckmodulation noch über 20° Schräglage liegt, ist hier deutlich geringer.

Der Trend der deutlichen Schräglagenreduktion zwischen Kurvendurchfahrt und Modulationsbeginn bleibt über dem ganzen Versuchsdurchgang hinweg trotz der hohen Anzahl an durchgeführten Kurvenbremsungen erhalten.

Nicht bei allen Bremsungen konnte ein Eingriff des ABS bzw. Kurven-ABS festgestellt werden; diese Bremsungen sind als Bremsungen ohne Eingriff zu Modulationsbeginn markiert. Eine Übersichtstabelle dieser Auswertung der Bremsungen im Detail befindet sich in Anhang A1 (Tabelle A1).

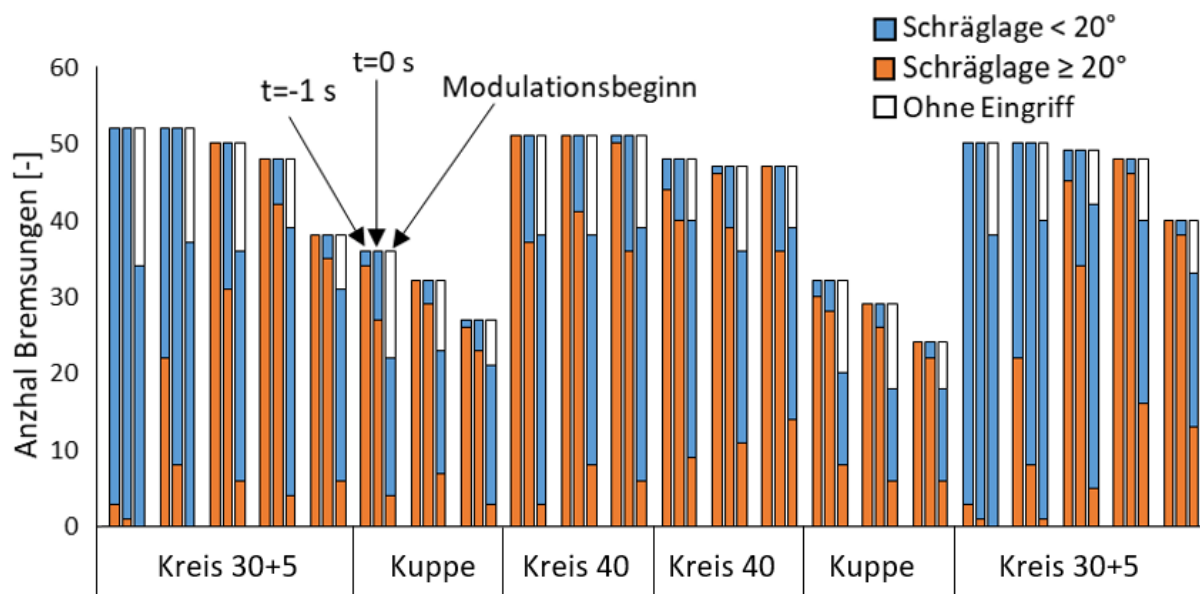


Bild 4-5: Anzahl der Bremsungen nach Fahrmanöver und Unterteilung hinsichtlich der Schräglage, sowie Bremsungen ohne Eingriff

4.1.2 Vergleich von Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS und des ABS

Im Vergleich zum ABS, beginnt das Kurven-ABS den Bremsdruck zu einem früheren Zeitpunkt und somit bei einem niedrigeren Druck zu modulieren. Es handelt sich bei diesen ersten Eingriffen des Kurven-ABS nicht um eine Radbeschleunigungsregelung zum Verhindern der Radblockade, sondern um eine Vorsteuerung mit dem Ziel, die Bremskraft am Vorderrad und damit den negativen Einfluss des Bremsens auf die Kurvenfahrt zu begrenzen. Kurven-ABS wird daher lange vor einer eigentlichen Radblockade in den Bremsdruck eingreifen.

Die Unterschiede der Bremsdruckmodulation zwischen ABS und Kurven-ABS und die daraus resultierenden Effekte, werden im Folgenden mittels zweier ähnlichen Bremsungen dargestellt. Eine detaillierte Betrachtung des modulierten Bremsdruckes beider Bremsungen ermöglicht Bild 4-6. Der erste Peak im Zeitintervall von 0,0 bis 0,1 Sekunden ist, bei beiden Verläufen, der Beginn der Bremsdruckmodulation (ABS: 17,8 bar, KABS: 7,1 bar). Bis ca. 0,35 Sekunden ist ein niedrigerer Bremsdruck des Kurven-ABS, im Vergleich zum konventionellen ABS, zu erkennen. Nach diesem Zeitintervall pendeln beide Verläufe bei reduzierter Schräglage des Motorrades um ein ähnliches Druckniveau.

Zusätzlich ist in Bild 4-6 die Bremsverzögerung (strichpunktierte Linien) beider Bremsungen dargestellt. Sie folgt jeweils dem Trend des Bremsdruckes mit einem zeitlichen Versatz, welcher sich durch die Nickbewegung des Motorrades (besonders zu Bremsbeginn) und die Trägheit begründen lässt. Der erste Bremsdruckpeak zu Modulationsbeginn des ABS bzw. Kurven-ABS verursacht den ersten Peak der Bremsverzögerung, der um ca. 0,06 Sekunden später auftritt. Die dargestellten Beispielbremsungen zeigen, dass aufgrund des höheren Bremsdruckes innerhalb der ersten ca. 0,2 Sekunden nach Bremsbeginn eine höhere Bremsverzögerung mit ABS im Vergleich zum Kurven-ABS auftritt.

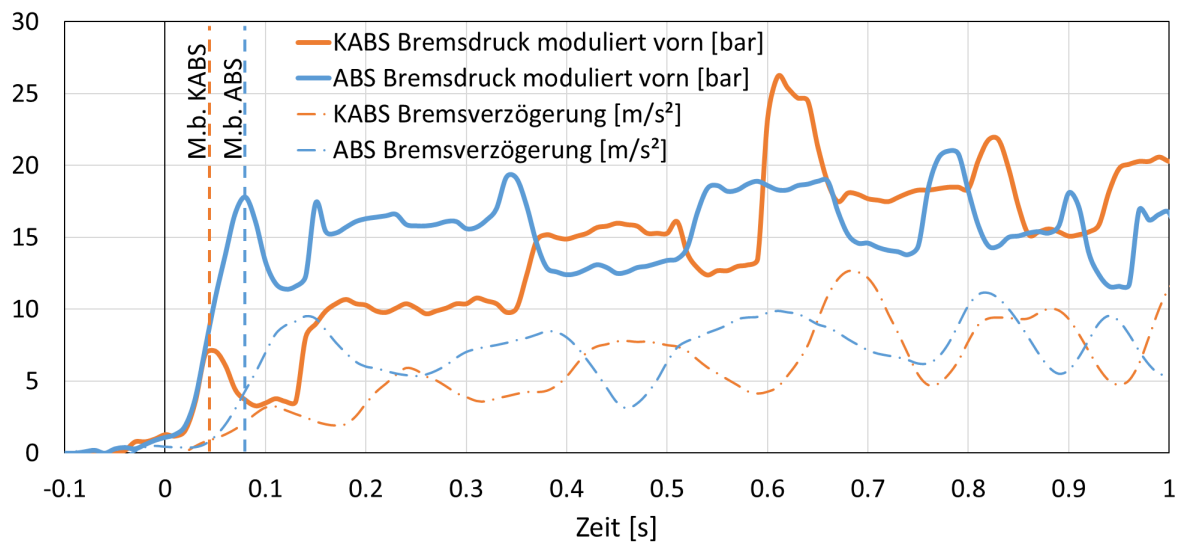


Bild 4-6: Detailansicht: Anstieg des modulierten Bremsdruckes und Verlauf der Bremsverzögerung mit ABS und Kurven-ABS bei ähnlichen Bremsungen (M.b. ... Modulationsbeginn)

Die Verläufe des Bremsdruckes an der Bremspumpe, des modulierten Bremsdruckes, der schräglagenkorrigierten Vorderradgeschwindigkeit und der Schräglage für beide Bremsungen sind in Bild 4-7 über der Zeit dargestellt. Da die Versuchspersonen ausschließlich die vordere Bremse betätigten, wurde der Verlauf des hinteren Bremsdruckes nicht dargestellt. Ab Bremsbeginn ist ein steiler Anstieg des Bremsdruckes nach der Bremspumpe (rote Linien) zu erkennen, mit einem geringen zeitlichen Versatz erhöhte sich auch der modulierte Bremsdruck (blaue Linien), bevor dieser durch das ABS bzw. Kurven-ABS begrenzt wurde.

Bei der Bremsung mit ABS kam es zu einem Einbruch der Vorderradgeschwindigkeit mit einem Maximalwert von ca. 8 km/h. Der Geschwindigkeitseinbruch wird mit einem zeitlichen Versatz aufgrund der Trägheit nach dem erfolgten Beginn der Modulation des Bremsdruckes durch das ABS erreicht. Anschließend nähert sich die Radgeschwindigkeit wieder an die Fahrzeuggeschwindigkeit an (graue gestrichelte Linie in Bild 4-7). Die Fahrzeuggeschwindigkeiten beider Bremsungen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in Bild 4-7 nicht dargestellt. Durch die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS wurde der Einbruch der Vorderradgeschwindigkeit, bei der Vergleichsbremung, in einem vergleichsweise reduzierten Ausmaß von ca. 2 km/h bestimmt (graue durchgezogene Linie in Bild 4-7).

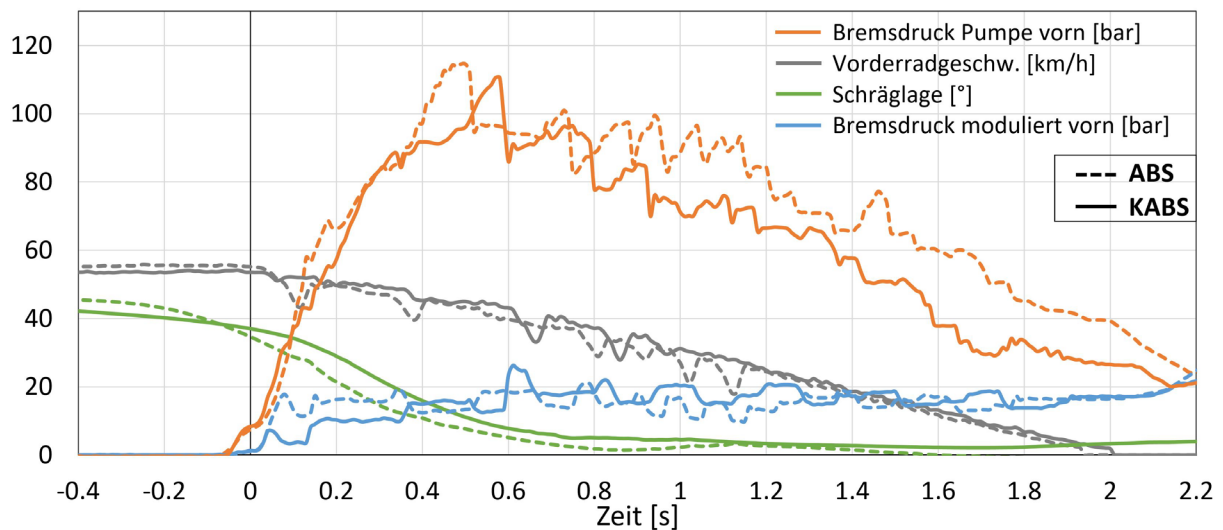


Bild 4-7: Einfluss des Kurven-ABS auf den Anstieg des modulierten Bremsdruckes am Beispiel der Bremsungen von Versuchsperson Nr. 53 (gestrichelte Linie ABS, durchgängige Linie Kurven-ABS).

Ausgewählt wurden zwei Bremsungen, welche möglichst hohe und ähnliche Geschwindigkeits- und Schräglagewerte zu Bremsbeginn aufwiesen. Zusätzlich wurden die Bremsungen auch aufgrund der möglichst ähnlichen Bremsbetätigung, gemessen am Anstieg des Bremsdruckes an der vorderen Bremspumpe, ausgewählt. Schräglage und Geschwindigkeit zu Bremsbeginn der beiden Bremsungen von Versuchsperson Nr. 53 unterscheiden sich um 2,5° (34,7° bzw. 37,2°) bzw. 1,0 km/h (54,5 km/h bzw. 53,5 km/h).

4.1.3 Modulationsbeginn von ABS und Kurven-ABS

Die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS konnte ab einer Schräglage von 20° und darüber festgestellt werden. Bei Modulationsbeginn mit aktiviertem Kurven-ABS unter 20° und bei allen Bremsungen mit konventionellem ABS konnte keine Abhängigkeit des Beginns des Systemeingriffes von der Schräglage ermittelt werden.

In Bild 4-8 ist der Bremsdruck über der Schräglage zu Modulationsbeginn, für alle Bremsungen des Fahrmanövers Kreis (n=704), dargestellt. Ab 20° Schräglage ist ein geringerer Bremsdruck zu Modulationsbeginn für das Kurven-ABS (rot), im Vergleich zum ABS (blau), zu erkennen.

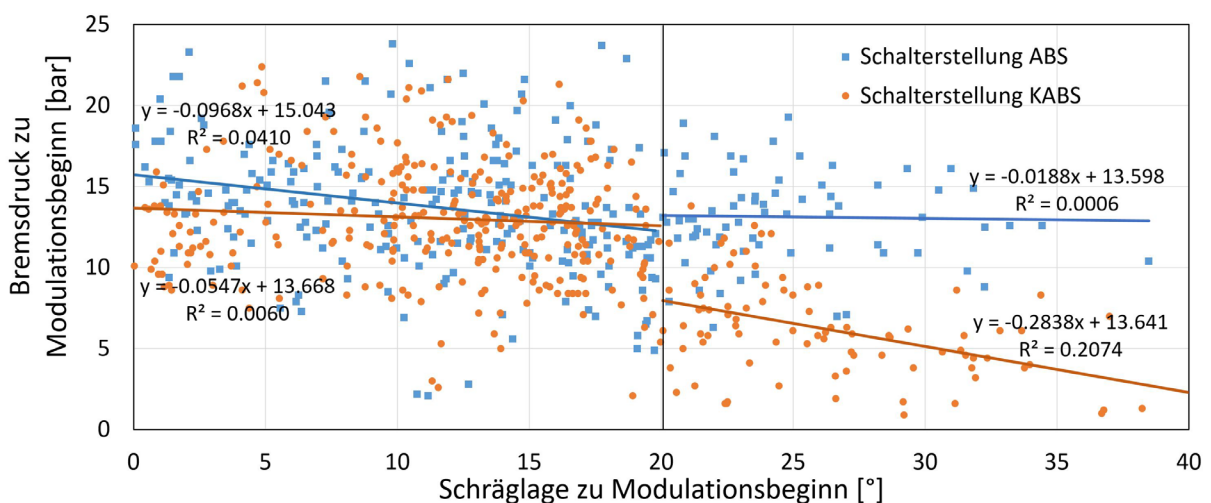


Bild 4-8: Streudiagramm des Bremsdruckes über die Schräglage zu Modulationsbeginn für Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS mit linearen Regressionsgeraden

Bei den Bremsungen unter 20° Schräglage mit Kurven-ABS zeigen die Bremsdruckwerte zu Modulationsbeginn keinen Zusammenhang mit der Schräglage ($R^2=0,01$ der linearen Regression). Ab 20° Schräglage zu Modulationsbeginn ($R^2=0,21$) ergibt sich ein Abfall des Bremsdruckes mit zunehmender Schräglage. Aus diesem Grund wurde jeweils eine Regression für die Datenpunkte von 0° bis 19,9° Schräglage und eine für die Datenpunkte ab 20° Schräglage für das Kurven-ABS berechnet. Um die Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS und ABS vergleichen zu können wurden für die Bremsungen mit Schalterstellung ABS ebenfalls zwei getrennte Regressionen berechnet. Unter 20° Schräglage begann die Modulation bei gleichen Bremsdrücken, unabhängig von der Schalterstellung ABS oder Kurven-ABS.

Bei Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS, bei denen die Modulation unter 20° Schräglage begann, wurde demnach der Bremsdruck gleich wie beim konventionellen ABS moduliert. Die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS wurde nur bei Bremsungen mit Modulationsbeginn bei mindestens 20° Schräglage und darüber festgestellt.

Bei Schräglagen ab 20° war durch die kurvenadaptiven Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS der Bremsdruck limitiert und daher der Geschwindigkeitseinbruch am Vorderrad, zu Beginn der Bremsdruckmodulation, gegenüber dem ABS verringert. Um den Geschwindigkeitseinbruch der Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Kurven-ABS sowohl über als auch unter 20° Schräglage miteinander vergleichen zu können, wurde der Bremsschlupf zum Zeitpunkt des Modulationsbeginns ausgewertet. Der maximale Geschwindigkeitseinbruch trat aufgrund von Trägheit kurz nach dem Modulationsbeginn auf (Kapitel 4.1.2). Zum Vergleich beider Modulationsalgorithmen wurde der Bremsschlupf zum Zeitpunkt des Modulationsbeginns und nicht zum Zeitpunkt des maximalen Einbruchs berechnet.

Bild 4-9 zeigt die ermittelten Werte des Bremsschlupfs zu Beginn der Bremsdruckmodulation, eingeteilt in Schräglage unter 20° (M.b.<20°) und Schräglage bei 20° und darüber (M.b.≥20°) zu Modulationsbeginn. Unter 20° ergaben sich vergleichbare Werte des Bremsschlupfs. Als Medianwert ergab sich für Schalterstellung ABS 0,083 und für Schalterstellung Kurven-ABS 0,079. Bei den Bremsungen mit einem Modulationsbeginn bei mindestens 20° Schräglage war ein geringer Schlupfwert mit Kurven-ABS zu erkennen. Im Median wurde ein Bremsschlupf für Schalterstellung ABS 0,070 und ein Medianwert für Schalterstellung Kurven-ABS von 0,032 berechnet.

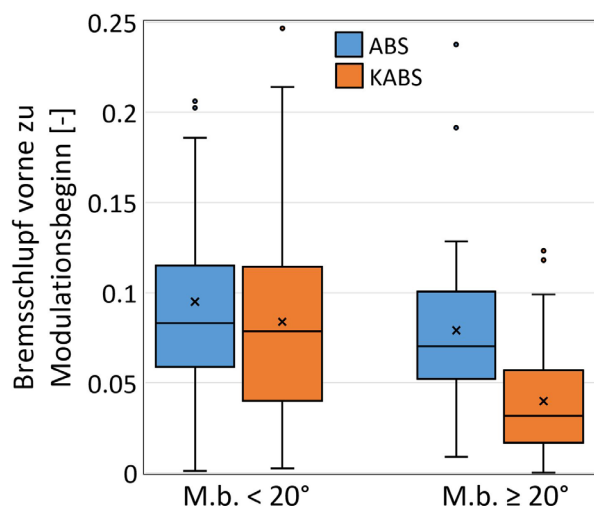


Bild 4-9: Bremsschlupf am Vorderrad zu Modulationsbeginn für das Fahrmanöver Kreis

Für die Berechnung des Bremsschlupfs zu Modulationsbeginn wurden nur Bremsungen ausgewertet, bei welchen der Modulationsbeginn im Bereich von 75 % bis 100 % der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt

des Bremsbeginns lag. Einzelne Bremsungen (n=16, Schräglage unter 20° zu Modulationsbeginn) wurden aufgrund unplausibler Schlupfwerte manuell ausgeschlossen. Dies reduzierte die Streuung der Schlupfwerte, sowie die Anzahl der ausgewerteten Bremsungen unter 20° Schräglage von 543 auf 359 Datensätze. Für Bremsungen über 20° Schräglage zu Modulationsbeginn reduzierten sich die Datensätze von 160 auf 146.

4.1.4 Einteilung der Auswertegruppen und Definition der Schräglagengrenze

Die Menge der aufgezeichneten Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS enthält auch Eingriffe durch das konventionelle ABS. Bei allen Bremsungen mit einem Modulationsbeginn unter 20° Schräglage erfolgte der Eingriff durch das ABS, unabhängig von der Schalterstellung.

Die Auswertung der Hypothesen wurde für alle Bremsungen eingeteilt nach Schalterstellung durchgeführt. Um zusätzlich eventuelle probandenspezifische Einflüsse besser von den Auswirkungen der kurvenadaptiven Bremsdruckmodulation auswerten zu können, wurde eine ABS-Vergleichsgruppe definiert.

Alle Bremsungen, bei denen der Bremsdruck durch das Kurven-ABS moduliert wurde, können anhand der Schräglage zu Modulationsbeginn und der Schalterstellung eindeutig identifiziert werden. Die Bremsungen, bei denen das Kurven-ABS eingegriffen hatte, wurden gezielt der ABS Vergleichsgruppe gegenübergestellt.

Bild 4-10 zeigt alle Bremsungen in einer Gruppendarstellung, eingeteilt nach der Schalterstellung Kurven-ABS bzw. ABS. In der Menge aller Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS waren Bremsungen enthalten, bei welchen der Bremsdruck sowohl durch das Kurven-ABS, als auch durch das ABS moduliert wurde. Über die Schräglage zu Modulationsbeginn und der Schalterstellung konnten die Bremsungen, bei welchen das kurvenadaptive System die Bremsdruckmodulation durchführte, eindeutig identifiziert werden („Eingriff KABS“). Bei Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS, bei welchen der Modulationsbeginn bei einer Schräglage von unter 20° stattgefunden hat, wurde der Eingriff durch das konventionelle ABS durchgeführt.

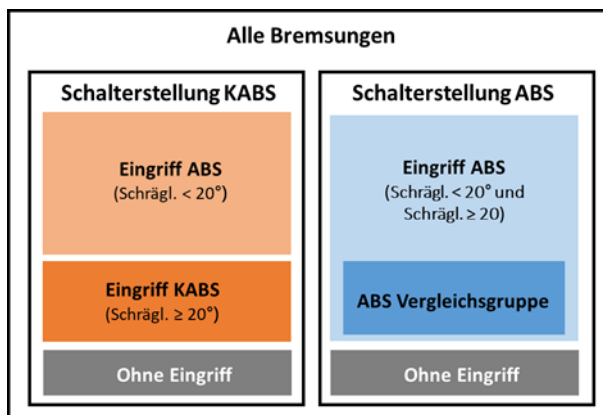


Bild 4-10: Zusammensetzung der Menge aller aufgezeichneten Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS

In der Gruppe der Bremsungen mit Schalterstellung ABS sind nur Bremsungen, mit einem Eingriff des ABS enthalten. Um die Auswirkungen der kurvenadaptiven Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS („Eingriff KABS“) der Bremsdruckmodulation des ABS gegenüberzustellen, wurde eine ABS Vergleichsgruppe definiert. Die ABS Vergleichsgruppe enthält Bremsungen mit vergleichbaren Ausgangsbedingungen und ähnlicher Bremsbetätigung, wie die der Bremsungen der Gruppe „Eingriff KABS“.

Die Schräglagenwerte zu Modulationsbeginn des ABS und des Kurven-ABS, wie in Bild 4-8 dargestellt, dürfen nicht direkt miteinander verglichen werden. Zur Bestimmung einer möglichst objektiven ABS

Vergleichsgruppe werden die Haupteinflüsse auf eine mögliche Verschiebung der Schräglagenwerte des ABS im Vergleich zu den Werten mit Kurven-ABS berücksichtigt.

Wie in der Literatur beschrieben und in Kapitel 4.1.2 gezeigt, erfolgten die Modulationsbeginne beider Systeme aufgrund anderer Kriterien. Während das ABS mit der Bremsdruckmodulation auf den Geschwindigkeitseinbruch der Raddrehzahl reagiert, wird der Modulationsbeginn des Kurven-ABS (ab 20° Schräglage) durch das Überschreiten eines schräglagenabhängigen Schwellwerts für den Bremsdruck am Vorderrad bestimmt.

Im Weiteren wurde in Kapitel 4.1.1 dargestellt, dass bei der Schräglagenänderung eine Sekunde vor Bremsbeginn ein Unterschied zwischen den Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS festgestellt wurde. Für die folgende Berechnung der ABS-Vergleichsgruppe wurden alle Bremsungen mit ABS und mit Kurven-ABS, bei denen eine Modulation bei mindestens 20° Schräglage festgestellt wurde, berücksichtigt.

Zusätzlich sind in der Gruppe Schalterstellung Kurven-ABS und in der Gruppe Schalterstellung ABS Bremsungen enthalten, bei denen kein Eingriff erfolgte und der Bremsdruck am Vorderrad während der gesamten Bremsung nicht moduliert wurde. Die Bremsungen ohne Eingriff am Vorderrad sind durch flache Anstiege des Bremsdruckes an der Bremspumpe und einer vergleichsweise starken Schräglagenreduktion gekennzeichnet. Aufgrund dieser Charakteristiken wurde davon ausgegangen, dass die Bremsungen ohne Eingriff auch bei der Schalterstellung Kurven-ABS unterhalb der Schräglagengrenze des Kurven-ABS liegen. Somit wurden diese Bremsungen als potenzielle ABS modulierte Bremsungen aus beiden Schalterstellungsgruppen gleichermaßen bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

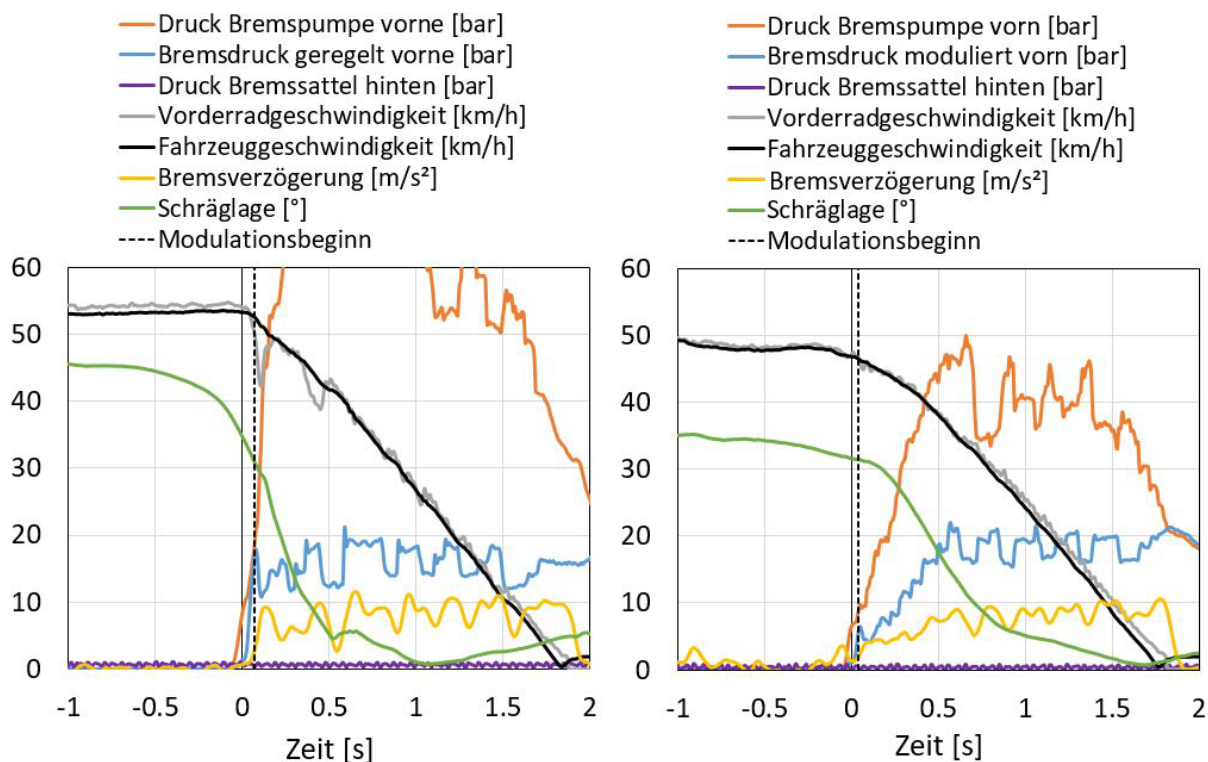


Bild 4-11: Beispielbremsungen (links ABS, rechts Kurven-ABS) mit vergleichsweise starker Betätigung der vorderen Bremse und hoher Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Modulationsbeginne der Bremsdrücke abhängig vom entsprechenden System darzustellen, ist eine Beispielbremsung mit ABS und eine Beispielbremsung mit Kurven-ABS in Bild 4-11 geplottet. Bei beiden Bremsungen wurde ein Modulationsbeginn bei ca. 30° Schräglage festgestellt. Aufgrund der starken und ruckhaften Betätigung der Vorderbremse und

des damit verbundenen steilen Anstieges des Bremsdruckes begann die Modulation 0,07 bzw. 0,04 Sekunden nach der Betätigung des Bremshebels der vorderen Bremse.

Da die Bremsdruckmodulation des ABS bei einem höheren Druck als die des Kurven-ABS beginnt, resultiert daraus eine unterschiedliche Zeitspanne zwischen Bremsbeginn (Betätigung der Bremse) und Modulationsbeginn der Systeme. Als Medianwert wurden die folgenden Zeitspannen zwischen dem Bremsbeginn und dem Beginn der Bremsdruckmodulation am Vorderrad berechnet: 0,09 Sekunden (ABS) bzw. 0,05 Sekunden (Kurven-ABS).

Im Zeitintervall von 0,05 bis 0,09 Sekunden nach Bremsbeginn wurde im Median eine Rollrate von 16°/s für die Bremsungen mit ABS berechnet. Daraus ergibt sich eine Schräglagenänderung innerhalb des Zeitintervalls von 0,6°. Zu Bremsbeginn wurde ein Unterschied der Schräglage aller Bremsungen mit ABS (26,8°) und Kurven-ABS (27,5°) von 0,7° im Median berechnet.

Der Medianwert der Differenz der Schräglage zu Modulationsbeginns des ABS im Vergleich zur Schräglage des Kurven-ABS ergibt sich somit mit 1,3°. Damit wird die Schräglagengrenze der ABS Vergleichsgruppe bestimmt. 11 Bremsungen mit Schalterstellung ABS wurden im Bereich von 20° bis 21,3° Schräglage moduliert.

Eine iterative Bestimmung der Schräglagengrenze von 21,3° der ABS Vergleichsgruppe wird, aufgrund des geringen Einflusses, nicht durchgeführt. Mit den Medianwerten für ABS und Modulationsbeginn $\geq 21,3^\circ$ ergibt sich eine Zeit von 0,08 Sekunden zwischen Bremsbeginn und Modulationsbeginn am Vorderrad, sowie eine Schräglage zu Bremsbeginn von 27,9°. Hieraus berechnet sich eine Verschiebung der gefundenen Schräglagengrenze der ABS Vergleichsgruppe von 0,1° Schräglage. Davon betroffen waren nur zwei Bremsungen, weshalb die Verschiebung nicht durchgeführt wurde.

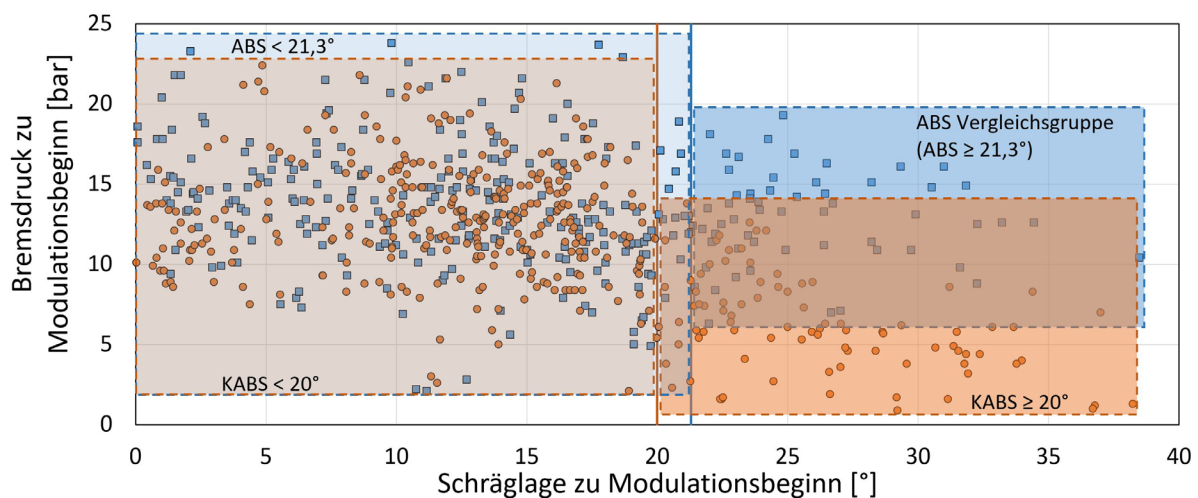


Bild 4-12: Bremsungen nach Schalterstellung (KABS-rot, ABS-blau) und Zuordnung der Auswertegruppen nach Schräglagengrenze (21,3° bei ABS und 20° bei Kurven-ABS)

Für eine zusätzliche, detaillierte Auswertung des Einflusses der kurvenadaptiven Bremsdruckmodulation wurden somit Auswertegruppene definiert. Für die Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS wurde die Schräglagengrenze mit 20° definiert. Die Schräglagengrenze für die Bremsungen mit Schalterstellung ABS wurde mit 21,3° definiert. Die Anzahl der Bremsungen in den jeweiligen Gruppen ist in Bild 4-13 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Anzahl der Bremsungen, für die Fahrmanöver Kreis und Kuppe, sowie die Anzahl an Bremsungen für die Erst- und Mehrfachfahrten unter und über der Schräglagengrenze.

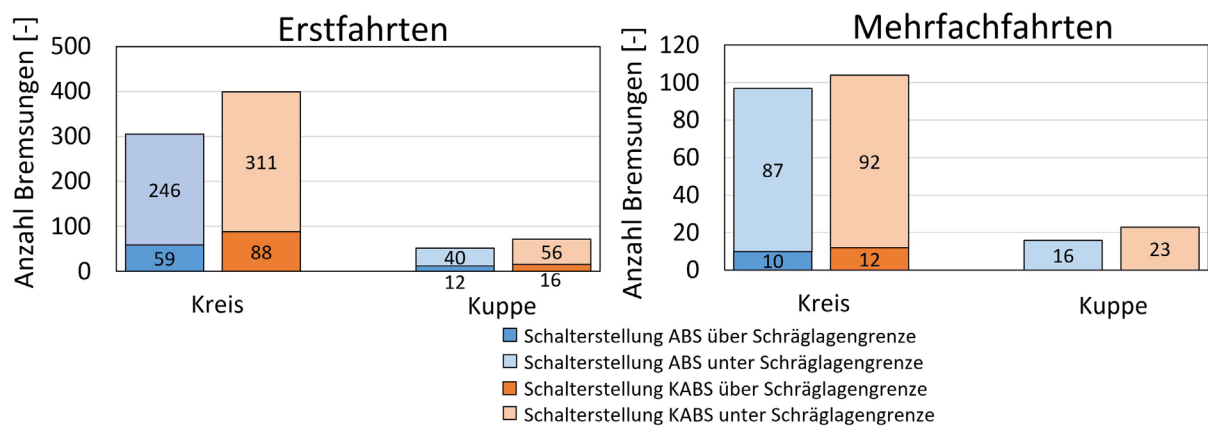


Bild 4-13: Anzahl der modulierten Bremsungen, unterteilt nach Modulationsbeginn unter und über der Schräglagengrenzen der Erstfahrten (links) und Mehrfachfahrten (rechts)

4.1.5 Vergleichbarkeit der Auswertegruppen

Ein Vergleich von fahrdynamischen Kennwerten der Bremsungen, eingeteilt in Auswertegruppen ist nur zielführend, wenn die Ausgangswerte vergleichbar sind. Es wurde mittels statistischer Tests kein signifikanter Unterschied zwischen den definierten Auswertegruppen festgestellt. Die Ausgangswerte der Gruppen zeigten eine gute Übereinstimmung unter und über der Schräglagengrenze und sind somit dazu geeignet, die Unterschiede zwischen ABS und Kurven-ABS auszuwerten.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ausgangswerten der Bremsungen des Fahrmanövers Kreis, eingeteilt nach Schalterstellung ABS bzw. KABS gefunden (Kapitel 4.1.1). Der Vergleich wurde jeweils auch für die Gruppen unter und über der jeweiligen Schräglagengrenze, jeweils für Schalterstellung ABS und Kurven-ABS durchgeführt. Bild 4-14 zeigt die Schräglage vor Bremsbeginn ($t=-1$ s) und die Geschwindigkeit vor Bremsbeginn ($t=-1$ s) der Auswertegruppen über und unter der Schräglagegrenze. Es wurde eine gute Übereinstimmung der Ausgangswerte der Schräglage und Geschwindigkeit vor Bremsbeginn für die beiden Gruppen Schalterstellung ABS und Kurven-ABS festgestellt.

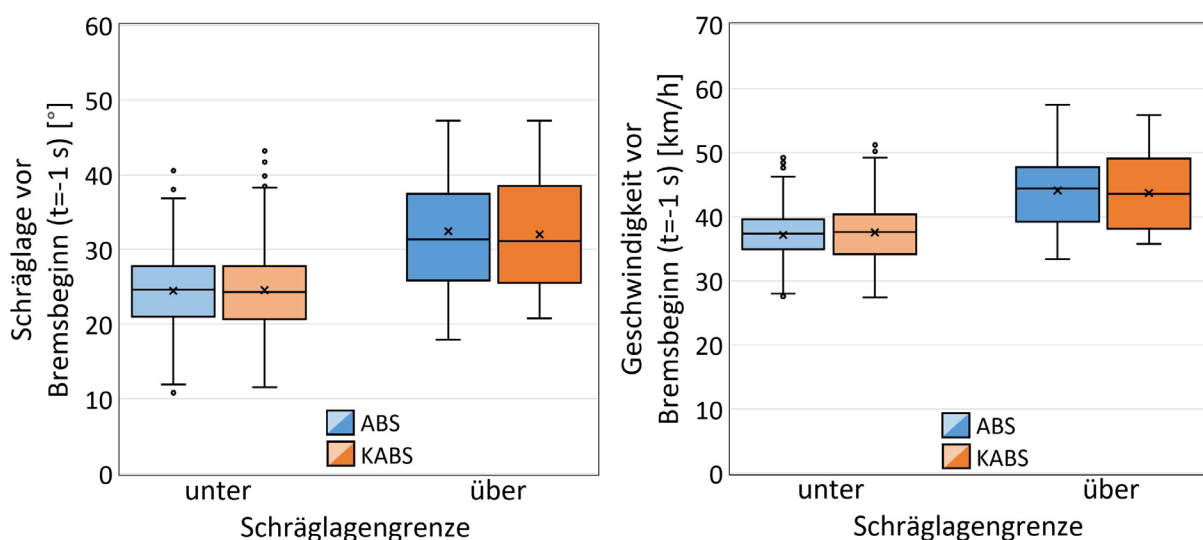


Bild 4-14: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn der beiden Vergleichsgruppen (ABS und Kurven-ABS)

Kennwert	Schalterstellung	Median [IQR]	p-Wert
Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn [°]	ABS (n=246)	24,7 [21,0; 27,8]	0,368 ^T
	KABS (n=311)	24,3 [20,7; 27,8]	
Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn [km/h]	ABS (n=246)	37,4 [35,2; 39,5]	0,900 ^T
	KABS (n=311)	37,6 [34,2; 40,4]	

Tabelle 4-3: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn für die Auswertegruppe unter Schräglagengrenze (^T Zweistichproben T-Test, ^U Mann-Whitney U-Test)

Tabelle 4-3 fasst die Medianwerte, die Quartilsabstände und die p-Werte der statistischen Tests eine Sekunde vor Bremsbeginn für die Bremsungen mit niedriger Schräglage zusammen. In Tabelle 4-4 sind die Werte für Bremsungen über der Schräglagengrenze zusammengefasst.

Kennwert	Schalterstellung	Median [IQR]	p-Wert
Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn [°]	ABS (n=59)	31,3 [25,9; 37,4]	0,722 ^T
	KABS (n=88)	31,1 [25,5; 38,5]	
Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn [km/h]	ABS (n=59)	44,4 [39,2; 47,7]	0,686 ^T
	KABS (n=88)	43,6 [38,2; 49,1]	

Tabelle 4-4: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn für die Auswertegruppe über Schräglagengrenze (^T Zweistichproben T-Test, ^U Mann-Whitney U-Test)

Eine Sekunde vor Bremsbeginn zeigen Schräglage und Geschwindigkeit der Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Kurven-ABS eine hohe Vergleichbarkeit. Der statistische Test verwarf keine der Nullhypothesen (beide Stichproben besitzen dieselben Erwartungswerte) für die Gruppen unter und über der Schräglagengrenze. Somit sind die Auswertegruppen unter und über der Schräglagengrenze geeignet, um Unterschiede durch das Bremsverhalten der Probanden bzw. Unterschiede betreffend die Bremsdruckmodulation des ABS und Kurven-ABS zu ermitteln.

4.2 Auswertung der Fahrversuche am Testgelände

Die Auswertung der Fahrversuche am Testgelände wurde in mehrere Teile gegliedert: Die hypothesenbasierte Auswertung untersuchte mögliche Unterschiede zwischen ABS und Kurven-ABS anhand von Hypothesen, welche durch Kennwerte statistisch ausgewertet wurden. In der probandenspezifischen Auswertung wurden Kennwerte für jede Versuchsperson einzeln ermittelt, um mögliche Unterschiede des Bremsverhaltens einzelner Personen aufzuzeigen. Ob eine Gewöhnung und eine damit einhergehende Steigerung der Performance der Probanden, mit einer steigenden Anzahl an durchgeführten Kurvenbremsungen stattgefunden hatte, wurde im Kapitel Lerneffekt ausgewertet. Einige Versuchspersonen absolvierten den Versuchsdurchgang der Fahrversuche am Testgelände wiederholt. Diese Messdaten wurden verwendet, um mögliche Lerneffekte über die wiederholten Versuchsdurchgängen (Mehrfachfahrten) darzustellen und etwaige Trends zu analysieren. Die Befragungen der Probanden wurden ausgewertet und die Erwartungen vor den Fahrversuchen den Meinungen nach den Fahrversuchen gegenübergestellt.

4.2.1 Hypothesenbasierte Auswertung

Es wurden fünf Hypothesen aufgestellt, betreffend den möglichen Unterschieden zwischen den Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS. Es konnten signifikante Unterschiede zwischen den Bremsungen mit Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS festgestellt werden:

- Mit Kurven-ABS wurde vor Bremsbeginn ein verringertes Aufstellen des Motorrades durch die Probanden ermittelt, die Bremse des Vorderrades wurde während des Bremsvorganges jedoch nicht stärker betätigt.
- Die Aufstelltenz (Maximalwert der Rollrate) ist mit Kurven-ABS verringert.
- Der vorgegebene Kreisradius (Bodenmarkierung) konnte jedoch nicht besser gehalten werden.
- Der Bremsweg wurde durch das Kurven-ABS nicht verkürzt und die mittlere Bremsverzögerung war geringer als mit ABS.

Zu Beginn dieses Kapitels wurden die Hypothesen in tabellarischer Form zusammengefasst und für die Gruppen nach Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS ausgewertet. Die Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS war durch die Versuchspersonen, während den Fahrmanövern, aufgrund des an der Lenkstange montieren und beschrifteten Schalters erkennbar. Bei der Auswertung nach Schalterstellung erfolgte zunächst noch keine Unterscheidung, ob bei den Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS auch das Kurven-ABS den Bremsdruck modulierte oder dies durch das ABS erfolgt ist. Im zweiten Teil des Kapitels wurden die Hypothesen detaillierter beschrieben und die Auswertung wurde, unter Berücksichtigung der jeweiligen Schräglagengrenze anhand des tatsächlich erfolgten Eingriffs des Kurven-ABS ausgewertet. Die Definition der Auswertegruppen hierzu wurden in Kapitel 4.1.4 beschrieben. Die Auswertung ohne Unterteilung nach Schräglagengrenze zeigt, mit Ausnahme von H01, dieselben Trends für die Hypothesen, wie die nach der Schräglagengrenze unterteilte Auswertung.

Für diese Auswertung wurden die Messdaten der Bremsungen des Fahrmanövers Kreis der Erstfahrten der Probanden herangezogen. Wiederholte Versuchsdurchgänge von Versuchspersonen wurden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt, um in der Auswertung nicht das Bremsverhalten einer Versuchsperson zu überrepräsentieren.

Tabelle 4-5 zeigt die Hypothesen und entsprechend für die Auswertung herangezogenen Kennwerte. Die von den Hypothesen angenommenen und messtechnisch erfassten Kennwerte der Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Kurven-ABS wurden in zwei Gruppen eingeteilt: Einerseits wurde ein möglicherweise gesteigertes Vertrauen der Probanden in die Sicherheit von Kurvenbremsungen mit Kurven-ABS erwartet, andererseits wurden möglicherweise fahrdynamische Unterschiede aufgrund der kurvenadaptiven Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS erwartet. Den Hypothesen H01 und H02 liegen die von den Versuchspersonen induzierten Unterschiede zugrunde, während für die Hypothesen H03, H04 und H05 vor allem abweichende Modulationsalgorithmen angenommen wurden.

Nummer	Hypothese	Kennwert
H01	Aufgrund des gesteigerten Vertrauens in das Kurven-ABS, ist die Schräglagenreduktion durch die Motorradfahrenden vor Bremsbeginn geringer	Änderung der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn: $d\lambda_{t=-1s_t=0s_KABS} < d\lambda_{t=-1s_t=0s_ABS}$
H02	Aufgrund des gesteigerten Vertrauens in das Kurven-ABS betätigen Motorradfahrenden die Vorderradbremse stärker.	Maximalwert des Bremsdruckes an der Bremspumpe: $\max(p_{p_KABS}) < \max(p_{p_ABS})$

H03	Kurven-ABS reduziert die Aufstelltenz des Motorrades.	Maximalwert der Rollrate: $\max(\lambda'_{KABS}) < \max(\lambda'_{ABS})$
H04	Kurven-ABS ermöglicht es dem vorgegebenen Kurvenradius besser zu folgen.	Abstandsänderung zum Kreismittelpunkt: $\Delta(r_{KABS}) < \Delta(r_{ABS})$
H05	Der Bremsweg wird durch Kurven-ABS verkürzt.	Länge des Bremsweges: $S_{B_KABS} < S_{B_ABS}$ Bremsverzögerung: $a_{B_KABS} > a_{B_ABS}$

Tabelle 4-5: Hypothesen zum Vergleich von konventionellen ABS und Kurven-ABS

Bild 4-15 zeigt die Boxplots der Kennwerte der jeweiligen Hypothesen, zusammen mit der Schräglage und der Geschwindigkeit vor Bremsbeginn, eingeteilt nach Schalterstellung ABS bzw. Schalterstellung Kurven-ABS. Eine Sekunde vor Bremsbeginn wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS festgestellt (siehe Kapitel 4.1.1).

- H01: Die Schräglagenreduktion vor Bremsbeginn war mit Kurven-ABS signifikant geringer ($p=0,001$).
- H02: Die Vorderradbremse wurde mit Kurven-ABS nicht signifikant stärker betätigt ($p=0,829$).
- H03: Die Aufstelltenz des Motorrades (H03) war mit Kurven-ABS signifikant verringert ($p<0,001$).
- H04: Die Probanden konnten dem Kreisradius (H04) nicht signifikant besser folgen ($p=0,234$).
- H05: Für die Länge des Bremswegs wurde keine Verkürzung mit der Schalterstellung Kurven-ABS festgestellt. Es wurde ein signifikant längerer Bremsweg ($p<0,001$) und eine signifikant geringere mittlere Bremsverzögerung ($p<0,001$) mit Kurven-ABS im Vergleich zu ABS festgestellt.

Im Anhang A2 in Tabelle A-2 sind die Medianwerte, der Interquartilsabstand und der p-Wert des statistischen Tests zusammengefasst.

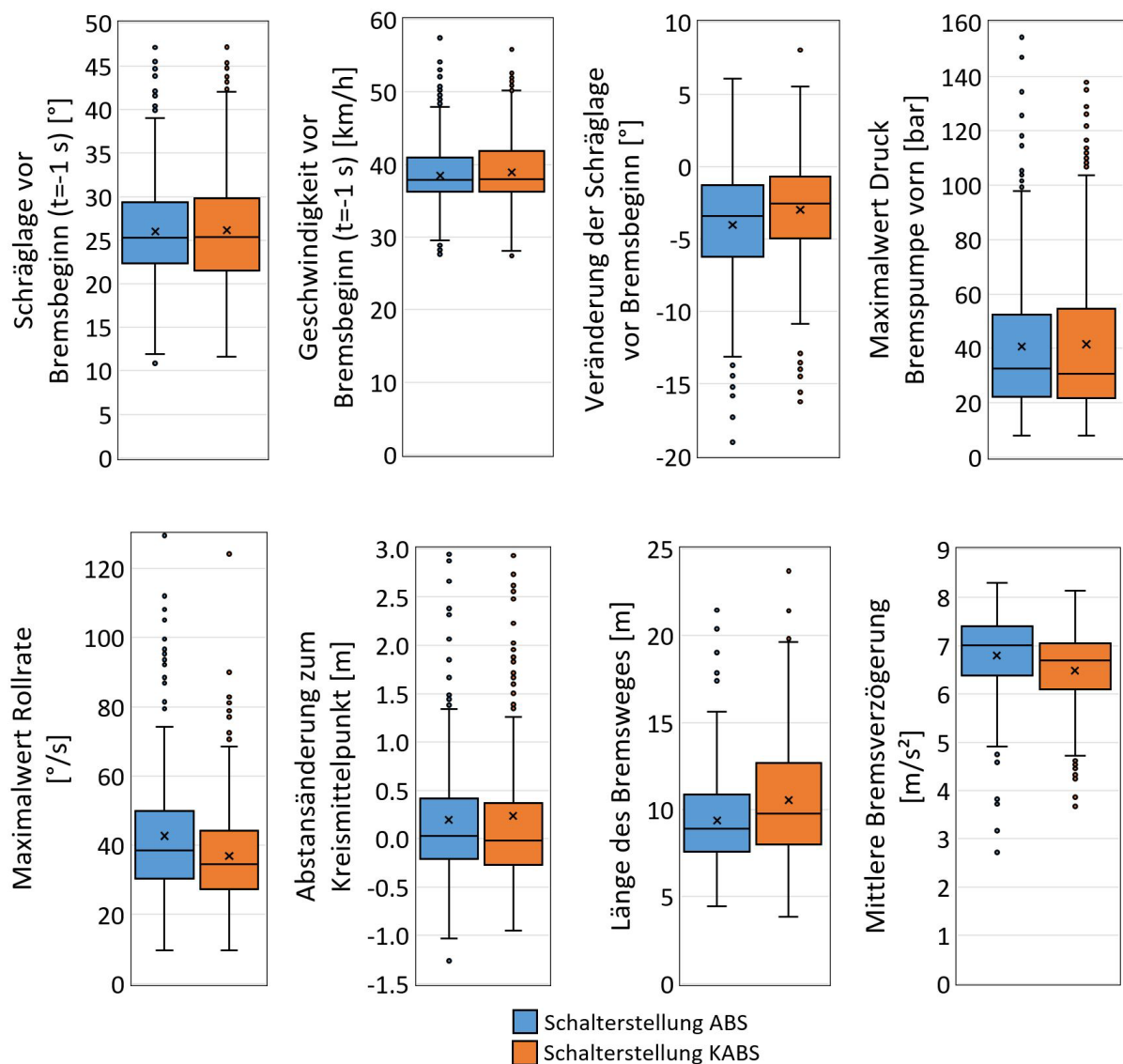


Bild 4-15: Boxplots der Kennwerte der Hypothesen und der Schräglage und Geschwindigkeit vor Bremsbeginn nach Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS

Die folgende Auswertung der Hypothesen mit Einteilung nach der Schräglagengrenze ermöglicht eine detailliertere Betrachtung der Unterschiede aufgrund des Bremsverhaltens der Versuchspersonen und aufgrund der unterschiedlichen Bremsdruckmodulationen des ABS und Kurven-ABS. Sowohl mit Schalterstellung Kurven-ABS als auch mit Schalterstellung ABS wurden Bremsungen durchgeführt, bei welchen die Modulation des Bremsdruckes bei Schräglagen über und unter 20° Schräglage begann. Es wurde in Kapitel 4.1.3 gezeigt, dass die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS, wie in der Literatur beschrieben, ab einer Schräglage von 20° zum Einsatz kommt. Da der Modulationsbeginn des ABS nicht direkt mit dem des Kurven-ABS vergleichbar ist, wurde eine ABS-Vergleichsgruppe anhand einer Schräglagengrenze zu Modulationsbeginn definiert. Unter der Schräglagengrenze resultieren Unterschiede, zwischen der Schalterstellung ABS und der Schalterstellung Kurven-ABS, vor allem aus dem geänderten Bremsverhalten der Versuchspersonen. Bei den Bremsungen über der Schräglagengrenze sind die messtechnisch erfassten Unterschiede zum Großteil auf die unterschiedlichen Modulationsalgorithmen zurückzuführen. Die Auswertegruppen wurden somit wie folgt definiert:

- **Unter Schräglagengrenze:** Bremsdruckmodulation durch das ABS, auch bei Schalterstellung Kurven-ABS. Es wird angenommen, dass mögliche Unterschiede zum überwiegenden Teil aus unterschiedlichen Bremsverhalten der Versuchspersonen resultieren.
- **Über Schräglagengrenze:** Bremsdruckmodulation durch das Kurven-ABS bzw. durch das ABS bei vergleichbaren Ausgangswerten. Es wird angenommen, dass Unterschiede zum überwiegenden Teil aus den unterschiedlichen Modulationsalgorithmen resultieren.

Die Schräglagengrenze mit Schalterstellung Kurven-ABS wurde mit 20° definiert, da ab diesem Wert auch die Bremsdruckmodulation durch das Kurven-ABS erfolgte. Für die Bremsungen mit Schalterstellung ABS wurde die Schräglagengrenze mit $21,3^\circ$ definiert (siehe Kapitel 4.1.4).

Hypothese H01: „Aufgrund des gesteigerten Vertrauens in das Kurven-ABS ist die Schräglagenreduktion durch die Motorradführenden vor Bremsbeginn geringer.“

Bei der Online-Umfrage gab ein Anteil von 92 % der 492 befragten Personen an, dass sie der Meinung sind, dass das Kurven-ABS dazu beitragen kann Unfälle zu verhindern. Ca. 75 % der befragten Personen gaben weiter an, dass sie dem System vertrauen würden.

Das gesteigerte Vertrauen in die Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS kann im Vergleich zum ABS bei Kurvenbremsungen dazu führen, dass die Versuchspersonen das Motorrad vor Bremsbeginn weniger stark aufstellten. Der Vergleichszeitpunkt der Schräglage zum Bremsbeginn wurde, auf Basis des Beginns der Schräglagenänderung (siehe Kapitel 4.1.1) mit einer Sekunde vor Bremsbeginn definiert.

In der Auswertegruppe unter der Schräglagengrenze wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Kurven-ABS festgestellt ($p < 0,001$). Bei den Bremsungen mit Schalterstellung ABS wurde ein Medianwert von $3,5^\circ$ geringerer Schräglage zwischen einer Sekunde vor Bremsbeginn und Bremsbeginn, bei Schalterstellung Kurven-ABS ein Medianwert von $2,5^\circ$ berechnet.

In der Auswertegruppe über der Schräglagengrenze wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt ($p = 0,788$). Bei den Bremsungen mit Schalterstellung ABS wurde die Schräglage im betrachteten Zeitintervall im Median um $2,7^\circ$ verringert, bei den Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS um $2,6^\circ$. Bild 4-16 zeigt die Boxplots der Schräglagenreduktion für beide Auswertegruppen.

Hypothese H01 wurde somit beibehalten.

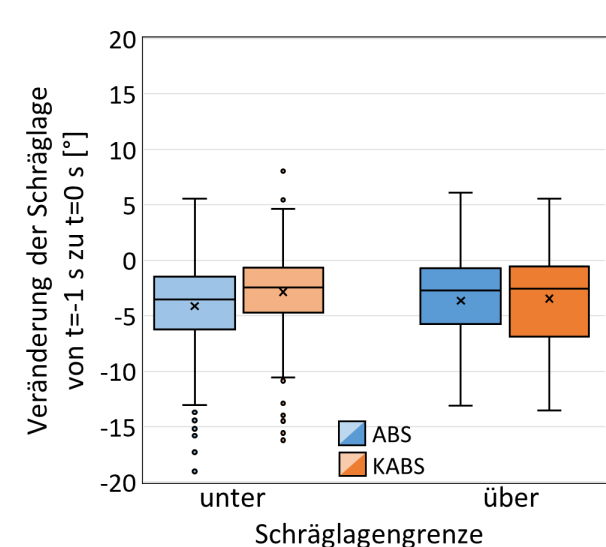


Bild 4-16: Veränderung der Schräglage im Zeitintervall eine Sekunde vor Bremsbeginn bis Bremsbeginn für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Hypothese H02: "Die Motorradführenden betätigen durch das Kurven-ABS die Vorderradbremse stärker."

Ein weiteres Merkmal eines gesteigerten Vertrauens der Probanden in die Sicherheit der Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS während Kurvenbremsungen könnte eine stärkere Betätigung des Bremshebels der Vorderradbremse durch die Versuchspersonen sein.

In der Auswertegruppe unter der Schräglagengrenze ergaben sich für den Maximalwert des Bremsdruckes an der Bremspumpe des Vorderrades keine signifikant unterschiedlichen Werte zwischen Schalterstellung ABS und Kurven-ABS ($p=0,545$). Der Medianwert für die Bremsungen mit der Schalterstellung ABS betrug 28,9 bar, der Medianwert für die Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) 27,4 bar.

In der Auswertegruppe über der Schräglagengrenze ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den betrachteten Schalterstellungen ($p=0,880$). Es wurde ein Medianwert von 48,5 bar für die Bremsungen mit Schalterstellung ABS und ein Medianwert von 46,3 bar für die Schalterstellung Kurven-ABS gemessen. In Bild 4-17 sind die Boxplots des Maximalwertes des Druckes an der vorderen Bremspumpe für beide Auswertegruppen dargestellt.

Hypothese H02 wurde somit abgelehnt.

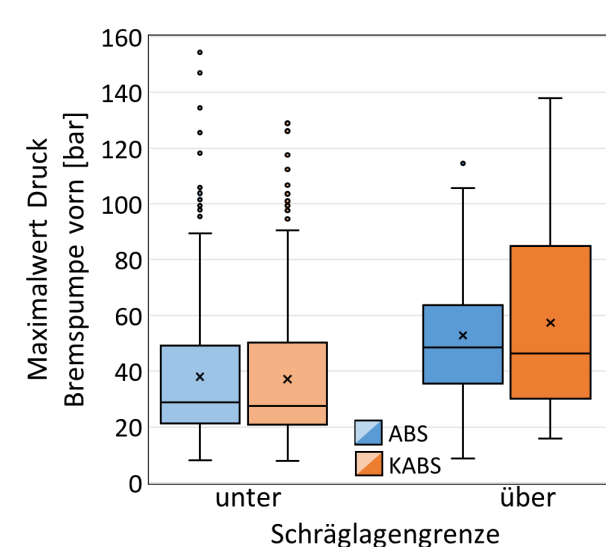


Bild 4-17: Maximalwert Druck Bremspumpe vorn für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Hypothese H03: "Kurven-ABS reduziert die Aufstelltendenz des Motorrads."

Auf den, im Vergleich zum ABS niedrigeren Bremsdruck zu Modulationsbeginn, folgt ein vergleichsweise flacherer Anstieg des modulierten Bremsdruckes mit Kurven-ABS. Vor allem durch die Verringerung des Bremslenkmomentes, ist auch möglicherweise die gesamte Aufstelltendenz des Motorrads reduziert, was durch einen geringeren Maximalwert der Rollrate ausgedrückt werden kann.

In der Auswertegruppe unter der Schräglagengrenze wurden signifikant unterschiedliche Maximalwerte der Rollrate während den Bremsungen gemessen ($p=0,007$). Bei den Bremsungen mit Schalterstellung ABS wurde ein Medianwert von 35,8°/s gemessen, bei den Bremsungen mit Schalterstellung KABS 32,0°/s.

In der Auswertegruppe über der Schräglagengrenze waren die Maximalwerte der Rollrate, eingeteilt nach Schalterstellung, signifikant unterschiedlich ($p<0,001$). Es wurde ein Medianwert für die Bremsungen mit der Schalterstellung ABS von 64,0°/s gemessen und ein Medianwert für die

Bremungen mit der Schalterstellung Kurven-ABS von 44,4°/s. Für beide Auswertegruppen sind die dazugehörigen Boxplots in Bild 4-18 dargestellt.

Hypothese H03 wurde somit beibehalten.

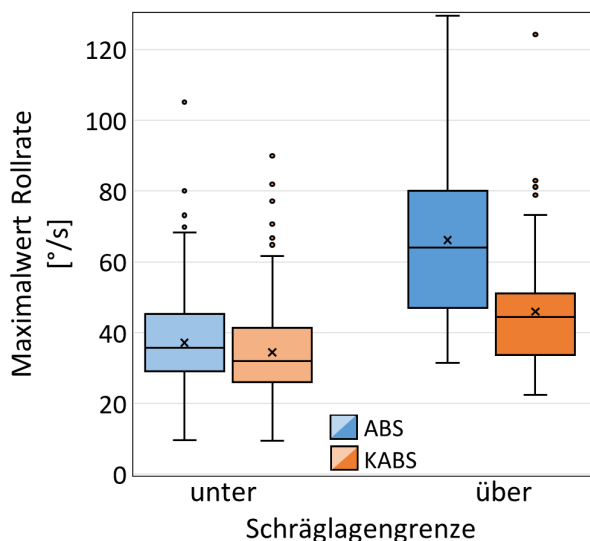


Bild 4-18: Maximalwert der Rollrate für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Hypothese H04: "Kurven-ABS ermöglicht es dem vorgegebenen Kurvenradius besser zu folgen."

Durch den flacheren Bremsdruckanstieg nach Bremsbeginn ist möglicherweise das Bremslenkmoment verringert. Aufgrund einer folglich geringeren Aufstelltenz des Motorrades kann es den Motorradführenden möglich sein, dem vorgegebenen Kurvenradius besser zu folgen.

Bild 4-19 zeigt die schräglagenkorrigierte Trajektorie einer Beispielbremsung und den, mittels Bodenmarkierung, vorgegeben Kreisradius von 29 m. Der Bremsbeginn wurde mit dem Punkt S markiert und der Abstand, zum Kreismittelpunkt M des vorgegebenen Kreisradius, mit $r(S)$. An dem Punkt E wurde das Ende des Bremsvorganges detektiert, der dazugehörige Abstand ist $r(E)$. Als Messwert, um darzustellen ob die Probanden dem Kreisradius (Bodenmarkierung) während der Bremsung folgen konnte, wurde die Differenz der Abstände zwischen Bremsbeginn $r(S)$ und Bremsende $r(E)$ berechnet (Formel 4-2). Für die Hypothese H04 wurde die Veränderung des Abstandes zum Kreismittelpunkt (Δr), während dem Bremsvorgang, berechnet.

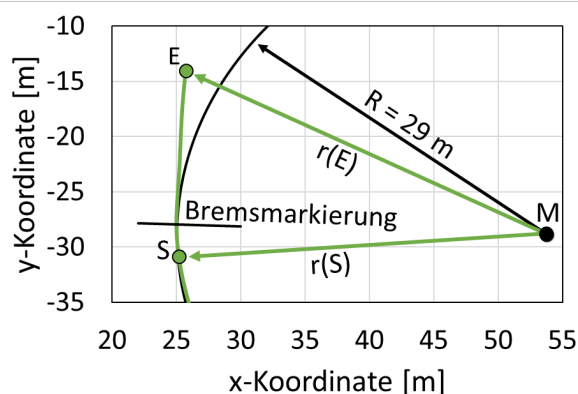


Bild 4-19: Trajektorie und Abstände zum Kreismittelpunkt einer Bremsung des Fahrmanövers Kreis

$$\mathit{delta}(r) = r(E) - r(S)$$

Formel (4-2)

In der Auswertegruppe der Bremsungen unter der Schräglagengrenze wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der Schalterstellung ABS und der Schalterstellung Kurven-ABS festgestellt ($p=0,140$). Für die Bremsungen mit der Schalterstellung ABS wurde ein Medianwert der Abstandsänderung zum Kreismittelpunkt von 0,02 m berechnet, für die Bremsungen mit der Schalterstellung Kurven-ABS ein Medianwert von -0,04 m.

In der Auswertegruppe über der Schräglagengrenze wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS ermittelt ($p=0,946$). Für die Schalterstellung ABS wurde ein Medianwert von 0,08 m berechnet, für Schalterstellung Kurven-ABS ein Medianwert von 0,14 m. Die Boxplots sind, für beide Auswertegruppen, in Bild 4-20 dargestellt.

Hypothese H04 wurde somit abgelehnt.

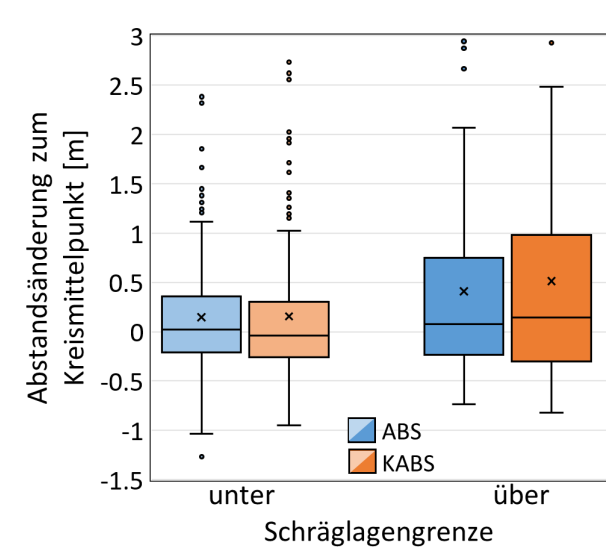


Bild 4-20: Abstandsänderung Kreismittelpunkt für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Hypothese H05: "Der Bremsweg wird durch Kurven-ABS verkürzt."

In der Literatur wurden widersprüchliche Ergebnisse von Fahrversuchen, mit Kurven-ABS und ABS, gefunden. Aufgrund der schräglagenabhängigen Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS wurde in Literaturquellen angenommen, dass das fahrdynamische Potenzial während der Kurvenbremsung mit Kurven-ABS besser genutzt werden kann. Der flachere Bremsdruckanstieg nach Modulationsbeginn des Kurven-ABS könnte aber auch in einer verringerten Bremsverzögerung (Kapitel 4.1.2) während dieser Phase des Bremsvorganges resultieren. Ebenso könnte das gesteigerte Vertrauen der Versuchspersonen in die Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS zu einem veränderten Bremsverhalten führen daraus könnte sich auch eine Veränderung der Länge des Bremsweges ergeben.

Für die Auswertegruppe unter der Schräglagengrenze wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Längen des Bremsweges mit der Schalterstellung ABS und der Schalterstellung Kurven-ABS festgestellt ($p<0,001$). Ein kürzerer Bremsweg wurde jedoch nicht, wie von der Hypothese angenommen, bei der Schalterstellung Kurven-ABS (Median: 9,3 m) festgestellt, sondern bei der Schalterstellung ABS (Median: 8,5 m). Die durchschnittliche Bremsverzögerung zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Bremsungen, eingeteilt nach Schalterstellung ($p<0,001$). Mit der Schalterstellung ABS wurde im Median eine mittlere Bremsverzögerung von 6,9 m/s² berechnet, mit der Schalterstellung Kurven-ABS im Median ein Wert von 6,6 m/s².

In der Auswertegruppe über der Schräglagengrenze wurde kein signifikanter Unterschied bei der Länge des Bremsweges zwischen den Gruppen mit der Schalterstellung ABS und Kurven-ABS festgestellt ($p=0,095$). Im Median ergab sich ein Bremsweg mit der Schalterstellung ABS von 11,2 m und mit der Schalterstellung Kurven-ABS von 12,1 m. Die mittlere Bremsverzögerung war jedoch signifikant unterschiedlich ($p<0,001$). Bei Bremsungen mit der Schalterstellung ABS wurde im Median eine mittlere Bremsverzögerung von $7,3 \text{ m/s}^2$ berechnet, mit Kurven-ABS $6,9 \text{ m/s}^2$. Die Boxplots für die Länge des Bremsweges und die mittlere Bremsverzögerung beider Auswertegruppen sind in Bild 4-21 dargestellt.

Hypothese H06 wurde somit abgelehnt.

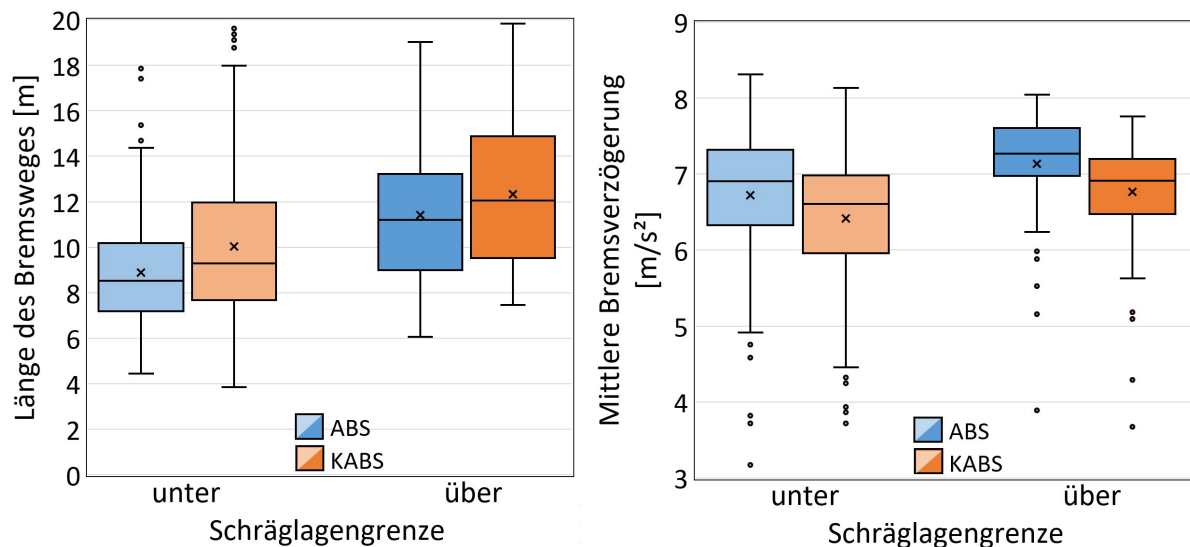


Bild 4-21: Länge des Bremsweges und mittlere Bremsverzögerung für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis

Die jeweiligen Kennwerte der Hypothesen, die Werte des Medians, der Quartile und des p-Wertes der Nullhypothese (Gleichheit der Erwartungswerte) sind in Tabelle 4-6 (unter Schräglagengrenze) und Tabelle 4-7 (über Schräglagengrenze) zusammengefasst. P-Werte unter einem Signifikanzniveau von $p<0,05$ (Nullhypothese abgelehnt) wurden in fett gedruckt.

Hypo- these	Kennwert	Schalterstellung	Median [IQR]	p-Wert
H01	Änderung der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn [°]	ABS (n=246) KABS (n=311)	-3,5 [-6,2; -1,5] -2,5 [-4,7; -0,7]	<0,001^U
H02	Maximalwert des Bremsdruckes an der Bremspumpe [bar]	ABS (n=246) KABS (n=311)	28,9 [21,3; 48,6] 27,4 [20,7; 50,2]	0,545 ^U
H03	Maximalwert der Rollrate [°/s]	ABS (n=246) KABS (n=311)	35,8 [29,0; 45,2] 32,0 [26,0; 41,3]	0,007^U
H04	Abstandsänderung zum Kreismittelpunkt [m]	ABS (n=246) KABS (n=311)	0,02 [-0,21; 0,35] -0,04 [-0,26; 0,30]	0,140 ^U
H05	Länge des Bremsweges [m]	ABS (n=246) KABS (n=311)	8,5 [7,2; 10,2] 9,3 [7,7; 12,0]	<0,001^U
	Bremsverzögerung [m/s²]	ABS (n=246) KABS (n=311)	6,9 [6,3; 7,3] 6,6 [6,0; 7,0]	<0,001^U

Tabelle 4-6: Kennwerte der Hypothesen für Bremsungen unter Schräglagengrenze (^T Zweistichproben T-Test, ^U Mann-Whitney U-Test)

Hypo- these	Kennwert	Schalterstellung	Median [IQR]	p-Wert
H01	Änderung der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn [°]	ABS (n=59) KABS (n=88)	-2,7 [-5,7; 0,7] -2,6 [-6,9; -0,6]	0,788 ^T
H02	Maximalwert des Bremsdruckes an der Bremspumpe [bar]	ABS (n=59) KABS (n=88)	48,5 [35,4; 63,7] 46,3 [30,1; 85,0]	0,880 ^U
H03	Maximalwert der Rollrate [°/s]	ABS (n=59) KABS (n=88)	64,0 [46,9; 80,0] 44,4 [33,7; 51,0]	<0,001 ^T
H04	Abstandsänderung zum Kreismittelpunkt [m]	ABS (n=59) KABS (n=88)	0,08 [-0,23; 0,75] 0,14 [-0,30; 0,98]	0,946 ^U
H05	Länge des Bremsweges [m]	ABS (n=59) KABS (n=88)	11,2 [9,0; 13,2] 12,1 [9,5; 14,9]	0,095 ^T
	Bremsverzögerung [m/s ²]	ABS (n=59) KABS (n=88)	7,3 [7,0; 7,6] 6,9 [6,5; 7,2]	<0,001 ^U

Tabelle 4-7: Kennwerte der Hypothesen für Bremsungen über Schräglagengrenze (^T Zweistichproben T-Test, ^U Mann-Whitney U-Test)

4.2.2 Probandenspezifische Auswertung

Es wurden deutliche, personenabhängige Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden festgestellt. Auf Basis der Ergebnisse wurde abgeleitet, dass eine personenabhängige Bremsbetätigung der Versuchspersonen, bezüglich der Stärke der Betätigung des Bremshebels der vorderen Bremse, existiert. Zusätzlich wurden deutliche Unterschiede zwischen den Versuchspersonen anhand der mittleren Bremsverzögerung dargestellt. Bei der Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn und zwischen Bremsbeginn und Beginn des Eingriffes von ABS bzw. Kurven-ABS ergaben sich ebenfalls Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden. Die probandenspezifische Auswertung ergab, dass nur fünf der 55 Versuchspersonen, bezogen auf den Medianwert, eine Schräglage von zumindest 20° zum Zeitpunkt des Modulationsbeginnes des Bremsdruckes und damit dem Wirkungsbereich des Kurven-ABS erreichten. Vor Bremsbeginn wurde jedoch im Median bei 54 der 55 Versuchspersonen eine Schräglage über 20° festgestellt.

Aufgrund der personenabhängigen Unterschiede wurden die Bremsungen des ersten Versuchsdurchganges (Erstfahrten) probandenspezifisch ausgewertet. Dabei wurden die Kennwerte der Bremsungen für jeden einzelnen Probanden zusammengefasst und in Boxplots dargestellt.

Um die personenspezifischen Unterschiede bei der Kraft, mit welcher die Probanden den Bremshebel der vorderen Bremse betätigten, auszuwerten, wurde der Maximalwert des Bremsdruckes an der vorderen Bremspumpe in Boxplots gewählt. Für diese probandenspezifische Auswertung wurden die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis herangezogen. Bild 4-22 zeigt die Boxplotdarstellung des maximalen Bremsdruckes (Bremspumpe), für alle Bremsungen mit Eingriffen am Vorderrad der jeweiligen Versuchsperson über dem Versuchsdurchgang. Für die Auswertung wurden nur Probanden berücksichtigt, bei welchen mindestens fünf oder mehr Bremsungen mit Eingriff des ABS bzw. Kurven-ABS festgestellt wurden. Dadurch reduzierte sich die Anzahl der Versuchspersonen von 55 auf 47. Die Auswertung ergab, dass der maximale Bremsdruck am Vorderrad stark probandenabhängig ist. Die Probanden mit den Nummern 13, 52 und 10 hatten die höchsten Medianwerte von 115 bar, 102 bar und 98 bar. Im Gegensatz dazu hatten Versuchspersonen mit den Nummern 03, 44 und 14 einen Medianwert des maximalen Bremsdruckes von 10 bar, 11 bar und 13 bar. Die Boxplots der Bremsdrücke zeigen eine relativ geringe Streuung der wiederholten Bremsungen derselben Probanden.

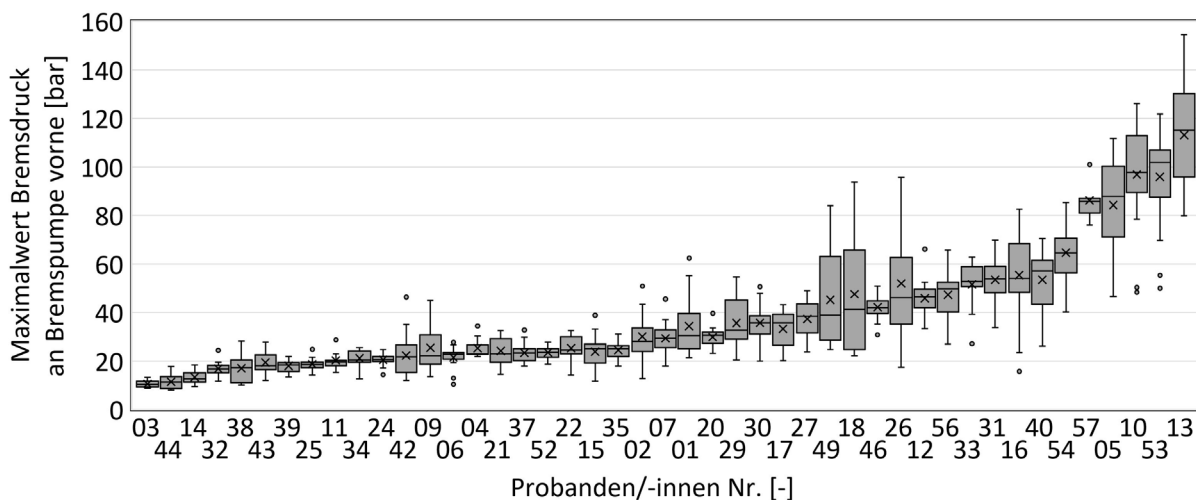


Bild 4-22: Probandenspezifische Boxplots des Maximalwertes des Bremsdruckes an der Bremspumpe vorne für das Fahrmanöver Kreis

Die mittlere Bremsverzögerung zeigt ebenfalls deutliche personenabhängige Unterschiede und eine geringe Streuung der wiederholten Bremsungen derselben Versuchspersonen. Die mittleren Bremsverzögerungen der Bremsungen der Fahrmanöver Kreis und Kuppe wurden probandenspezifisch ausgewertet. Bei den Versuchspersonen 27, 29 und 13 wurden die höchsten Bremsverzögerungen gemessen, im Median 7,7 m/s², 7,4 m/s² und 7,2 m/s². Bei den Bremsungen der Versuchspersonen 51, 48 und 32 wurden hingegen Medianwerte von 3,7 m/s², 4,1 m/s² und 4,4 m/s² festgestellt.

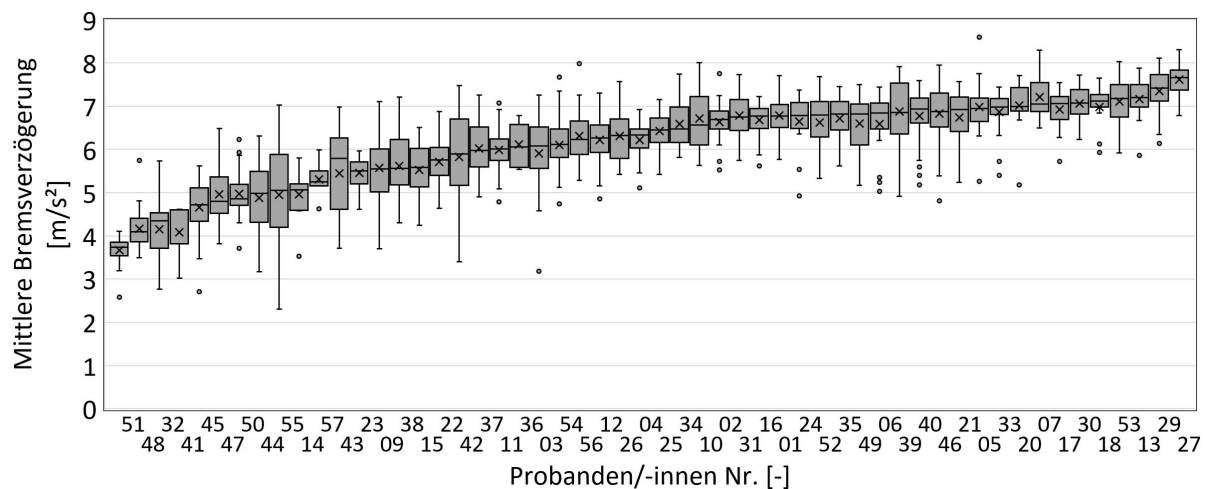


Bild 4-23: Probandenspezifische Boxplots der mittleren Bremsverzögerung für die Fahrmanöver Kreis und Kuppe

Die Darstellung der Medianwerte der Schräglagen der einzelnen Versuchspersonen eine Sekunde vor Bremsbeginn (Bild 4-24, grau), zum Zeitpunkt des Bremsbeginns (grün) und zum Zeitpunkt des Regelbeginns (Bild 4-24, gelb), zeigt anhand einer kumulierten Häufigkeitsdarstellung, wie groß die Schräglagenänderung im jeweiligen Zeitintervall ist. Die Darstellung der erreichten Medianwerte der Schräglagen zu den jeweiligen Zeitpunkten wurde für das Fahrmanöver Kreis ausgewertet.

Eine Sekunde vor Bremsbeginn liegt die Schräglage aller Versuchspersonen in Median bei 25,4°. 54 Probanden haben eine Sekunde vor Bremsbeginn im Median eine Schräglage von über 20°. Zu Bremsbeginn hat sich die Schräglage im Median auf 22,5° reduziert. Im Zeitintervall zwischen Bremsbeginn und Modulationsbeginn reduzierte sich die Schräglage deutlich. Zu Modulationsbeginn liegt der Medianwert der Schräglage aller Bremsungen bei 14,2°.

Damit zeigt sich deutlich, dass sich hinsichtlich der Schräglage zum Zeitpunkt des Bremsdruckmodulationsbeginnes ergibt, dass nur fünf Versuchspersonen, bezogen auf den Medianwert, den Wirkungsbereich des Kurven-ABS erreicht hatten. Vor Bremsbeginn wurde jedoch im Median bei 54 der 55 Versuchspersonen eine Schräglage über 20° festgestellt.

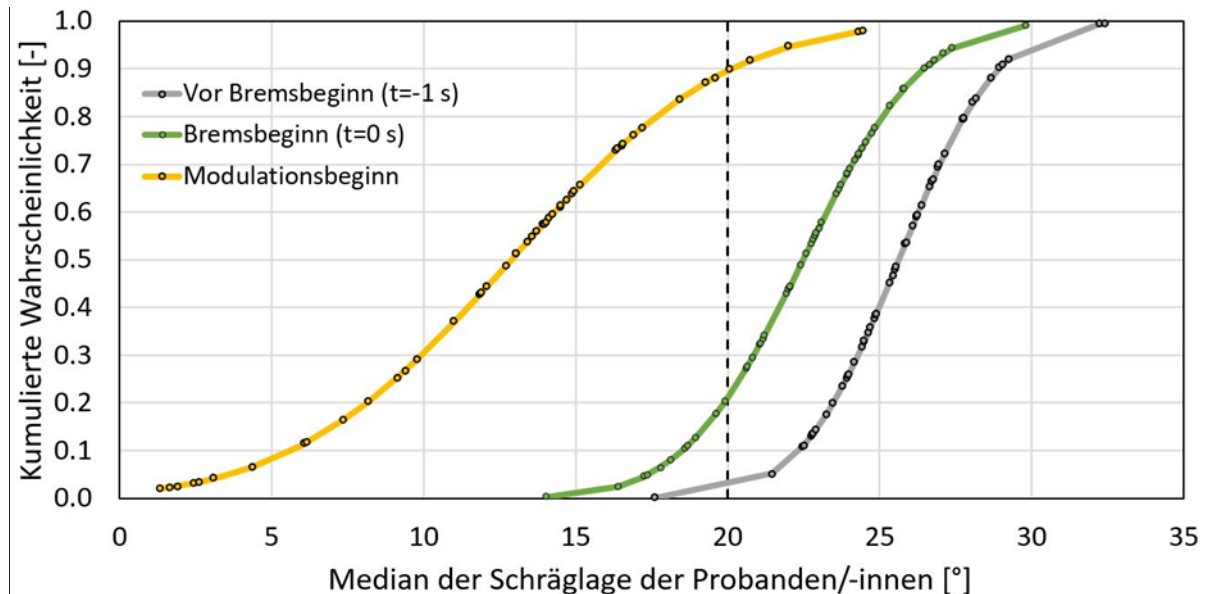


Bild 4-24: Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn (grau), Schräglage zu Bremsbeginn (grün) und Schräglage zu Modulationsbeginn (gelb), Medianwerte der Probanden für das Fahrmanöver Kreis

4.2.3 Lerneffekt über den gesamten Versuchsdurchgang

Während den wiederholten Bremsungen desselben Fahrmanövers, wurde ein deutlicher Lerneffekt bei der Stärke der Bremsbetätigung festgestellt. Eine Übertragbarkeit auf das nächstfolgende Fahrmanöver konnte jedoch nur im geringen Ausmaß festgestellt werden. Bei der Schräglagenveränderung vor Bremsbeginn (Aufstellen des Motorrades) konnte kein Lerneffekt über den Versuchsdurchgang erkannt werden, jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den Fahrmanövern Kreis und Kuppe.

Die Probanden hatten bei den durchzuführenden Bremsungen, je nach Fahrmanöver, verschiedene Ausgangsgeschwindigkeiten. Deshalb wurde für die Auswertung eines Lerneffektes der maximale Bremsdruck an der vorderen Bremspumpe während des ersten Versuchsdurchganges (Erstfahrt) herangezogen. Zusätzlich wurde das Aufstellen des Motorrades durch die Versuchsperson im Zeitintervall eine Sekunde vor Bremsbeginn bis Bremsbeginn ausgewertet. Damit wurde ein möglicher Lerneffekt und eine mögliche gesteigerte Gewöhnung an Kurvenbremsungen durch die Versuchsperson dargestellt.

Für die Auswertung des Lerneffektes, während eines Versuchsdurchganges, wurde der maximale Bremsdruck an der Bremspumpe des Vorderrades als Maß für die Bremshebelbetätigung gewählt. In Bild 4-25 sind die Medianwerte der Maximalwerte des Bremsdruckes der jeweiligen Bremsung, im Verlauf über den einzelnen Bremsungen eines Versuchsdurchganges, entsprechend dem Fahrmanöver, dargestellt. Die Werte wurden für beide Versuchsreihenfolgen (Gruppe 1: ABS/KABS und Gruppe 2: KABS/ABS) separat ausgewertet. Das Umschalten von ABS auf Kurven-ABS bzw. Kurven-ABS auf ABS erfolgte zwischen beiden aufeinanderfolgenden Fahrmanövern Kreis 40.

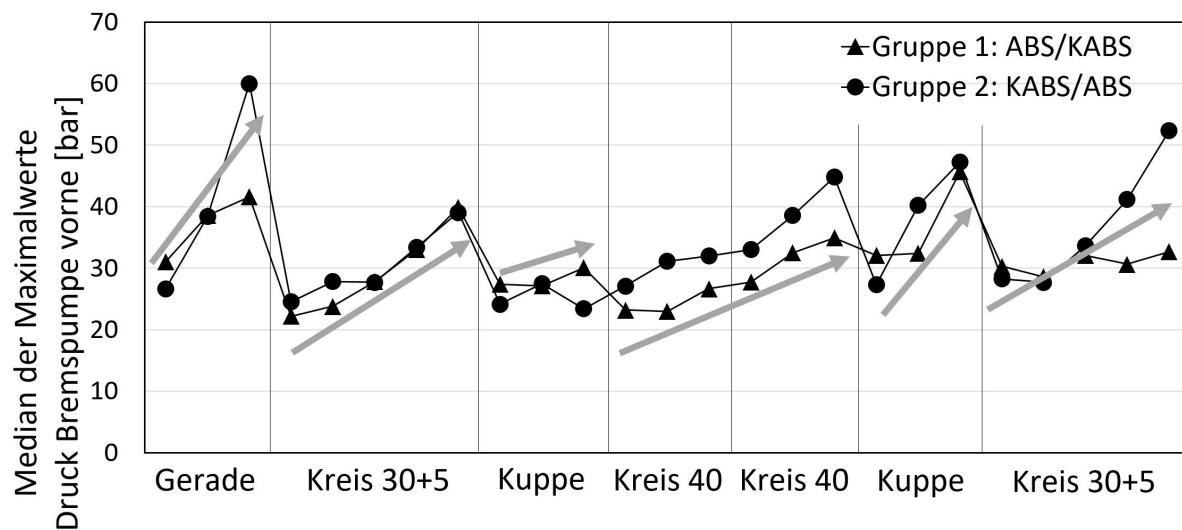


Bild 4-25: Maximalwert des Bremsdruckes nach der Bremspumpe der einzelnen Bremsungen über den Versuchsablauf in der Reihenfolge ABS/KABS (Gruppe 1) und KABS/ABS (Gruppe 2)

Es ließ sich ein Lerneffekt der Probanden aus einer stärkeren Betätigung des vorderen Bremshebels während den wiederholten Bremsungen desselben Fahrmanövers erkennen. Bild 4-25 zeigt den Median aller Maximalwerte des Druckes an der vorderen Bremspumpe der jeweiligen Bremsung, entsprechend dem Fahrmanöver über den Versuchsablauf. Es lässt sich eine Zunahme des Medians des maximalen Bremsdruckes, während der aufeinanderfolgenden Bremsungen eines Fahrmanövers (z. B. bei den drei Bremsungen auf der Geraden oder bei den drei Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit 40 km/h) feststellen.

Dass Kurvenbremsungen eine Herausforderung an die Probanden darstellen, ist am Sprung des Medians des maximalen Bremsdruckes zwischen der dritten Bremsungen auf der Geraden und der ersten Bremsungen des Fahrmanövers Kreis (Kreis 30+5) zu erkennen. Wohingegen Medianwerte von 42 bar (Gruppe 1) und 60 bar (Gruppe 2) bei der dritten Bremsung auf der Geraden gemessen wurden, betrugen die Werte bei der ersten ausgewerteten Kreisbremsung 22 bar (Gruppe 1) und 25 bar (Gruppe 2).

Der ausgewertete Lerneffekt ist jedoch nur in geringer Ausprägung über ein einzelnes Fahrmanöver hinweg vorhanden. Nach dem Lerneffekt während der ersten Durchführung des Fahrmanövers Kreis (30+5) sinkt der Bremsdruck bei den Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe wieder auf ein mit den Ausgangswerten vergleichbares Niveau. Bei den Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit 40 km/h (Kreis 40) kann ein durchgängiger Anstieg beobachtet werden, jedoch bei der darauffolgenden Bremsung des Fahrmanövers Kuppe beginnt dieser Lerneffekt wiederum von Neuem. Es konnte ein Herantasten an einen höheren Bremsdruck während der wiederholten Bremsungen eines Fahrmanövers beobachtet werden.

Der Verlauf der Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn, während der wiederholten Durchführung von Kurvenbremsungen, ist in Bild 4-26 dargestellt. Das Zeitintervall für die Auswertung der Schräglagenänderung vor Bremsbeginn war eine Sekunde. Es lässt sich kein Lerneffekt während dem Versuchsdurchgang, hinsichtlich eines geringeren Aufstellens des Motorrades durch die Versuchspersonen vor Bremsbeginn erkennen. Ein Unterschied bei der Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn lässt sich jedoch zwischen den Fahrmanövern Kreis und Kuppe erkennen: Während sich die Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn bis zum Bremsbeginn bei den Fahrmanövern Kreis 40 und Kreis 30+5 um ca. 2° verringerte, wurde beim Fahrmanöver Kuppe eine Reduktion von ca. 4° festgestellt. Beim Fahrmanöver Kuppe konnte die Fahrlinie, innerhalb des Fahrsteifens, durch die Versuchspersonen frei gewählt werden, wohingegen beim Fahrmanöver Kreis war die Fahrlinie durch eine Bodenmarkierung vorgegeben.

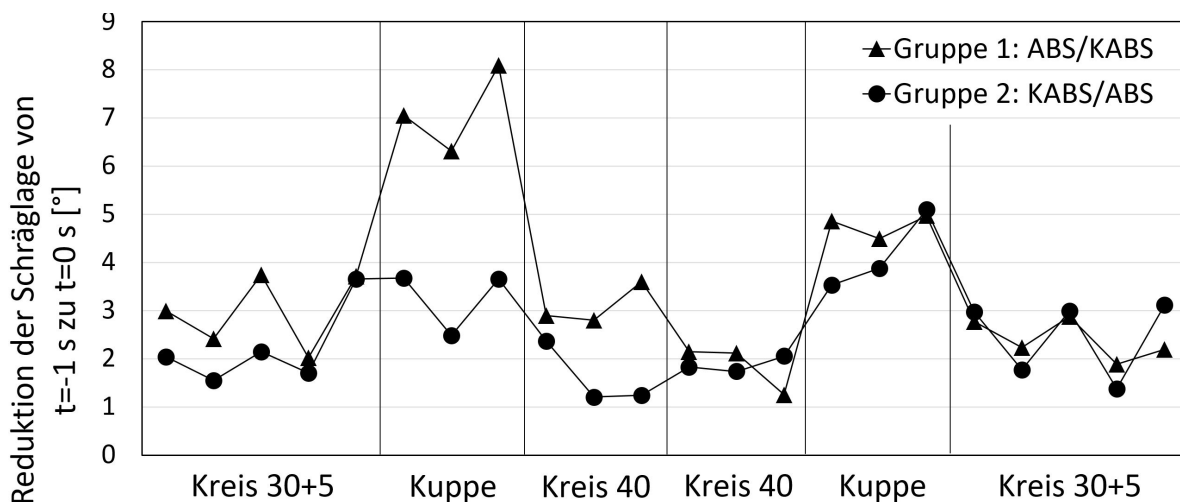


Bild 4-26: Reduktion der Schräglage im Zeitintervall eine Sekunde vor ($t=-1$ s) bis zu Bremsbeginn ($t=0$ s)
(Gruppe 1: ABS/KABS und Gruppe 2: KABS/ABS)

4.2.4 Lerneffekt bei wiederholten Versuchsdurchgängen

Zwischen dem ersten und dem zweiten Versuchsdurchgang von sechs Versuchspersonen konnten, anhand der betrachteten Kennwerte, ungefähr die gleiche Anzahl an positiven wie negativen Effekten bezüglich der Lernkurven festgestellt werden. Betrachtet wurde die Stärke der Bremshebelbetätigung, der Schräglage zu Modulationsbeginn und der Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn. Die personenabhängigen Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden waren deutlich größer, als die Unterschiede der Probanden von einem Versuchsdurchgang zum nächsten. Dies auch bei den beiden Probanden die den Versuchsdurchgang fünf bzw. sechs Mal absolvierten. Die Medianwerte der Schräglage zu Modulationsbeginn des Bremsdruckes lagen bei allen Versuchspersonen und ebenfalls, unabhängig von der Anzahl der durchgeführten Versuchsdurchgänge und damit Anzahl der getätigten Vollbremsungen, unter der Schräglagengrenze von 20° und damit außerhalb des Wirkungsbereiches des Kurven-ABS.

Versuchsperson Nr. 01 absolvierte Versuchsdurchgang 1 und 2 im Abstand von einem Monat. Ungefähr 11 Monate danach wurden von dieser Person die Versuchsdurchgänge 3, 4 und 5 am selben Tag absolviert. Einen Monat nach dem ersten Versuchsdurchgang (1) absolvierte Versuchsperson Nr. 04 die Versuchsdurchgänge 2 und 3. Die Versuchsdurchgänge 4, 5 und 6 wurden ca. 11 Monate danach absolviert. Versuchsperson Nr. 13, Nr. 16 und Nr. 20 absolvierten jeweils den zweiten Versuchsdurchgang am gleichen Tag, wie seinen/ihren ersten Versuchsdurchgang.

Bild 4-27 zeigt die Medianwerte der Reduktion der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn bis zum Bremsbeginn (oben), der Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation (mitte) und des maximalen Bremsdruckes an der vorderen Bremspumpe (unten). Dies für alle Bremsungen des Fahrmanövers Kreis, des jeweiligen Versuchsdurchganges und für alle Versuchspersonen, welche den Versuchsablauf mehrmals (Mehrfachfahrten) absolvierten.

Bei der Reduktion der Schräglage vor Bremsbeginn (Aufstellen des Motorrads durch die Probanden) wurde bei den Mehrfachfahrten kein Trend bezüglich eines Lerneffektes, über die wiederholten Versuchsdurchgänge erkannt.

Bei den Erstfahrten konnte jedoch gezeigt werden, dass die Probanden die Vorderbremse zumindest innerhalb eines Fahrmanövers, mit steigender Anzahl der Bremsungen stärker betätigten. Betrachtet man nun den Median der Maximalwerte des Druckes an der vorderen Bremspumpe, über die Anzahl der Versuchsdurchgänge, so kann dies für die Mehrfachfahrten nicht festgestellt werden.

Bei der Schräglage zu Modulationsbeginn lässt sich ebenfalls kein gemeinsamer Trend, über die wiederholten Versuchsdurchgänge erkennen. Für diese Trendanalyse wurde die Schräglage zu

Modulationsbeginn, unabhängig von der Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS gemeinsam ausgewertet. Es konnte ein probandenspezifischer Bereich der Schräglage erkannt werden. Jedoch lagen die Medianwerte der Schräglage von den Versuchspersonen mit wiederholten Versuchsdurchgängen bei allen Durchgängen unterhalb der Schräglagengrenze des Kurven-ABS von 20°. Damit lässt sich kein Trend eines Lerneffekt, bezüglich eines Modulationsbeginns bei größeren Schräglagen, dies auch nach mehrfachen Versuchsdurchgängen und einer dementsprechend hohen Anzahl an Kurvenbremsungen feststellen.

Der Maximalwert des Druckes an der Bremspumpe am Vorderrad variiert probandenabhängig. Aufgrund der hohen Anzahl der getätigten Bremsungen über die wiederholten Versuchsdurchgänge konnte kein Trend hinsichtlich einer stärkeren Bremsbetätigung festgestellt werden.

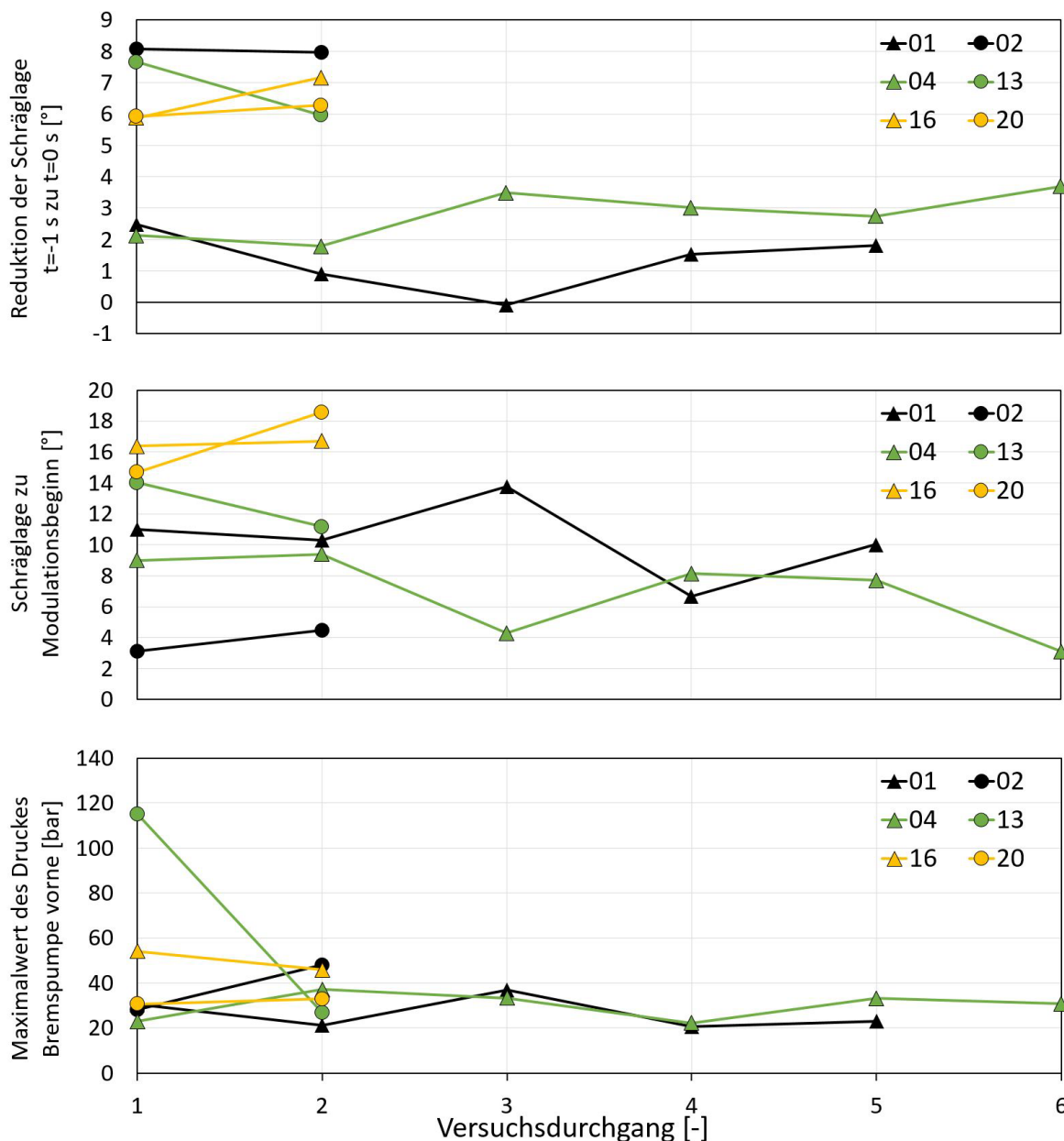


Bild 4-27: Mehrfachfahrten von sechs Probanden: Verlauf der Medianwerte der Schräglagenreduktion, der Schräglage zu Modulationsbeginn und des Maximalwertes des Druckes an der Bremspumpe am Vorderrad über die wiederholten Versuchsdurchgänge

Eine detaillierte Betrachtung der Veränderungen zwischen dem ersten und zweiten Versuchsdurchgang ist in Tabelle 4-8 dargestellt. In dieser Tabelle sind die prozentuellen Änderungen,

der in Bild 4-27 dargestellten Werte, zwischen dem ersten und dem zweiten Versuchsdurchgang für die sechs Versuchspersonen zusammengefasst.

Bei der von den Versuchspersonen induzierten Schräglagenreduktion vor Bremsbeginn (Aufstellen des Motorrads) zeigte sich bei drei Probanden ein Trend hin zu einer geringeren Reduktion der Schräglage. Wohingegen bei zwei Probanden eine erhöhte Schräglagenreduktion festgestellt wurde. Bei einer Versuchsperson wurde zwischen den beiden Versuchsdurchgängen keine wesentliche Veränderung gemessen.

Ein Trend hin zu einer höheren Schräglage zu Modulationsbeginn, aufgrund des wiederholten Versuchsdurchganges, konnte bei zwei Probanden festgestellt werden. Bei drei Versuchspersonen wurde hingegen eine geringere Schräglage zu Modulationsbeginn, beim zweiten Versuchsdurchgang festgestellt. Die Schräglage einer Versuchsperson veränderte sich zu Modulationsbeginn kaum.

Von dem ersten auf den zweiten Versuchsdurchgang wurde für drei Probanden ein höherer Maximalwert des Druckes an der vorderen Bremspumpe festgestellt. Bei den anderen drei Probanden wurde hingegen ein niedriger Medianwert beim zweiten Versuchsdurchgang ermittelt.

Probanden Nr.	Reduktion Schräglage t=-1 s zu t=0 s [%]	Schräglage zu Modulationsbeginn [%]	Maximalwert des Druckes Bremspumpe vorne [%]
01	-64	-6	-30
02	-1	+44	+71
04	-16	-35	+62
13	-22	-20	-77
16	+22	+2	-15
20	+6	+26	+7

Tabelle 4-8: Prozentuelle Veränderung der Medianwerte zwischen ersten und zweiter Versuchsdurchgang
(Veränderungen unter 5 % wurden als gering bewertet und nicht farblich markiert)

Sechs Versuchspersonen absolvierten den Versuchsdurchgang zumindest ein weiteres Mal (Mehrfachfahrten). Anhand dieser Messdaten wurde ausgewertet, ob Lerneffekte für bestimmte Kennwerte (Schräglage, Bremsdruck) aufgrund der wiederholten Teilnahme an den Fahrversuchen messbar waren. Aufgrund der wiederholten Versuchsdurchgänge und der dementsprechend hohen Anzahl an durchgeführten Kurvenbremsungen (ca. 20 je Versuchsdurchgang) der Versuchspersonen, konnte kein Trend zu einem Lerneffekt bestätigt werden. Vielmehr lassen die von sechs Probanden durchgeführten Mehrfachfahrten, darauf schließen, dass die Lernkurve auch negativ, also von besseren Leistungen hin zu schlechteren verlaufen kann. Etwa zu gleichen Teilen wurde eine positive, wie auch negative Lernkurve zwischen dem ersten und zweiten Versuchsdurchgang der sechs Probanden beobachtet.

4.2.5 Vorherbefragung der Probandinnen und Probanden

Fahrzweck

Das Motorrad wurde von den Versuchspersonen primär als Freizeitverkehrsmittel verwendet (83 %) und von einigen auch als Transportmittel in die Arbeit bzw. zur Ausbildungsstätte (11 %). Dass das Motorrad vor allem für Freizeitaktivitäten verwendet wurde, zeigte sich auch an den Straßentypen, die überwiegend befahren wurden. So waren 85 % der Versuchspersonen (44 Personen) vorwiegend auf Landstraßen, 8 % (4 Personen) im Stadtverkehr und 6 % (3 Personen) auf Autobahnen unterwegs (n=52). Eine Person gab an, nur noch auf Rennstrecken zu fahren.

Ausstattung der eigenen Motorräder mit Assistenzsystemen

Fünf Versuchspersonen (9 %) hatten im Alltag kein Motorrad zur Verfügung und 91 % der Probanden besaßen ein eigenes Motorrad. Von den 49 Personen, die angaben, ein Motorrad zur Verfügung zu haben, hatten 24 (49 %) ein Motorrad mit einem oder mehreren Assistenzsystemen und 25 (51 %) ein Motorrad ohne Assistenzsysteme.

Von den 24 Probanden, die über Assistenzsysteme verfügten, gaben 23 an, dass es sich um ein ABS handelte, neun waren zusätzlich noch mit einer Traktionskontrolle ausgestattet und je eine Person gab eine Kombibremse bzw. Kurven-ABS an.

Unfälle

Die Mehrheit (61 %) der Probanden hatte keinen Unfall mit dem Motorrad (33 Personen), 11 Personen (20 %) hatten einen Unfall und 10 Personen (19 %) bereits mehrere Unfälle. Unter diesen Unfällen waren 15 Alleinunfälle und 14 Unfälle mit anderen Beteiligten. Bei den letztgenannten Unfällen waren zwei im Gegenverkehr, vier im Richtungsverkehr und acht im Kreuzungsbereich.

Erwartungen Auswirkungen Kurven-ABS

Die Probanden wurden gebeten, ihre Erwartungen bezüglich Kurven-ABS festzuhalten: Was wird sich durch das Eingreifen des Kurven-ABS verändern?

48 Probanden (89 %) erwarteten sich, dass durch das Kurven-ABS die Spur leichter gehalten werden könne. 18 Probanden gingen (33 %) davon aus, dass sich der Bremsweg verkürze, und drei Personen, dass sich der Bremsweg verlängere. Neun Personen erwarteten ein ungewohntes Fahrverhalten, wobei hier vor allem mehr Kontrolle zu haben und mit einem geringeren Aufstellmoment konfrontiert zu sein, genannt wurde.

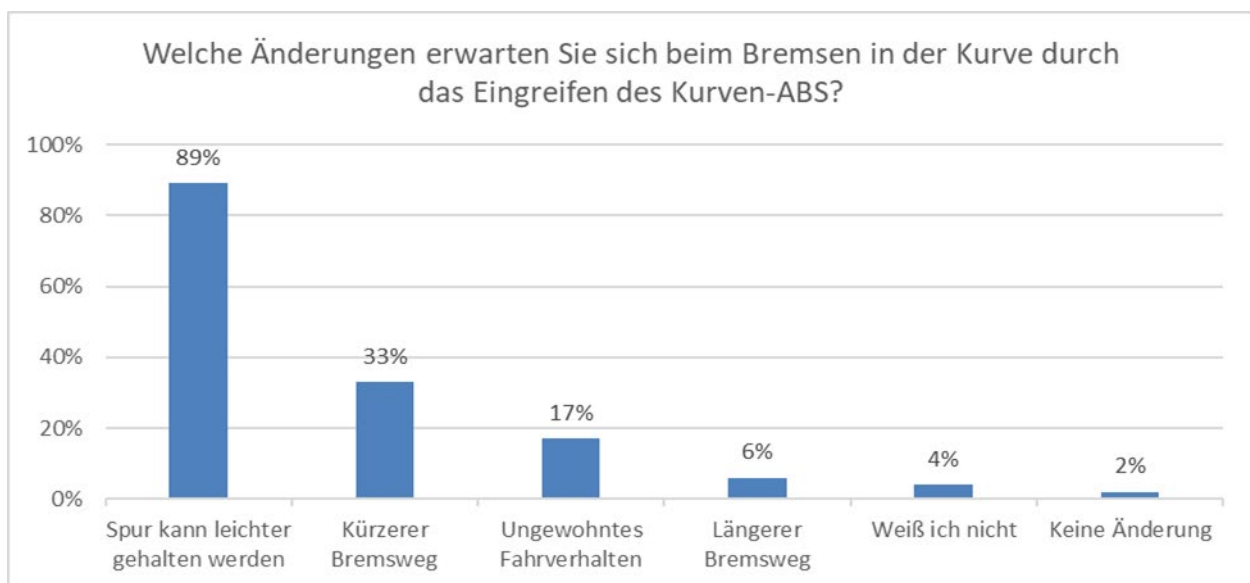


Bild 4-28: Erwartungen Auswirkungen Kurven-ABS (n=54)

Die Versuchspersonen wurden gebeten auf einer Skala von 0-10 (0 = keine Auswirkung, 10 = große Auswirkung) zu bewerten, wie sehr ihrer Meinung nach das Kurven-ABS zum sicheren Motorradfahren beitrage. Im Durchschnitt lag die Einschätzung bei 6,4 (SD=2,32), also bei einer Zustimmung von wesentlichen Auswirkungen auf die Sicherheit. In Prozent ausgedrückt gaben 9 % an keine, oder kaum Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit von Motorradfahrende zu erwarten. 39 % gingen von spürbaren Auswirkungen, 39 % von wesentlichen und 13 % von großen Auswirkungen aus.

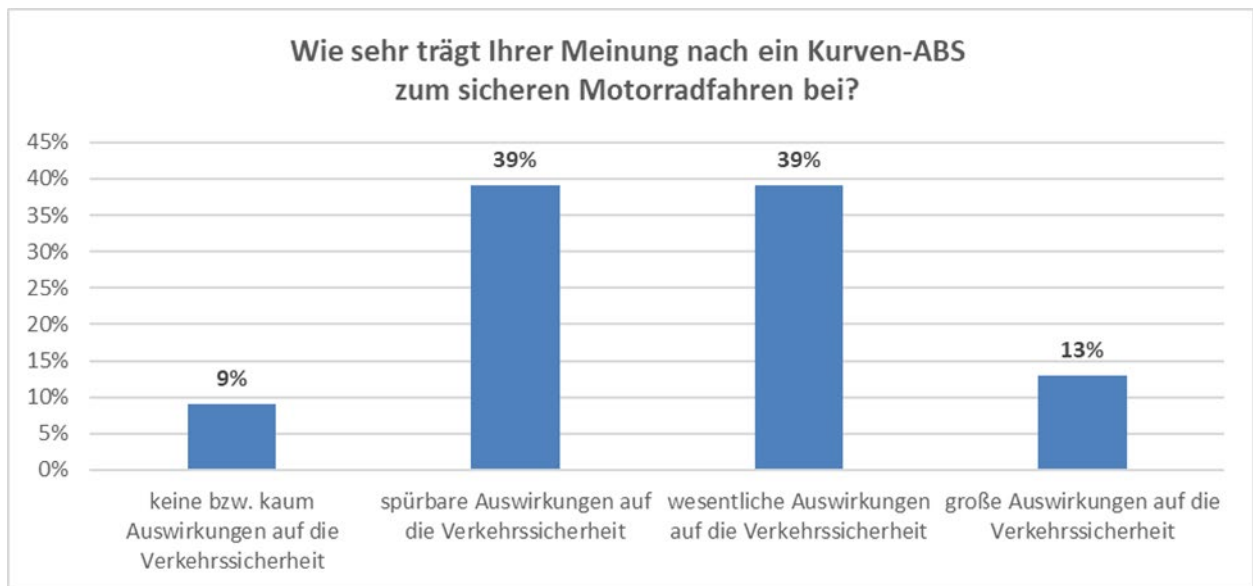


Bild 4-29: Erwartungen Auswirkungen Kurven-ABS auf die Verkehrssicherheit (n=54)

4.2.6 Nachbefragung der Probandinnen und Probanden

Die Nachherbefragung fand direkt nach Abschluss der Fahrmanöver statt.

Unterschiede Testfahrten mit und ohne Kurven-ABS?

70 % der Versuchspersonen gaben an, dass sie einen Unterschied zwischen den Testfahrten mit und ohne Kurven-ABS gespürt hätten. Es wurde erwähnt, dass die Linienführung stabiler sei, das Bremsen weniger ruckartiger als mit ABS und feiner geregelt sei, dass man sich sicherer fühle, die Spur leicht gehalten werden könne, das Hinterrad nicht abhebe, das Vorderrad bei Bremsen in der Schräglage nicht wegrutsche, der Bremsweg kürzer sei, ein Pulsieren am Bremshebel spürbar sei und das Kurven-ABS gefühlsmäßig früher als das ABS eingegriffen hätte.

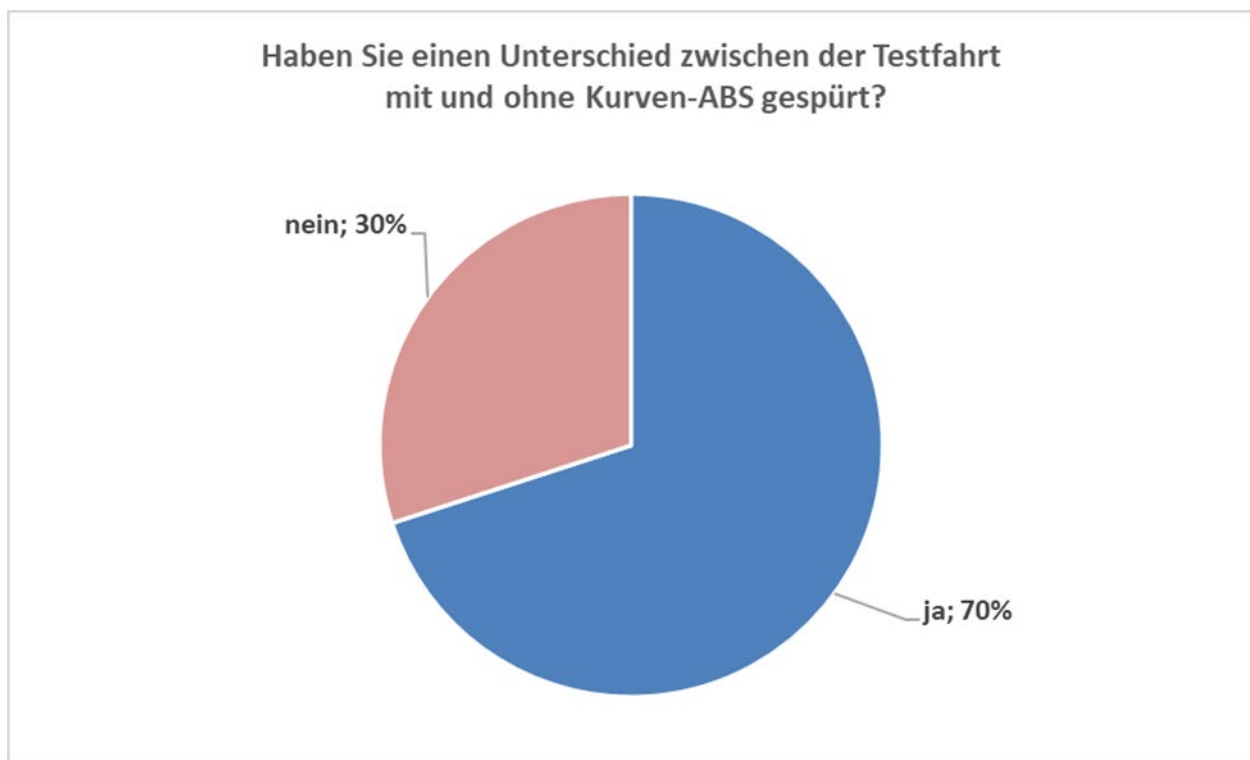


Bild 4-30: Unterschiede zwischen Fahrten mit und ohne Kurven-ABS (n=55)

Die geschlossene Frage „Was sich Ihrer Meinung nach durch das Eingreifen des Kurven-ABS beim Bremsen in der Kurve verändert hatte“, ergab leichte Unterschiede, im Vergleich zum Vorabfragebogen. In der Vorabbefragung erwarteten 33 % einen kürzeren Bremsweg, nach der Testfahrt berichteten 32 %, dass es einen kürzeren Bremsweg gab. Einen stärkeren Unterschied gab es gegenüber einem längeren Bremsweg: Vor der Testfahrt erwarteten 6 % der Probanden einen längeren Bremsweg aufgrund des Kurven-ABS, doch nach der Testfahrt wurde dieser von 19 % berichtet. Beide Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Die Zustimmung zur Aussage, dass die Spur beim Bremsen leichter gehalten werden könne, war nach der Testfahrt signifikant niedriger als zuvor ($z=-2,5$; $p<0,05$; $r=-0,34$). Vorab stimmten 89 % der Probanden der Aussage zu, danach 70,4 %. Außerdem gaben mehr Versuchspersonen als in der Vorherbefragung an, keine Änderungen bemerkt zu haben (Vorher 2 %, nachher 13 %). Dieser Effekt war ebenfalls signifikant mit $z=-2,12$; $p<0,05$, $r=-0,29$. Die Anzahl der Versuchspersonen, die ungewohntes Fahrverhalten wählten, blieb gleich (17 %). Zu den Nennungen für das ungewohnte Fahrverhalten zählten ein stärkeres Aufstellmoment, eine nicht-lineare Verzögerung und eine sanftere Bremsung.

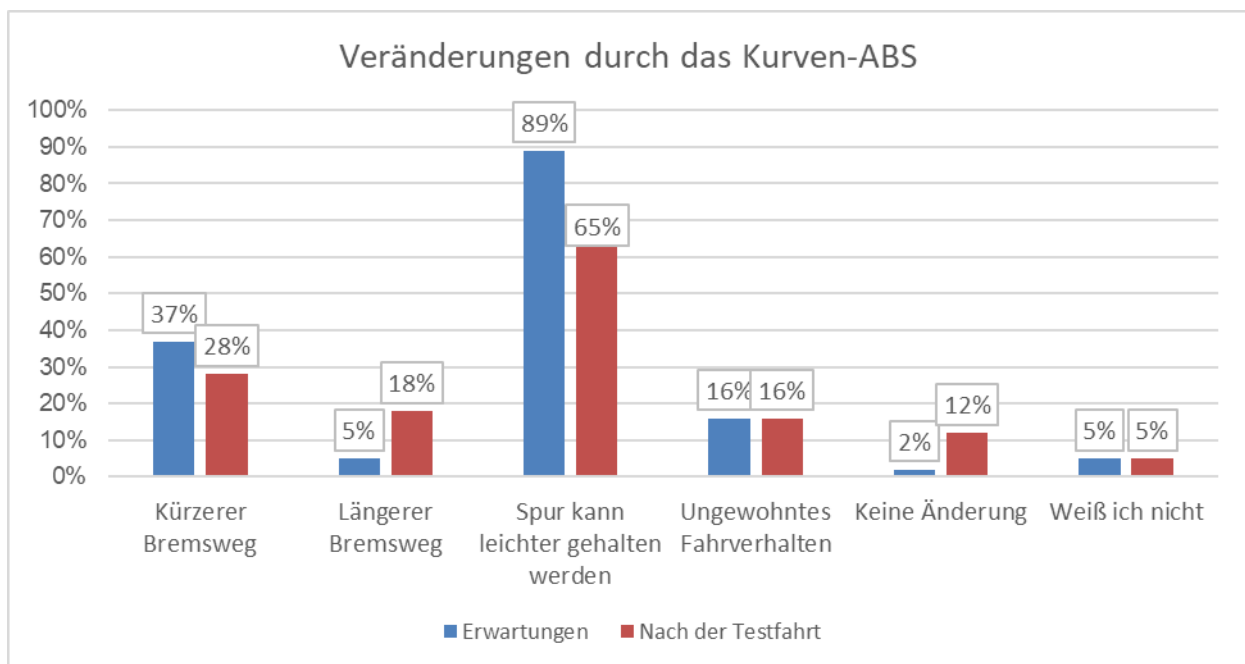


Bild 4-31: Erwartungen versus erfahrene Veränderungen durch das Eingreifen des Kurven-ABS (n=54)

Erwartungen

61 % der Probanden gaben an, dass bei der Testfahrt die Erwartungen hinsichtlich Kurven-ABS erfüllt worden seien. Als Erwartungen wurden genannt, dass eine Vollbremsung in der Kurve ohne Risiko eines Sturzes möglich sei, dass das Kurven-ABS einem das Gefühl von Sicherheit gäbe, das Bremsverhalten insgesamt sanfter gewesen sei, das Motorrad stabiler bremste, das Vorderrad beim Vollbremsen Spur gehalten habe, dass Kurven-ABS nicht störend eingegriffen hätte.

32 % der Probanden, die bei der Frage, ob die Erwartungen erfüllt wurden, nein ankreuzten, meinten, dass das Kurven-ABS zu wenig spürbar gewesen sei bzw. sie keine Erwartungen gehabt hätten. 7 % führten die Testfahrt durch, ohne vorher Erwartungen an das System gehabt zu haben.

Verkehrssicherheit

Die Frage, welchen Beitrag ein Kurven-ABS zur Verkehrssicherheit leisten könne, wurde nicht nur in der Vorherbefragung, sondern auch nach der Testfahrt gestellt. Der Beitrag des Kurven-ABS zum sicheren Motorradfahren wird nach den Testfahrten etwas geringer eingestuft (Mittelwert vorher 6,4, Mittelwert nachher 5,9). Insgesamt sind aber auch nach den Testfahrten, ein Großteil der Versuchspersonen der Meinung, dass das Kurven-ABS ein Beitrag zu mehr Verkehrssicherheit sein werde.

Bei der Bewertung des Kurven-ABS durch die Versuchspersonen spielte auch das ungewohnte Motorrad eine Rolle. Einige betonten, dass das Motorrad selbst als sicherer erlebt wurde als das eigene.

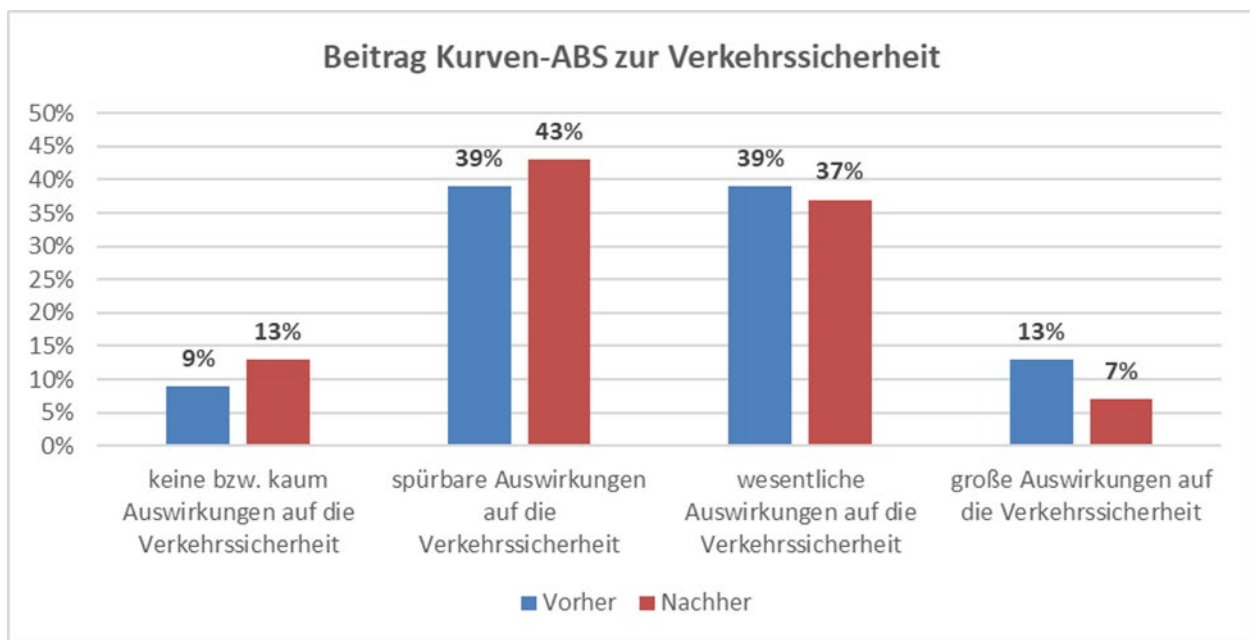


Bild 4-32: Auswirkungen des Kurven-ABS auf die Verkehrssicherheit vor und nach der Testfahrt (n=54)

Spontane Eindrücke Kurven-ABS

Die Eindrücke nach der Testfahrt waren unterschiedlich, von begeistert bis enttäuscht. Die positiven Meldungen überwogen dabei. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der spontanen Eindrücke nach der Testfahrt.

Positive Eindrücke	Neutrale Eindrücke	Negative Eindrücke
• Stabileres Verhalten bei Bremsung in der Kurve (9)* • Mehr Vertrauen beim Bremsen in der Kurve (7) • Angenehmes Fahrgefühl (5) • Höheres Sicherheitsgefühl (5) • Sanfteres Bremsen (4) • Schnellere und feinfühligere Regelung als beim ABS (3) • Überwältigend, genial (3) • Kein Abheben des Hinterrades (2) • Geringeres Aufstellmoment (2) • Innovativ • Fahrfehler in der Kurve werden korrigiert • Kürzerer Bremsweg • Hoher Spaßfaktor	• Kein bzw. kaum ein Unterschied aufgefallen (7) • Ungewohnt (4) • Neue Erfahrung (2) • Leichte Verzögerung des Vorderrades • Gegen den Instinkt in der Kurve zu bremsen • Kostet Überwindung in der Kurve zu bremsen • Bei geringen Geschwindigkeit Kurven-ABS nicht gespürt	• Längerer Bremsweg (2) • Besseres Fahrgefühl ohne Kurven-ABS • Erwartung an die Linienführung wurde nicht erfüllt • Führt mitunter risikoreicher, weil man sich auf das System verlässt

Tabelle 4-9: Spontane Eindrücke nach der Testfahrt (* Zahlen in Klammer = Anzahl der Nennungen)

Bewertung Kreisfahrt

Bei der Frage „Wie schwer Ihnen unterschiedliche Testaufgaben in der Kreisfahrt gefallen sind“ zeigte sich, dass die Testaufgaben für die meisten Versuchspersonen leicht bis gut durchführbar waren. Am schwierigsten fiel den Versuchspersonen die Kurvenbremsung aus der vorgegebenen Geschwindigkeit zu machen. Die Fragen waren von 0-10 zu bewerten, wobei 0 bedeutete „sehr leicht durchführbar“

und 10 „konnte die Aufgabe nicht erfüllen“. Die folgende Tabelle veranschaulicht die Mittelwerte der unterschiedlichen Testaufgaben.

Aufgabe	Mittelwerte (Standardabweichung)
Den eingezeichneten Radius einzuhalten	1,78 (SD 1,61)
Die vorgegebene Geschwindigkeit zu halten	2,24 (SD 1,74)
Die Kurvenbremsung aus der vorgegebenen Geschwindigkeit zu machen	2,39 (SD 1,73)
Bei dem vorgegebenen Bremspunkt zu bremsen	1,32 (SD 1,30)

Tabelle 4-10: Bewertung Testaufgaben Kreisfahrt in Bezug auf die Durchführbarkeit

Die Probanden merkten an, dass die Aufgaben ab einer Geschwindigkeit von 45km/h schwieriger durchführbar waren.

Aktivität ABS und Kurven-ABS

Die Versuchspersonen wurden gebeten auf einer Skala von 0-10 (0= nichts bemerkt, 1-3 spürbar, 4-6 störend, 7-9 gefährlich, 10 Aufgaben nicht erfüllbar) zu bewerten, wie sie den Eingriff des ABS während der Testfahrt erlebt hatten.

Der Großteil der Probanden gab an, dass das ABS während der Fahrt spürbar aktiviert wurde (91 %). 9 % bemerkten nichts und 6 % empfanden den Eingriff des ABS bereits als störend (n=54, siehe Bild 4-33). Dieselbe Fragestellung, wie beim ABS, wurde auch für das Kurven-ABS angewandt, „Hatten Sie das Gefühl, dass das Kurven-ABS während der Testfahrt aktiv wurde?“ Auch diese Frage konnte ebenfalls auf einer Skala von 0-10 bewertet werden.

Beim Kurven-ABS gaben mehr Personen als beim ABS, nämlich 28 % an, dass sie während der Testfahrt kein Eingreifen bemerkt hätten. Für 62 % der Probanden war das Eingreifen des Kurven-ABS spürbar, 8 % der Probanden empfanden die Aktivierung des Kurven-ABS als störend und eine Person gab an, dass er/sie es als gefährlich erlebt hatte (n=53, Mittelwert 1,85; SD 1,69; siehe Bild 4-33).

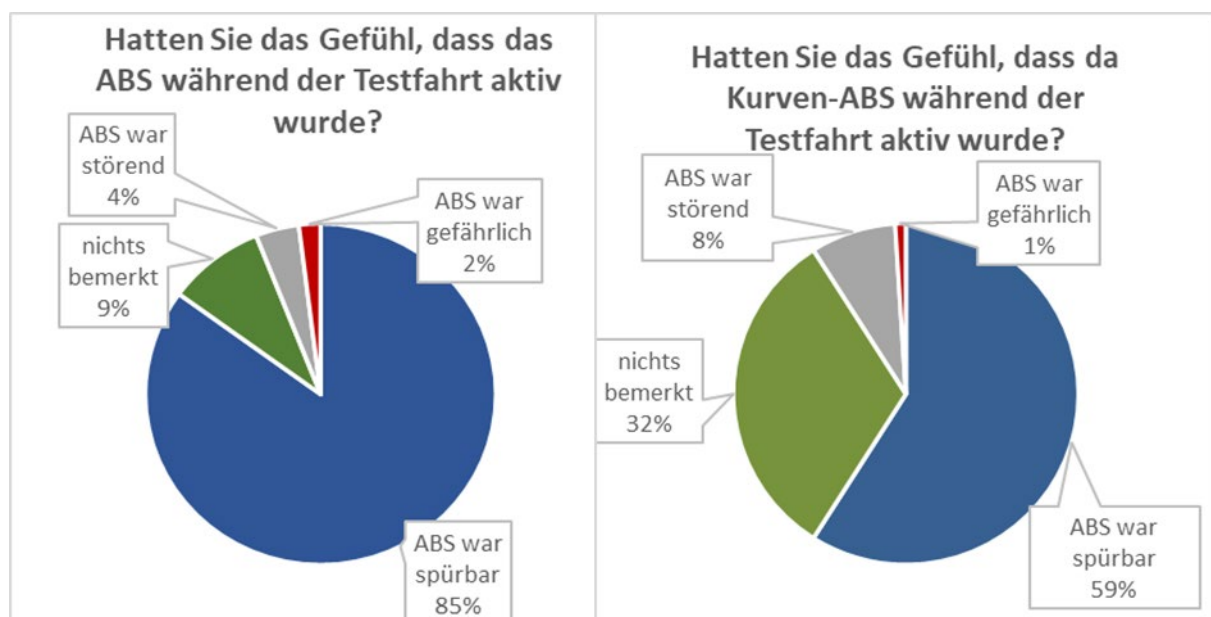


Bild 4-33: Aktivität ABS (n=54) und Kurven-ABS (n=54)

Während die Probanden mit mehr Fahrerfahrung signifikant öfter das Eingreifen des Kurven-ABS ($r=0.36$, $p<0.01$) bemerkten, gab es beim „normalen“ ABS keine Unterschiede.

Auf die Frage, bei welchen Fahrmanövern sie das Eingreifen des Kurven-ABS gespürt hatten, wurde von den meisten Befragten, die Bremsungen bei den Kreisfahrten genannt. Bei höheren Geschwindigkeiten (ab 40 km/h) war laut Aussagen der Versuchspersonen das Kurven-ABS eindeutig spürbarer. Zusätzlich wurde erwähnt, dass das Kurven-ABS gut „zu händeln“ und die Regelung sehr dosiert gewesen sei.

Kaufbereitschaft und Weiterempfehlung

81,5 % der Probanden konnten sich nach der Probefahrt vorstellen, ein Motorrad mit Kurven-ABS zu kaufen. 18,5 % der Personen verneinten diese Frage. Bei jenen, die keinen Eingriff des Kurven-ABS gespürt hatten, gaben 81 % der Probanden an, sich vorstellen zu können, ein Motorrad mit Kurven-ABS zu kaufen und 88 % würden es auch weiterempfehlen.

Als Kaufgrund wurde primär der Sicherheitsgewinn genannt, dass es in Schrecksekunden lebensrettend sein könne, dass es das Fahrverhalten nicht störe und ein angenehmes Fahrgefühl sei.

„Vor allem Kurven sind für Motorradfahrer tückisch und immer ein Risiko, ... da fühle ich mich wohler, wenn ich von meinem Motorrad unterstützt werde.“ (Interview Nr. 44)

Manche fügten jedoch hinzu, dass sie es nur kaufen würden, wenn der Kauf des Motorrads dadurch nicht teurer würde. Andere waren dazu bereit bis zu € 1000 zusätzlich für ein Kurven-ABS auszugeben. Jene, die kein Motorrad mit Kurven-ABS kaufen würden, gaben an, dass das System ihrer Meinung nach noch nicht ausgereift sei, der Fahrspaß verloren gehe, sie keine Technik mögen, das Kurven-ABS im Stadtverkehr wenig Sinn mache, sie regelmäßig Fahrsicherheitstrainings absolvierten, die Erfahrung kein Kurven-ABS ersetzen könne, die Gefahr bestehe, dass man risikoreicher fahre, weil man sich auf das System verlasse und die Kosten Nutzenrechnung nicht stimme.

„Sich auf Helferleins zu verlassen ist grob fahrlässig, ... wir leben in einer Vollkaskogesellschaft, alles wird von anderen übernommen.“ (Interview 50)

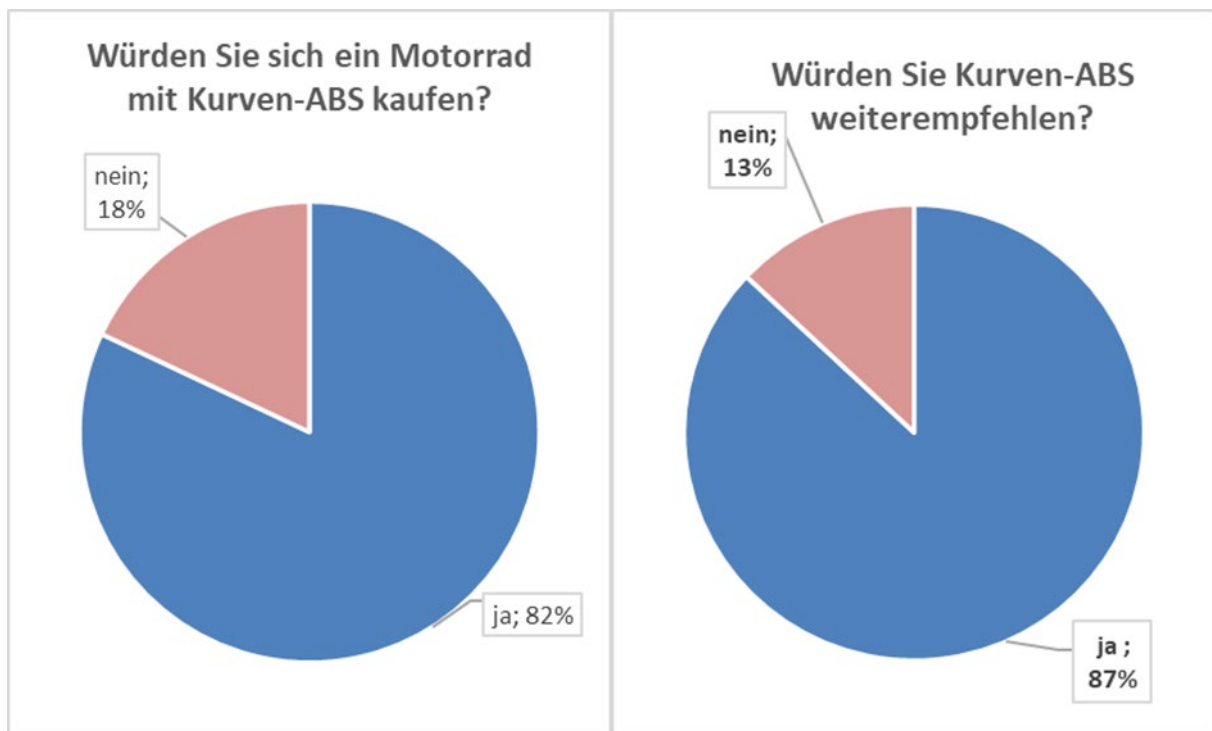


Bild 4-34: Kaufbereitschaft & Weiterempfehlung Kurven-ABS (n=54)

Interessant ist, dass mehr Personen ein Motorrad mit Kurven-ABS weiterempfehlen würden, als es selbst kaufen zu wollen (81,5 %:87 %). Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Hier wurde ebenfalls der Sicherheitsgewinn vor allem für ungeübte Personen als Pro-Argument genannt.

„Es reicht, wenn durch das Kurven-ABS ein tödlicher Unfall verhindert werden kann.“ (Interview Nr. 45)

4.2.7 Vergleich Messdaten und Probandenbefragung der Fahrversuche

84 % der Versuchspersonen, bei denen das Kurven-ABS zumindest einmal eingegriffen hat, gaben an einen Eingriff des Kurven-ABS gespürt zu haben. Unter den Versuchspersonen, bei denen das Kurven-ABS nicht eingegriffen hat, meinten dennoch 58 %, einen Eingriff gespürt zu haben. Unter diesen hatten wiederum 67 % im letzten Jahr weniger als 2500 km mit dem Motorrad zurückgelegt. Von den Probanden, die angaben, keinen Eingriff gespürt zu haben, obwohl laut Messdaten ein Eingriff erfolgt war, besaßen 60 % kein eigenes Motorrad und ebenso 60 % davon sind im letzten Jahr unter 2500 km mit dem Motorrad gefahren (n=5). Im Gesamtsample sind nur 43 % im letzten Jahr unter 2500 km gefahren, das heißt, dass unter den Fehleinschätzungen bezüglich der Aktivierung des Kurven-ABS mehr Fahrer waren, die im letzten Jahr weniger Fahrkilometer zurückgelegt haben.

Unter den Versuchspersonen, die berichteten, dass sie einen Unterschied zwischen ABS und Kurven-ABS bemerkt haben, obwohl das Kurven-ABS nicht aktiviert wurde, waren etwas mehr Fahrer-/innen von Naked Bikes (44 %), als im Gesamtdurchschnitt (33 %). Auch der Schnitt an Rollerfahrern war in dieser Gruppe höher (14 %) als im Gesamtdurchschnitt (7 %).

Generell scheint es einen Art Placebo-Effekt zu geben - Das Wissen, dass das Motorrad mit Kurven-ABS ausgestattet ist, hat bei der Hälfte der Versuchspersonen dazu geführt, ein geändertes Bremsverhalten in der Kurve wahrzunehmen, obwohl während dem gesamten Versuchsdurchgang keine Aktivierung des Kurven-ABS erfolgt ist.

Die Fahrerfahrung und der Motorradtyp, könnten einen Einfluss darauf haben, wie sensible man für Änderungen der Fahreigenschaften des Motorrades durch ein Kurven-ABS ist. Dies kann einerseits dadurch bedingt sein, dass sich unerfahrenere Personen mehr auf das Fahren selbst konzentriert sind oder dass das Testmotorrad bereits ein ganz anderes Fahrgefühl erzeugt hat, wie dies auch einige Versuchspersonen spontan nach der Testfahrt geäußert haben.

4.3 Auswertung der Fahrversuche im Straßenverkehr

Bei den gefahrenen und ausgewerteten 1290 km Fahrstrecke wurden 26 Eingriffe des Systems festgestellt. Diese fanden bei einer Schräglage von 1,9° im Median, also deutlich außerhalb des Einsatzbereiches des Kurven-ABS statt. Es wurde nur eine Bremsung, mit einem Eingriff des Kurven-ABS, während dem Durchfahren einer Kurve mit einem Radius von 23 m, festgestellt. Bei den anderen 25 Bremsungen wurde die Schräglagengrenze des Kurven-ABS von 20° nicht erreicht, somit erfolgte der Eingriff durch das konventionelle ABS. Die Auswertung zeigte auch, dass dreiviertel der Eingriffe am Hinterrad festgestellt wurden.

Die Messdaten der Fahrversuche im Straßenverkehr wurden hinsichtlich der ABS-Eingriffe ausgewertet. Bei der Auswertung die vorgegebenen Streckenabschnitte (Griffnerberg, Berndorf) wurden kein ABS bzw. Kurven-ABS Eingriffe festgestellt. Alle Eingriffe wurden auf den von den Probanden selbst gewählten Strecken ermittelt.

Die Eingriffe von ABS bzw. Kurven-ABS wurden mit dem Fokus auf die Schräglage und die Geschwindigkeit ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine Zuordnung nach Eingriffen am Vorderrad, Hinterrad oder hinsichtlich eines kombinierten Eingriffes an Vorder- und Hinterrad. Für diese Gruppen wurden anschließend jeweils Medianwerte berechnet.

Die Details zu den zurückgelegten Strecken und Eingriffen des Systems sind in Tabelle 4-11 zusammengefasst. Es werden die gefahrenen Kilometer der fünf Versuchspersonen, sowie die Anzahl

der ABS Eingriffe des Vorderrades, des Hinterrades, sowie Eingriffe beider Räder während der Bremsvorgänge angegeben. In Klammer werden die Anzahl an Bremsungen angegeben, bei denen es im Zuge des gleichen Bremsvorganges zu einer Betätigung der jeweils anderen Bremse gekommen ist. Die zurückgelegte Strecke variierte zwischen 20 km (Versuchsperson Nr. 105, nur Strecke Berndorf) und 512 km (Versuchsperson Nr. 103). Insgesamt wurden Messdaten von 1290 km Fahrstrecke ausgewertet. Die Auswertung Versuchsperson Nr. 101 ergab zwei Bremsungen, bei denen es zu einem Eingriff am Hinterrad gekommen ist. Während der beiden Bremsungen wurde auch die vordere Bremse betätigt, jedoch ohne Eingriff des ABS. Bei Versuchsperson Nr. 103 wurden drei Eingriffe am Vorderrad festgestellt, bei zwei Bremsungen wurde auch die hintere Bremse betätigt. Die Auswertung für Versuchsperson Nr. 104 ergab zwölf Eingriffe am Hinterrad, bei sieben davon wurde während desselben Bremsvorganges auch die vordere Bremse betätigt. Für Versuchsperson Nr. 105 konnten keine Eingriffe des ABS festgestellt werden.

Die Auswertung der Bremsungen für Schräglagen von mindestens 20° ergab, dass nur Versuchsperson Nr. 103 einen Eingriff hatte, wobei nur die vordere Bremse betätigt wurde.

Proband en Nr.	Zurückgelegte Strecke [km]	Anzahl ABS Eingriffe Vorderrad [-]	Anzahl ABS Eingriffe Hinterrad [-]	Anzahl ABS Eingriffe kombiniert [-]
101	47	0	2 (2)	0
102	473	0	5 (1)	0
103	512	3 (2)	0	0
104	238	0	12 (7)	4
105	20	0	0	0

Tabelle 4-11: Übersicht der gefahrenen Kilometer der Probanden mit freier Streckenwahl, sowie die Anzahl der ABS-Eingriffe

In Tabelle 4-12 wird die Schräglage und die Geschwindigkeit zu Modulationsbeginn, abhängig von Eingriff an Vorderrad bzw. Hinterrad, zusammengefasst. Bei kombinierten Eingriffen wurde jeweils der Wert der zuerst betätigten Bremse (drei Bremsungen des Hinterrades, eine Bremsung des Vorderrades) ausgewertet. Die beiden Eingriffe am Vorderrad erfolgten bei einer Schräglage von 0,0° und einer Geschwindigkeit von 18,4 km/h, sowie bei 8,7 km/h und 14,3 km/h. Für die Eingriffe am Hinterrad, wurde eine Schräglage im Median von 1,9°, sowie eine Geschwindigkeit von 54,8 km/h, zu Modulationsbeginn ermittelt. Der Medianwert aller 25 Bremsungen, welche ausgewertet wurden, liegt bei 1,9° für die Schräglage und bei 52,2 km/h für die Geschwindigkeit.

Eingriff	Anzahl	Schräglage [°]			Geschwindigkeit [km/h]		
		Median	Minimalwert	Maximalwert	Median	Minimalwert	Maximalwert
Nur Vorderrad	2	-	0,0	8,7	-	14,3	18,4
Nur Hinterrad	19	1,9	0,2	14,1	54,8	15,3	135,6
Kombiniert	4	1,9	0,6	2,6	45,0	25,9	111,3
Gesamt	25	1,9	-	-	52,2	-	-

Tabelle 4-12: Bremsungen mit ABS-Eingriffe der Fahrversuche im Straßenverkehr und Medianwerte der Geschwindigkeit und Schräglage zu Modulationsbeginn

Die einzige Bremsung bei den Fahrversuchen im Straßenverkehr mit einer Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS bei Schräglage von über 20° ist in Tabelle 4-12 nicht berücksichtigt. Diese Bremsung wurde gesondert ausgewertet: Während der Fahrversuche im Straßenverkehr kam es, bei der Fahrt von Versuchsperson Nr. 103, zu eines Kurven-ABS Eingriffes am Vorderrad. Beim Durchfahren einer Kurve (WG84: Lat.: 47,0394931; Lon.: 15,3510438) in Richtung Süden mit einem Radius von ca. 23 m kam im Zuge der Betätigung der vorderen Bremse zu einem Eingriff des Kurven-ABS. Die Schräglage betrug

30,1°, die Geschwindigkeit zu Modulationsbeginn des Bremsdruckes 38,5 km/h. Der Bremsdruck wurde bei 7,4 bar durch das Kurven-ABS begrenzt. Die Geschwindigkeit nach dem Eingriff des Kurven-ABS betrug 36,6 km/h. Nach dem zu Beginn der Bremsung der Bremsdruck moduliert wurde, folgte noch ein Teil ohne Modulation, in welchem sich die Geschwindigkeit auf 32,0 km/h reduzierte. Die hintere Bremse wurde während dieses Bremsvorganges nicht betätigt.

4.4 Vergleich der Ausgangswerte von Schräglage und Geschwindigkeit

Die Repräsentativität der Ausgangsbedingungen der Fahrmanöver am Testgelände wird, anhand der Schräglagen und Geschwindigkeiten, bestätigt. Dazu wurden Kurven mit ähnlichen Radien, wie bei den Fahrversuchen am Testgelände ausgewertet und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Die Medianwerte der Schräglagen der Fahrmanöver Kreis und Kuppe stimmen gut mit den durchgeführten Fahrversuchen im Straßenverkehr und den Versuchsdaten der Literatur (Hädrich, 2012) überein:

- 33,0° (Griffnerberg)
- 32,4° (Hädrich 10-35 m)
- 31,1° (Kuppe)
- 30,3° (Kreis über Schräglagengrenze)

Für den Vergleich wurden die Ausgangswerte der Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS der Fahrmanöver am Testgelände zusammengefasst. Die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis wurden in „Kreis unter Schräglagengrenze“ und „Kreis über Schräglagengrenze“ unterteilt. Die Schräglagengrenze wurde hierfür mit 20° zu Modulationsbeginn definiert.

Bild 4-35 zeigt die Boxplots der Schräglange (links) und der Geschwindigkeit (rechts) der Fahrversuche auf dem Testgelände (gelb), den Fahrversuchen in Straßenverkehr (grün) und aus der Literatur (grau). Für die Länge der Antennen aller dargestellten Boxplots wurde, aufgrund der verfügbaren Literaturdaten, das 10 % bzw. 90 % Quantil verwendet.

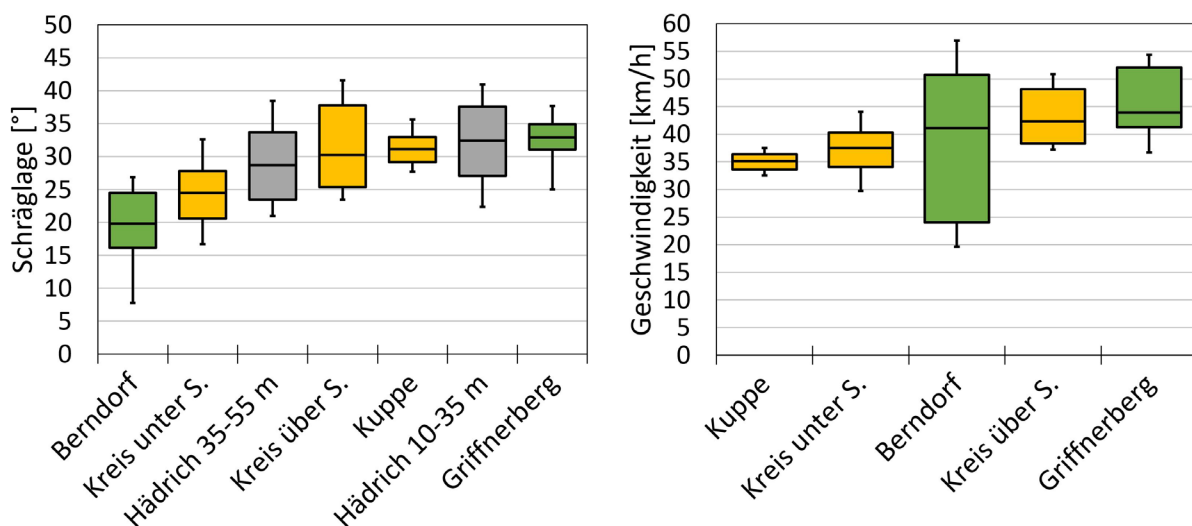


Bild 4-35: Boxplots für die Schräglage und die Geschwindigkeiten aus Literatur (Hädrich (2012), grau), Fahrversuche im Straßenverkehr (grün), und Fahrversuchen am Testgelände (gelb, Abkürzung S ... Schräglagengrenze)

Für den Vergleich der in Bild 4-35 dargestellten Schräglagen und Geschwindigkeiten wurde für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis (Radius 29 m) und des Fahrmanövers Kuppe (Radius 20 m) jeweils die den Werten eine Sekunde vor Bremsbeginn herangezogen. Dies deshalb, weil dieser Zeitpunkt noch vor dem Aufstellen des Motorrades durch die Versuchspersonen liegt. Für die erste Gruppe (Kreis unter Schräglagengrenze) ergibt sich ein Medianwert für die Schräglage von 24,5° und

ein Medianwert der Geschwindigkeit von 37,5 km/h. Für die zweite Auswertegruppe (Kreis über Schräglagengrenze) ergab sich eine Schräglage von 30,3° und eine Geschwindigkeit von 42,4 km/h. Für die Bremsungen des Fahrmanövers Kuppe ergaben sich die Medianwerte von 31,1° und 35,2 km/h.

Für die von Hädrich (2012) ermittelten Schräglagen, bei Versuchsfahrten auf der vorgegebenen Strecke im Straßenverkehr wurden keine Angaben hinsichtlich der gefahrenen Geschwindigkeit gemacht. Deshalb wurden nur die Schräglagen, entsprechend den Kurvenradien verglichen. Hädrich (2012) ermittelte eine Schräglage im Median von 32,4° für Kurvenradien im Bereich von 10 bis 35 m und einen Median von 28,7° für Kurvenradien im Bereich von 35 bis 55 m.

Die Fahrten Griffnerberg, mit Kurvenradien im Bereich zwischen 20 m und 40 m ergaben im Median eine Schräglage von 33,0°, sowie eine Geschwindigkeit von 43,9 km/h. Bei den Fahrten Berndorf (Kurvenradien 20 bis 40 m) wurde eine, vergleichsweise größere Streuung der Messwerte beobachtet. Die Medianwerte von Schräglage und Geschwindigkeit wurden mit 19,9° bzw. 41,1 km/h berechnet. Die Medianwerte und der Interquartilsabstand der Schräglagen und Geschwindigkeiten sind in Anhang A-3 in Tabelle A-3 zusammengefasst.

Bei den Fahrversuchen im Straßenverkehr wurden Kurven, mit einem Radius von 20 bis 40 m, auf den vorgegebenen Streckenabschnitten ausgewählt. Die Schräglage und die Geschwindigkeit wurden am Scheitelpunkt der Kurve (wie von Hädrich (2012)) bestimmt, um die Ergebnisse vergleichen zu können. Die unterschiedlichen Kurvenradien beider Fahrstreifen wurden vernachlässigt und es wurde keine Unterscheidung hinsichtlich der Fahrtrichtung vorgenommen. Der angegebene Kurvenradius bezieht sich jeweils auf die Fahrbahnhauptachse. Von dem vorgegebenen Streckenabschnitt Griffnerberg (vier Kurven) wurden acht Fahrten von zwei Versuchspersonen ausgewertet, jeweils vier pro Fahrtrichtung. Für die fünf Kurven des vorgegebenen Streckenabschnittes Berndorf wurden Messdaten von fünf Fahrten von drei Versuchspersonen ausgewertet.

Tabelle 4-13 zeigt die Auswertung der Schräglage und der Geschwindigkeit für die betreffenden Kurven der Strecke Griffnerberg und der Strecke Berndorf. Für den Streckenabschnitt Griffnerberg wurden Schräglagen zwischen 31,4° und 35,0° als Medianwert der acht ausgewerteten Fahrten berechnet. Die Geschwindigkeit in den Kurven betrug 42,6 bis 52,7 km/h. Bei dem Streckenabschnitt Berndorf wurden fünf Fahrten ausgewertet und es ergaben sich Medianwerte der Schräglage zwischen 15,8° und 25,8°. Für die fünf ausgewerteten Kurven, mit einem Radius zwischen 20 und 40 m, ergab sich im Median eine Geschwindigkeit von 21,9 km/h bis 58,0 km/h.

Strecke	Kurve	Radius [m]	Schräglage [°]			Geschwindigkeit [km/h]		
			Median	Minimal- wert	Maximal- wert	Median	Minimal- wert	Maximal- wert
Griffnerberg	1	30	35,0	31,3	38,9	42,1	36,6	45,8
	2	30	34,4	23,3	39,6	51,2	29,4	54,0
	3	40	31,4	19,5	34,0	52,7	33,9	60,4
	4	20	33,3	17,9	36,9	42,6	28,0	52,8
Berndorf	1	20	15,8	3,3	24,4	21,9	10,3	26,4
	2	35	18,6	4,9	21,5	40,0	18,7	45,5
	3	40	19,9	12,7	24,8	50,6	45,7	52,6
	4	35	25,8	20,8	29,9	58,0	42,2	61,1
	5	25	23,1	16,3	35,1	26,9	22,0	38,0

Tabelle 4-13: Median-, Maximal- und Minimalwerte für die Schräglage (Betrag) und die Geschwindigkeit der Fahrversuche im Straßenverkehr auf den vorgegebenen Streckenabschnitten

5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Um die Erwartungshaltung der Motorradfahrenden zum Kurven-ABS zu erheben, wurde ein multimodaler Ansatz gewählt. Anhand von Fokusgruppen und weiteren fünf Einzelinterviews wurden relevante Faktoren zur Akzeptanz und eine potenziellen Nutzung des Kurven-ABS identifiziert. Um ein breites Meinungsbild der zweiradfahrenden Bevölkerung abzubilden, wurden in einer Online-Befragung, die in den Fokusgruppen und Einzelinterviews identifizierten Faktoren, abgefragt. Die subjektive Bewertung des Kurven-ABS hat gezeigt, dass die Mehrheit der Motorradfahrer dem Kurven-ABS positiv gegenüber stand. Auch wenn die Ausstattung eines Motorrades mit Kurven-ABS nur einen kleinen Sicherheitsgewinn bedeute, so wurde von einem Großteil der Befragten, sowohl in der Online-Befragung als auch nach dem Fahrversuchen (Kapitel 4.2), das Kurven-ABS gutgeheißen.

5.1 Erwartungshaltung

Basierend auf bereits durchgeführten Fahrversuchen und Erkenntnissen aus der Literatur, unter Berücksichtigung der Sicherheit der Versuchspersonen, sowie der Anforderungen an die Versuchsdurchführung, wurde ein Versuchsablauf für Probandenversuche mit entsprechenden Fahrmanövern entwickelt. Die Fahrmanöver waren so aufgebaut, dass sie den Versuchspersonen größtmögliche Sicherheit boten, aber dennoch möglichst viele Messdaten von Vollbremsungen erhoben werden konnten.

Um eine hohe Anzahl an Bremsungen bei Schräglagen von 20° und darüber zu erreichen, wurde jeweils ein Kurvenradius mit 20 m und ein Kreisradius mit 29 m gewählt. Außerdem sollten die Fahrmanöver nicht zu komplex aufgebaut sein, um nicht von der eigentlichen Fahraufgabe (Vollbremsung) abzulenken. Die psychische und physische Anstrengung, vor allem aufgrund der hohen Anzahl an Vollbremsungen während der Kurvenfahrt, wurde einerseits durch den Aufbau der Fahrmanöver und andererseits durch die Dauer der Fahrversuche begrenzt.

Der Versuchsablauf der Fahrversuche bestand aus mehreren Fahrmanövern:

- Einfahren
- Fahrmanöver Kreis 30 km/h mit Steigerung der Geschwindigkeit in 5 km/h Schritten
- Fahrmanöver Kuppe 40 km/h
- Fahrmanöver Kreis 40 km/h

Diese Fahrmanöver wurden von den Versuchspersonen, mit Ausnahme des Einfahrens, jeweils mit ABS und mit Kurven-ABS durchgeführt. Für das Fahrmanöver Kreis war die Fahrlinie durch einen Kreis mit 29 m Radius in Form einer Bodenmarkierung vorgegeben.

Die Ausgangswerte von Schräglage und Geschwindigkeit der Fahrversuche auf dem Testgelände (vor Bremsbeginn) wurden vergleichbaren Kurvenradien der durchgeführten Fahrten im Straßenverkehr und Versuchsfahrten aus der Literatur gegenübergestellt. Es ergab sich eine repräsentative Übereinstimmung der Ausgangswerte hinsichtlich des Aufbaues der entwickelten Fahrmanöver am Testgelände.

Die Erwartungshaltung der Probanden gegenüber ABS und Kurven-ABS wurden, sowohl vor als auch nach den Fahrversuchen, anhand von Fragebögen erhoben. Die Fragen beinhalteten die ersten Eindrücke der Probanden, unmittelbar nach den Vollbremsungen mit ABS und Kurven ABS, als auch spezifische und detaillierte Fragen nach Kurven-ABS Eingriffen.

Der Fokus des Fragebogens vor den Fahrversuchen lag dabei auf soziodemografische Daten der Fahrenden. Beim Nachherfragebogen wurden die Versuchspersonen auch gezielt zu den Eindrücken zum Kurven-ABS befragt.

Vor der Versuchsdurchführung waren 89 % der Meinung, die Spur mit Kurven-ABS leichter halten zu können. Beim Nachherfragebogen gab dies ein signifikant kleinerer Anteil von 70 % an. Im Weiteren erhöhte sich der Anteil an Nennungen eines längeren Bremsweges von 6 % auf 19 %. Fast 80 % der Probanden gaben an, sie würden sich ein Motorrad mit Kurven-ABS kaufen (unabhängig vom Preis)

und fast 85 % würden das Kurven-ABS auch weiterempfehlen. Für 60 % der Versuchspersonen wurden die Erwartungen an das System erfüllt.

Um den Einfluss des Kurven-ABS zu bewerten wurden Hypothesen aufgestellt und hinsichtlich ihrer Signifikanz ausgewertet. Im Folgenden werden die aufgestellten Hypothesen für die Bremsungen mit Kurven-ABS (n=88) und ABS (n=59) mit Modulationsbeginn über der definierten Schräglagengrenze von 20° (Wirkbeginn für Kurven-ABS) zusammengefasst.

Die Hypothese „Aufgrund des gesteigerten Vertrauens in das Kurven-ABS, ist die Schräglagenreduktion der Motorradführenden vor Bremsbeginn geringer“ wurde abgelehnt. Die Verringerung der Schräglage im Zeitintervall eine Sekunde vor Bremsbeginn bis Bremsbeginn wurde im Median für Kurven-ABS mit 2,6° und für ABS mit 2,7° festgestellt ($p=0,788$).

Die Hypothese „Die Motorradführenden betätigen durch das Kurven-ABS die Vorderradbremse stärker“ wurde abgelehnt.

Die Versuchspersonen betätigten die Vorderradbremse, bei Bremsungen mit Kurven-ABS nicht signifikant stärker, als bei Bremsungen mit ABS ($p=0,880$).

Die Hypothese „Kurven-ABS reduziert die Aufstelltenz des Motorrades“ wurde beibehalten.

Der Maximalwert der Rollrate, während des Bremsvorganges, war bei den Bremsungen mit Kurven-ABS signifikant geringer ($p<0,001$).

Die Hypothese "Kurven-ABS ermöglicht es dem vorgegebenen Kurvenradius besser zu folgen" wurde abgelehnt.

Bei der Änderung des Abstandes zum Kreismittelpunkt, gemessen zwischen Bremsbeginn und Bremsende, wurde kein signifikanter Unterschied zwischen ABS und Kurven-ABS festgestellt ($p=0,946$).

Die Hypothese „Die Länge des Bremsweges wird durch Kurven-ABS verkürzt“ wurde abgelehnt.

Es wurde kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Längen des Bremsweges mit ABS bzw. Kurven-ABS festgestellt ($p=0,095$).

Während der wiederholten Durchführung der Bremsungen, innerhalb eines Fahrmanövers (Kreis, Kuppe und gerade Bremsungen), wurde ein eindeutiger Lerneffekt hinsichtlich einer stärkeren Betätigung des Bremshebels der Vorderradbremse, durch die Versuchspersonen festgestellt. Dieser Lerneffekt ergab sich jedoch nur innerhalb des jeweiligen Fahrmanövers, bei wiederholten Bremsungen des gleichen Fahrmanövers. Wurde das Fahrmanöver gewechselt (z.B. Kreis auf Kuppe oder Kuppe auf Kreis) konnte der Lerneffekt nicht übernommen werden und die Lernkurve wurde wieder von Neuem begonnen.

Hinsichtlich der Schräglagenreduktion vor Bremsbeginn (Aufstellen des Motorrades durch die Probanden) konnte kein Lerneffekt, über den Versuchsdurchgang, erkannt werden. Es wurde jedoch ein Unterschied, zwischen den Fahrmanövern Kreis und dem Fahrmanöver Kuppe, festgestellt.

Um eine Einschätzung darüber zu erhalten, ob bei mehrfachem Absolvieren der Versuchsdurchgänge (Mehrfachfahrten), ein Trainingseffekt, hinsichtlich Kurvenbremsungen zu erwarten ist, haben sechs Probanden den Versuchsdurchgang zumindest ein weiteres Mal durchlaufen. Auf Basis dieser, insgesamt dreizehn wiederholten Versuchsdurchgänge, konnte kein eindeutiger Trend, wie ein Lern- oder Trainingseffekt bezüglich der Schräglagenreduktion vor Bremsbeginn, der Schräglage zu Modulationsbeginn oder der Stärke der Betätigung der vorderen Bremse, festgestellt werden.

Im Rahmen der Fahrversuche im Straßenverkehr wurden mit dem Versuchsmotorrad insgesamt 1290 km zurückgelegt. Nur bei einer Bremsung konnte ein Eingriff des Kurven-ABS, über der Schräglagengrenze von 20° detektiert werden. Die Schräglage zu Modulationsbeginn lag bei dieser Bremsung bei 30,1°.

Die Probanden konnten das Motorrad, in der zur Verfügung gestellten Zeit grundsätzlich frei nutzen. Sie wurden jedoch angewiesen, zumindest einmal eine der vordefinierten Streckenabschnitte, in beide Fahrtrichtungen, zu befahren. Auf diesen vordefinierten Streckenabschnitten wurden Kurven, mit vergleichbaren Radien (20 bis 40 m) zu denen der Fahrversuche am Testgelände, ausgewählt. Anhand dieser Kurven wurden Schräglage und Geschwindigkeit im Scheitelpunkt ausgewertet und den Messdaten der Fahrversuche sowie den vorhandenen Messdaten aus der Literatur gegenübergestellt. Der Vergleich der gefahrenen Schräglagen und Geschwindigkeiten im Scheitelpunkt der Kurve, abhängig vom jeweiligen Radius der Kurve hat eine Repräsentativität der entwickelten Fahrmanöver ergeben.

5.2 Einschränkungen

Die durchgeführten Fahrversuche unterliegen Einschränkungen, welche im Folgenden diskutiert werden.

Die Versuchspersonen konnten zu jedem Zeitpunkt, anhand der Stellung des Kippschalters an der Lenkerstange erkennen, ob das Kurven-ABS oder das ABS aktiviert war. Die Kenntnis darüber, ob das Fahrmanöver mit ABS oder mit Kurven-ABS gefahren wurde, könnte die Probanden dahingehend beeinflusst haben, dass diese aufgrund eines unterschiedlichen Vertrauens in das System eine abweichende Bremsbetätigung gewählt haben. Die Versuchspersonen wurden in Gruppen unterteilt und die Reihenfolge ob der erste Teil der Bremsungen mit ABS oder Kurven-ABS durchgeführt wurde vertauscht. Gleichzeitig wurde hierdurch eine realitätsnahe Situation abgebildet, da angenommen wird, dass ein Großteil Personen, welche ein Motorrad kaufen, auch Bescheid wissen ob dieses über ein Kurven-ABS verfügt oder nicht. In dieser Studie wurde ein hohes subjektives Vertrauen (Online Umfrage, Probandenbefragung) in das Kurven-ABS festgetellt. Das Abbilden eines möglicherweise veränderten Bremsverhaltens der Versuchspersonen aufgrund des Kurven-ABS, war auch Teil dieser Studie. Nur wenn die Versuchspersonen auch darüber Bescheid wissen, ob sie die Bremsungen mit ABS oder Kurven-ABS durchführten, kann auch der Einfluss dieser Kenntnis auf die fahrdynamischen Daten bei Kurvenbremsungen miterhoben werden.

Die Effekte, welche auf der kurvenadaptiven Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS beruhen, sind nicht vollständig von dem Effekt resultierend aus einem möglicherweise veränderten Bremsverhaltens der Probanden zu trennen. Es konnte gezeigt werden, dass sich vor Bremsbeginn Unterschiede zwischen den Schalterstellungen ABS und Kurven-ABS ergaben. Insbesondere nach Bremsbeginn kam es jedoch zu einer Überlagerung der Einflüsse, resultierend aus der Bremsdruckmodulation und der Einflüsse des Fahrverhaltens der Probanden. Aufgrund der Vielzahl von möglichen einflussnehmenden Parametern (z.B. Bremsbetätigung, Aufstellen des Motorrads, Wahl der Fahrlinie, Lenkwinkel, Bremsverteilung zwischen vorn und hinten) konnten die resultierenden Effekte nicht eindeutig voneinander getrennt werden.

Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen ist eine Vergleichbarkeit der gefahrenen Geschwindigkeiten und Schräglagen, bei entsprechenden den Radien, zwischen den Fahrten im Straßenverkehr und den Fahrversuchen am Testgelände gegeben. Die Auswertung der Bremsungen, ergab eine höhere Reduktion der Schräglage beim Fahrmanöver Kuppe im Vergleich zu den Bremsungen des Fahrmanövers Kreis. Dies resultiert auch daraus, dass die Versuchspersonen die Fahrlinie innerhalb des markierten Fahrstreifens frei wählen konnten. Damit konnte auch eine Tendenz gezeigt werden, dass Fahrversuche am Testgelände (besonders mit umfangreich vorgegebenen und definierten Randbedingungen wie z. B. der Bodenmarkierung – Fahrmanöver Kreis), nicht direkt auf Bremsungen im Straßenverkehr übertragen werden können. Die durchgeführten Versuche von Präckel (1996) zeigen ebenfalls, dass eine Übertragbarkeit der, auf einem Testgelände gefahrenen

Schräglagen, auf reale Gefahrensituation im Straßenverkehr, nicht direkt zulässig ist. Dies wird vor allem damit begründet, dass die Aufmerksamkeit bei Fahrmanövern auf einem Testgelände auf die Fahraufgabe selbst gelegt wird. Im Straßenverkehr erfolgt eine Verteilung der Aufmerksamkeit zusätzlich auch auf die Straßeninfrastruktur, die anderen Verkehrsteilnehmer und insbesondere den Gegenverkehr.

Eine direkte Übertragung des Fahrverhaltens oder von Lerneffekten während Fahrtrainings, auf das Verhalten der Teilnehmenden im Straßenverkehr, ist deshalb nicht möglich. Kerwien (1999) hielt bei Teilnehmenden eines Motorrad-Sicherheitstrainings eine gesteigerte Risikobereitschaft, gesteigerte Kompetenzüberzeugung und gesteigerte Leistungsmotivation kurz nach der Durchführung des Trainings fest. Längerfristige Auswirkungen des durchgeführten Sicherheitstrainings konnten jedoch nicht festgestellt werden. Auch Elliot et al. (2003) zeigten, dass eine Übertragung der im Training erlernten Fähigkeiten auf reale Gefahrensituationen nicht eindeutig identifiziert werden konnten. Somit unterliegen auch die durchgeführten Fahrversuche am Testgelände, selbst, wenn das Fahrmanöver Kuppe hinsichtlich der bautechnischen Gegebenheiten, der Leitschiene, der Fahrsteifenmarkierung, der Längsneigung, usw. mit den Fahrten im Straßenverkehr verglichen werden kann, der Einschränkung, dass sich keine anderen Verkehrsteilnehmenden im näheren Umfeld der Probanden befunden haben. Dementsprechend konnten sich die Versuchspersonen aber auf die zu absolvierenden Vollbremsung und die Bremsmarkierung konzentrieren und wurden nicht durch andere Faktoren abgelenkt.

Die notwendigen Ressourcen der Motorradfahrenden für die Wahrnehmung und Berücksichtigung der Verkehrsinfrastruktur, des Gegenverkehrs, anderen Verkehrsteilnehmern, etc. im Straßenverkehr, gehen zu Lasten der freien Kapazitäten für die Umsetzung einer Vollbremsung. Bei einer Vollbremsung im Straßenverkehr haben die Motorradfahrenden im Allgemeinen keine Möglichkeit sich entsprechend psychisch und physisch auf die Bremsung vorzubereiten, wie es bei den Fahrversuchen am Testgelände der Fall war.

Zudem ist, unter Bedachtnahme auf die Sicherheit der Versuchspersonen, die Durchführbarkeit von Schreckbremsungen kritisch. Im Sinne eines Ereignisses, welches die Probanden überrascht (z. B. Objekte in Richtung oder in die Fahrlinie werfen), wird aus Sicht der Autoren als ethisch nicht vertretbar und somit mit Freiwilligenversuchen auf einem handelsüblichen Motorrad als nicht durchführbar eingestuft. Eine direkte Übertragung der Ergebnisse der instruierten und durch Bremsmarkierungen vorgegebenen Vollbremsungen, auf kritische Situationen und Schreckbremsungen im Straßenverkehr ist deshalb nur bedingt zulässig.

5.3 Diskussion

Bei den Kurvenbremsungen der Fahrversuche am Testgelände wurde festgestellt, dass sich bei Schräglagen ab 20° und darüber zu Beginn der Bremsdruckmodulation, Unterschiede zwischen Kurven-ABS und konventionellen ABS ergeben

Der in der Literatur (Lich et al., 2015; Matschl et al., 2016) beschriebene Wert der Schräglage von 20°, ab dem das Kurven-ABS zum Einsatz kommt, konnte damit anhand der Messdaten der Fahrversuche am Testgelände bestätigt werden.

Die Ergebnisse der durchgeführten Fahrversuche stimmen ebenfalls mit Teilen der Ergebnisse der Fahrversuche von Schneider (2014) überein: Es wurde eine Verlängerung des Bremsweges durch die kurvenadaptive Bremsdruckmodulation des Kurven-ABS festgestellt, eine reduzierte Aufstelltenz und eine verringerte Bremsverzögerung des Motorrades mit Kurven-ABS im Vergleich zum ABS.

Laut Schneider (2014) beschränkt das Kurven-ABS den Geschwindigkeitseinbruch und minimiert dadurch die Gefahr eines möglichen Wegrutschens des Vorderrades, bei besonders ruckhafter und starker Betätigung der Vorderradbremse. Bei den durchgeführten Fahrversuchen wurde ebenfalls ein reduzierter Einbruch der Vorderradgeschwindigkeit mit Kurven-ABS festgestellt.

Möller-Töllner (2015) zeigte anhand von Bremsungen mit Schräglagen von 20° einen längeren Bremsweg für das Kurven-ABS. Bei Schräglagen über 30° hingegen verkürzte sich der Bremsweg durch das Kurven-ABS. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie, auf Basis der durchgeführten Fahrversuche, konnte diese Veränderung der Länge des Bremsweges nicht feststellen. Aufgrund des langsameren Bremsdruckanstieges des Kurven-ABS, dies aber bei vergleichbarer Bremsbetätigung (welche wiederum stark probandenabhängig ist) wurde kein kürzerer Bremsweg für Kurven-ABS im Vergleich zum ABS festgestellt. Eine Erklärung hierfür ist die kurze Bremsdauer, die sich aus den geringen Ausgangsgeschwindigkeiten bei der Bremsung ergibt; höhere Ausgangsgeschwindigkeiten wären für Probanden aber nicht mehr unkritisch zu fahren gewesen.

6 FAZIT

Im Folgenden werden die, der Studie zu Grunde liegenden, Forschungsfragen beantwortet.

Die erste Forschungsfrage „Welche fahrdynamischen Unterschiede können bei Motorradfahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung durch Kurven-ABS festgestellt werden?“ kann auf Basis der Messdaten der durchgeführten Kurvenbremsungen wie folgt beantwortet werden:

- Die Schräglage wurde innerhalb einer Sekunde vor Bremsbeginn von den Versuchspersonen um 2° bis 4° verringert. Mit Kurven-ABS wurde ein signifikant geringeres Aufstellen des Motorrads durch die Versuchspersonen vor Bremsbeginn festgestellt.
- Bei der Stärke der Bremsbetätigung ließ sich kein Unterschied erkennen.
- Die Aufstellendenz (Maximalwert der Rollrate) während der Bremsung war durch das Kurven-ABS verringert. Dem vorgegebenen Kreisradius (Bodenmarkierung) konnten die Probanden aber dadurch nicht besser folgen.
- Die Länge des Bremsweges war aufgrund des Kurven-ABS nicht signifikant kürzer und die Bremsverzögerung mit Kurven-ABS war signifikant niedriger im Vergleich zum ABS.

Die zweite Forschungsfrage „Können probandenspezifische Unterschiede festgestellt werden, welche den Einsatzbereich des Kurven-ABS beeinflussen?“ kann durch die Auswertung der durchgeführten Fahrversuche wie folgt beantwortet werden:

- Aufgrund des Bremsverhaltens wurde bei einem Großteil der Kurvenbremsungen das Kurven-ABS nicht genutzt: Ganz überwiegend war bei Eintreten der Aktivität des Kurven-ABS (Modulation aufgrund zu hoher Bremskraft am Vorderrad) beziehungsweise des ABS (Verhinderung einer Radblockade) die Schräglage schon deutlich unter den Schwellwert von 20° reduziert. Eine Sekunde vor Bremsbeginn bei 98 % (Manöver Kuppe) und 82 % (Manöver Kreisfahrt) der Bremsungen wurde eine Schräglage von 20° und darüber festgestellt. Zu Beginn der Bremsdruckmodulation wurde aber nur bei 17 % (Kuppe) und 19 % (Kreis) der Bremsungen ein Eingriff des Kurven-ABS bei mindestens 20° Schräglage beobachtet.
- Nur 17 von 55 Versuchspersonen (31 %) führten zumindest eine Bremsung mit Kurven-ABS und mit ABS bei einer Schräglage von mindestens 20° zu Modulationsbeginn durch. Damit hätten auch nur diese Probanden eine subjektive Bewertung des Unterschiedes zwischen ABS und Kurven-ABS durchführen können. Nur vier Probanden konnten zu Modulationsbeginn bei über 50 % der Bremsungen eine Schräglage von mindestens 20° und darüber erreichen.
- Es wurde kein Trend zu Lerneffekten bei Versuchspersonen, welche den Versuchsdurchgang mehrmals absolvierten, beobachtet. Etwa bei der Hälfte der Probanden wurde eine positive Lernkurve, bei der anderen Hälfte eine negative Lernkurve zwischen dem ersten und zweiten Versuchsdurchgang beobachtet. von den Probanden wurden bei jedem Versuchsdurchgang ca. 20 Vollbremsungen während der Kurvenfahrt durchgeführt.
- Darüber hinaus wurde eine personenabhängige Bremshebelbetätigung (maximaler Druck an der Vorderradbremse) festgestellt. Jede Versuchsperson besitzt einen individuellen Bereich der maximalen Bremsbetätigung.

Die dritte Forschungsfrage „Wie ist das Meinungsbild der motorradfahrenden Bevölkerung zu Kurven-ABS und ändert sich die Meinung der Motorradfahrer durch die gezielte Durchführung von Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS?“ kann anhand der Ergebnisse der Online-Umfrage und der Befragung der Versuchspersonen wie folgt beantwortet werden:

- Es wurde ein hohes Vertrauen der befragten Personen (n=492) in Kurven-ABS angegeben. 92% waren der Meinung, dass es dazu beitragen kann Motorradunfälle zu verhindern. 75 % würden dem System vertrauen. Die Befragten Personen mussten selbst kein Motorrad mit Kurven-ABS besitzen oder bereits Vollbremsungen mit Kurven-ABS durchgeführt haben.
- Obwohl die Zustimmung, die Spur besser halten zu können, nach der Versuchsdurchführung, signifikant niedriger war und die Nennungen eines längeren Bremsweges zunahmen, wurden die Erwartungen der Versuchspersonen an das Kurven-ABS größtenteils erfüllt.
- Bei der Probandenbefragung stand die Mehrheit dem Kurven-ABS positiv gegenüber, es wird von den Versuchspersonen angenommen, dass das Kurven-ABS Potenzial besitzt, die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein personenabhängiges Fahrverhalten einen großen Einfluss auf die Wirkung des Kurven-ABS hat und bei der Interpretation der Ergebnisse besonders berücksichtigt werden muss, insbesondere hinsichtlich des Bremsverhaltens und des Aufstellens des Motorrades vor der Bremsung. Eine Anpassung des Fahrverhaltens an die Möglichkeiten des Kurven-ABS konnte im kurzen, den Probanden zur Verfügung stehenden Zeitraum nicht festgestellt werden. Daher konnte auf Basis der durchgeführten Fahrversuche kein wesentlicher Vorteil des Kurven-ABS gegenüber dem ABS bei Kurvenbremsungen festgestellt werden.

Für eine Bewertung des Potenzials von Kurven-ABS zur Erhöhung der Verkehrssicherheit – unter Anpassung der Fahrstrategie der Fahrer an die Eigenschaften von Kurven-ABS – sind sicherlich Lerneffekte in einem deutlich längeren Zeitraum zu betrachten. Denkbar wäre, hierfür in einer vergleichbaren Studie Fahrer mit ausgeprägter Erfahrung der jeweiligen ABS-Systeme bei Bremsungen zu beobachten und deren Verhalten zu vergleichen. Dies war in der vorliegenden Studie aufgrund des noch geringen Anteils von Kurven-ABS im Fahrzeugbestand noch nicht möglich.

7 LITERATUR

- Ajzen, I., 1991. The Theory of Planned Behaviour. *Organizational Behaviour and Human Decision Process* 50, pp. 179-211.
- Arndt, S., Engeln, A., Vratil, B., 2008. Prädiktoren der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen. : Schade J., Engeln A. (eds) *Fortschritte der Verkehrspsychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, S 317.
- Baldanzini, N., Huertas-Leyva, P., Savino, G., Pierini, M., 2016. Rider Behavioral Patterns in Braking Manoeuvres. *Transportation Research Procedia* 14, 4374–4383.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.359>.
- datamc, 2021. Tire Rolling Radius and Correcting Wheel Speeds. dataMC - data for motorcycles.
- Davis, F., 1985. A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems - theory and results. PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology.
- Davis, F., Venkatesh, V., 2000. A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science* 46(2), 186–204.
- Der Spiegel, 1988. Verzögerte Panik - Für schwere Motorräder produziert BMW ab sofort ein Anti-Blockier-System (ABS). Es soll bei gefährlichen Vollbremsungen den Kopf retten.
<https://www.spiegel.de/kultur/verzoegerte-panik-a-3b20c6a0-0002-0001-0000-000013529279?> (accessed 4 May 2021).
- Elliot, M.A., Baughan, C.J., Broughton, J., Chinn, B., Grayson, G.B., Knowles, J., Smith, L.R., Simpson, H., 2003. Motorcycle safety: a scoping study. Prepared for Road Safety Division, Department for Transport. TRL Report.
- EU 168/2013, 2013. VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Januar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168> (accessed 4 May 2021).
- Froschauer, U., Lueger, M., 2003. *Das qualitative Interview: Zur Praxis interpretativer Analyse sozialer Systeme*, 1st ed.
- Funke, J., 2006. Belastung und Beanspruchung von Motorradfahrern bei der Bremsung mit verschiedenen Bremssystemen. Dissertation Technische Universität Darmstadt.
- Funke, J., Breuer, B., Landau, K., 2001. Rider / Motorcycle Interaction – a Human Approach to Motorcycle Safety. MOTORCYCLE SAFETY FOUNDATION.
- Gasbarro, L., Beghi, A., Frezza, R., Nori, F., Spagnol, C., 2004. Motorcycle Trajectory Reconstruction by Integration of Vision and MEMS Accelerometers. 2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC).
- Hädrich, C., 2012. Messung der Schräglage von Motorrädern bei Kurvendurchfahrt. Diplomarbeit RWTH Aachen.
- Kerwien, H., 1999. Zur Wirkungsweise mehrtaegiger Rennstreckentrainings fuer Motorradfahrer. 37. BDP-KONGRESS FUER VERKEHRSPSYCHOLOGIE.
- Kerwien, H., 2002. Ein Kompetenz-Belastungsmodell des Fahrverhaltens: Implikation für die Wirkung von Verkehrssicherheitstrainings. Tagungsband der 4. Internationalen Motorradkonferenz 2002.
- Kerwien, H., Ruhdorfer, H., 2000. Subjektive Sicherheit bei Rennstreckentrainings für Motorradfahrer. Tagungsband der 3. Internationalen Motorradkonferenz 2000.
- KTM, 2019. Bedienungsanleitung 790 Duke. https://www.ktm.com/ktmgroup-storage/19_3213925_de_OM.pdf (accessed 26 November 2019).
- Lich, T., Block, W., Prashanth, S., Heiler, B., 2015. Motorcycle Stability Control - The Next Generation of Motorcycle Safety and Riding Dynamics. *SAE Int. J. Engines* 9(1):2016.
- Lucci, C., Huertas-Leyva, P., Marra, M., Pierini, M., Savino, G., Baldanzini, N., 2020. Autonomous Emergency Braking system for Powered-Two-Wheelers: testing end-user acceptability of unexpected automated braking events deployed in typical pre-crash trajectories. IFZ 2020.

- Lucci, C., Marra, M., Huertas-Leyva, P., Baldanzini, N., Savino, G., 2021. Investigating the feasibility of motorcycle autonomous emergency braking (MAEB): Design criteria for new experiments to field test automatic braking. *MethodsX* 8, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101225>.
- Matschl, G., Mörbe, M., Gröger, C., 2016. Motorcycle Stability Control - MSC, The next step into safety solutions for motorcycles. Institut für Zweiradsicherheit e.V. Proceedings of the 10th International Motorcycle Conference 2014.
- Möller-Töllner, J., 2015. Vergleich Motorräder mit Kurven-ABS - Kurvenschreck. *Motorradonline.de*.
- Nielsen, J., 1993. Usability Engineering. San Diego, CA: Academic Press, Inc.
- ÖAMTC, 2021. Zentrum Lang/Lebring. <https://www.oeamtc.at/fahrtechnik/fahrtechnik-zentren/zentrum-lang-lebring-11004385> (accessed 4 May 2021).
- OxTS, 2017. RT3000v2 - GNSS/INS for high dynamic vehicle testing. <https://www.oxts.com/app/uploads/2017/07/RT3000-brochure-170606.pdf> (accessed 30 April 2021).
- OxTS, 2018. Timing with RT systems. <https://support.oxts.com/hc/en-us/articles/115005029989-Timing-with-RT-systems> (accessed 30 April 2021).
- Pöppel-Decker, M., 2021. Zum Unfallgeschehen von Motorrädern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Präckel, J., 1996. Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe F: Fahrzeugtechnik (18).
- Rizzi, M., Strandroth, J., Kullgren, A., Tingvall, C., Fildes, B., 2015. Effectiveness of motorcycle antilock braking systems (ABS) in reducing crashes, the first cross-national study. *Traffic Inj Prev* 16, 177–183. <https://doi.org/10.1080/15389588.2014.927575>.
- Schade, J., Schlag, B., 2003. Acceptability of urban transport pricing strategies, Transportation Research Part F. Traffic Psychology and Behaviour.
- Schneider, R., 2014. Schräglagentaugliches ABS. *Motorradonline.de*.
- Schröter, K., Pleß, R., Seiniger, P., 2015. Fahrdynamikregelsysteme für Motorräder, in: Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., Singer, C. (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*, 3rd ed. Springer Vieweg, Wiesbaden, pp. 767–794.
- Schröter, K., Wallisch, M., Weidele, A., Winner, H., 2013. Bremslenkmomentoptimierte Kurvenbremsung von Motorrädern. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* 115.
- Seiniger, P.A., 2009. Erkennbarkeit und Vermeidbarkeit von ungebremsten Motorrad-Kurvenunfällen. Dissertation Technische Universität Darmstadt.
- Smaiah, S., Sadoun, R., Elouardi, A., Larnaudie, B., Bouaziz, S., Boubezoul, A., Vincke, B., Espié, S., 2018. A Practical Approach for High Precision Reconstruction of a Motorcycle Trajectory Using a Low-Cost Multi-Sensor System. *Sensors (Basel, Switzerland)* 18. <https://doi.org/10.3390/s18072282>.
- Staffetius, T., Beitelschmidt, M., 2017. Investigations on the behaviour of motor cyclists with different driving experience on test-areas and in real road traffic. *ifz Forschungsheft* 17.
- Stoffregen, J., 2018. Motorradtechnik: Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-07446-3>.
- Teoh, E.R., 2013. Effects of Antilock Braking Systems on Motorcycle Fatal Crash Rates: An Update. Insurance Institute for Highway Safety. <https://static1.squarespace.com/static/57394f537da24fc27bc554bf/t/5e8e4449b00769484b2ff1e0/1586381897877/mf2042.pdf> (accessed 30 April 2021).

8 TABELLEN

Tabelle 1-1: Bewertung von ABS und Kurven-ABS bei Bremsungen auf trockenem Asphalt mit ABS und Kurven-ABS nach Lich et al. (2015) und Matschl et al. (2016)

Tabelle 3-1: Theoretische Schräglage eines Motorrads bei Kurvendurchfahrt (R ... Kurvenradius, v ... Geschwindigkeit)

Tabelle 3-2: Übersicht von Veröffentlichungen mit Fahrversuchen bei vorgegebenen Kreisradien auf Testgeländen (* Fahrversuche wurden von einem professioneller Testfahrer durchgeführt)

Tabelle 3-3: Fahrleistung der Probanden im letzten Kalenderjahr

Tabelle 3-4: Median der Schräglage bei unterschiedlichen Kurvenkategorien (Hädrich, 2012)

Tabelle 3-5: Details der Probanden der Fahrversuche im Straßenverkehr

Tabelle 3-6: Spezifizierte Genauigkeit (OxTS, 2017) und erreichte Genauigkeit (Mittelwert) bei den Fahrversuchen am Testgelände (Abkürzung: SD ... Standardabweichung)

Tabelle 4-1: Kriterien der automatischen Detektion der Bremsungen den Fahrmanövern entsprechend

Tabelle 4-2: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn für das Fahrmanöver Kreis (T Zweistichproben T-Test, U Mann-Whitney U-Test)

Tabelle 4-3: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn für die Auswertegruppe unter Schräglagengrenze (T Zweistichproben T-Test, U Mann-Whitney U-Test)

Tabelle 4-4: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn für die Auswertegruppe über Schräglagengrenze (T Zweistichproben T-Test, U Mann-Whitney U-Test)

Tabelle 4-5: Hypothesen zum Vergleich von konventionellen ABS und Kurven-ABS

Tabelle 4-6: Kennwerte der Hypothesen für Bremsungen unter Schräglagengrenze (T Zweistichproben T-Test, U Mann-Whitney U-Test)

Tabelle 4-7: Kennwerte der Hypothesen für Bremsungen über Schräglagengrenze (T Zweistichproben T-Test, U Mann-Whitney U-Test)

Tabelle 4-8: Prozentuelle Veränderung der Medianwerte zwischen ersten und zweiter Versuchsdurchgang (Veränderungen unter 5 % wurden als gering bewertet und nicht farblich markiert)

Tabelle 4-9: Spontane Eindrücke nach der Testfahrt (* Zahlen in Klammer = Anzahl der Nennungen)

Tabelle 4-10: Bewertung Testaufgaben Kreisfahrt in Bezug auf die Durchführbarkeit

Tabelle 4-11: Übersicht der gefahrenen Kilometer der Probanden mit freier Streckenwahl, sowie die Anzahl der ABS-Eingriffe

Tabelle 4-12: Bremsungen mit ABS-Eingriffe der Fahrversuche im Straßenverkehr und Medianwerte der Geschwindigkeit und Schräglage zu Modulationsbeginn

Tabelle 4-13: Median-, Maximal- und Minimalwerte für die Schräglage (Betrag) und die Geschwindigkeit der Fahrversuche im Straßenverkehr auf den vorgegebenen Streckenabschnitten

9 BILDER

Bild 1-1: Radaufstandspunkt mit angreifenden Kräften am unendlich schmalen Reifen (links) und am real breiten Reifen (rechts) (ähnliche Abbildungen in: Funke (2006); Seiniger (2009); Schröter et al. (2013); Schröter et al. (2015); Stoffregen (2018))

Bild 1-2: Der Angriffspunkt der Bremskraft und Seitenkraft ist um den Lenkrollradius (LRR) von der Symmetrieebene des Motorrades verschoben (ähnliche Abbildungen in: Funke (2006); Seiniger (2009); Schröter et al. (2015))

Bild 2-1: Modell der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen (eigene Darstellung nach Arndt et al., 2008)

Bild 2-2: Bewertungskriterien (eigene Darstellung)

Bild 2-3: Aktive Fahrerfahrung der Befragten (n=492)

Bild 2-4: Fahrmotive (n=492)

Bild 2-5: Gefahrenquellen beim Motorradfahren (n=492)

Bild 2-6: Beitrag Assistenzsysteme zur Sicherheit (n= 473)

Bild 2-7: Bewertung von Aussagen zu Assistenzsystemen

Bild 2-8: Erfahrungen Kurven-ABS

Bild 2-9: Aussagenbewertung Kurven-ABS

Bild 2-10: Bewertung von Aussagen durch Kurven-ABS Erfahrene

Bild 2-11: Herausforderungen Kurven-ABS – Bewertung von Aussagen (n=480)

Bild 2-12: Auswirkungen des Kurven-ABS (n=492)

Bild 2-13: Einstellung Kurven-ABS zur verpflichtenden Einführung und zu einer Einschulung

Bild 3-1: Übersichtsdarstellung ÖAMTC Fahrtechnikzentrum Lang/Lebring

Bild 3-2: Versuchsablauf mit Abfolge der Fahrmanöver

Bild 3-3: Motorradfahrerfahrung der Probanden (n=56)

Bild 3-4: Übersichtsdarstellung Streckenabschnitt Griffnerberg (links) und Berndorf (rechts)

Bild 3-5: Versuchsmotorrad (KTM 790 Duke) mit Messaufbau: Trägheitsnavigationssystem am Soziussitz und WLAN Antenne über der Kennzeichenhalterung

Bild 3-6: Skizze des Motorrades mit Koordinatensystem im Schwerpunkt und Auswertepunkt der Trajektorie (Darstellung in Anlehnung an Gasbarro et al. (2004))

Bild 3-7: Abweichung der Vorderradgeschwindigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit aufgrund des schräglagenabhängigen Reifenabrollradius

Bild 4-1: Anzahl der Bremsungen, unterteilt nach Fahrmanöver und Schalterstellung Kurven-ABS und Schalterstellung ABS, sowie Bremsungen ohne Eingriff der Erstfahrten (links) und Mehrfachfahrten (rechts)

Bild 4-2: Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn (-1 s), zu Bremsbeginn (0 s) und zu Modulationsbeginn (M.b.) mit ABS und Kurven-ABS für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis (links) und Kuppe (rechts)

Bild 4-3: Schräglage und Geschwindigkeit im Zeitintervall von 5 Sekunden vor bis eine Sekunde nach Bremsbeginn für das Fahrmanöver Kreis (oben) und Kuppe (unten), durchgezogene Linie: Median, gestrichelte Linien: 25 % und 75 % Quartil

Bild 4-4: Beispielbremsung mit Schalterstellung Kurven-ABS des Fahrmanövers Kuppe

Bild 4-5: Anzahl der Bremsungen nach Fahrmanöver und Unterteilung hinsichtlich der Schräglage, sowie Bremsungen ohne Eingriff

Bild 4-6: Detailansicht: Anstieg des modulierten Bremsdruckes und Verlauf der Bremsverzögerung mit ABS und Kurven-ABS bei ähnlichen Bremsungen (M.b. ... Modulationsbeginn)

Bild 4-7: Einfluss des Kurven-ABS auf den Anstieg des modulierten Bremsdruckes am Beispiel der Bremsungen von Versuchsperson Nr. 53 (gestrichelte Linie ABS, durchgängige Linie Kurven-ABS)

Bild 4-8: Streudiagramm des Bremsdruckes über die Schräglage zu Modulationsbeginn für Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS mit linearen Regressionsgeraden

Bild 4-9: Bremsschlupf am Vorderrad zu Modulationsbeginn für das Fahrmanöver Kreis

Bild 4-10: Zusammensetzung der Menge aller aufgezeichneten Bremsungen mit Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS

Bild 4-11: Beispielbremsungen (links ABS, rechts Kurven-ABS) mit vergleichsweise starker Betätigung der vorderen Bremse und hoher Schräglage zu Beginn der Bremsdruckmodulation

Bild 4-12: Bremsungen nach Schalterstellung (KABS-rot, ABS-blau) und Zuordnung der Auswertegruppen nach Schräglagengrenze (21,3° bei ABS und 20° bei Kurven-ABS)

Bild 4-13: Anzahl der modulierten Bremsungen, unterteilt nach Modulationsbeginn unter und über der Schräglagengrenzen der Erstfahrten (links) und Mehrfachfahrten (rechts)

Bild 4-14: Schräglage und Geschwindigkeit eine Sekunde vor Bremsbeginn der beiden Vergleichsgruppen (ABS und Kurven-ABS)

Bild 4-15: Boxplots der Kennwerte der Hypothesen und der Schräglage und Geschwindigkeit vor Bremsbeginn nach Schalterstellung ABS bzw. Kurven-ABS

Bild 4-16: Veränderung der Schräglage im Zeitintervall eine Sekunde vor Bremsbeginn bis Bremsbeginn für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Bild 4-17: Maximalwert Druck Bremspumpe vorn für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Bild 4-18: Maximalwert der Rollrate für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Bild 4-19: Trajektorie und Abstände zum Kreismittelpunkt einer Bremsung des Fahrmanövers Kreis

Bild 4-20: Abstandsänderung Kreismittelpunkt für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis mit Schalterstellung Kurven-ABS (KABS) und Schalterstellung ABS (ABS) unter und über der Schräglagengrenze

Bild 4-21: Länge des Bremsweges und mittlere Bremsverzögerung für die Bremsungen des Fahrmanövers Kreis

Bild 4-22: Probandenspezifische Boxplots des Maximalwertes des Bremsdruckes an der Bremspumpe vorne für das Fahrmanöver Kreis

Bild 4-23: Probandenspezifische Boxplots der mittleren Bremsverzögerung für die Fahrmanöver Kreis und Kuppe

Bild 4-24: Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn (grau), Schräglage zu Bremsbeginn (grün) und Schräglage zu Modulationsbeginn (gelb), Medianwerte der Probanden für das Fahrmanöver Kreis

Bild 4-25: Maximalwert des Bremsdruckes nach der Bremspumpe der einzelnen Bremsungen über den Versuchsablauf in der Reihenfolge ABS/KABS (Gruppe 1) und KABS/ABS (Gruppe 2)

Bild 4-26: Reduktion der Schräglage im Zeitintervall eine Sekunde vor ($t=-1$ s) bis zu Bremsbeginn ($t=0$ s) (Gruppe 1: ABS/KABS und Gruppe 2: KABS/ABS)

Bild 4-27: Mehrfachfahrten von sechs Probanden: Verlauf der Medianwerte der Schräglagenreduktion, der Schräglage zu Modulationsbeginn und des Maximalwertes des Druckes an der Bremspumpe am Vorderrad über die wiederholten Versuchsdurchgänge

Bild 4-28: Erwartungen Auswirkungen Kurven-ABS ($n=54$)

Bild 4-29: Erwartungen Auswirkungen Kurven-ABS auf die Verkehrssicherheit ($n=54$)

Bild 4-30: Unterschiede zwischen Fahrten mit und ohne Kurven-ABS ($n=55$)

Bild 4-31: Erwartungen versus erfahrene Veränderungen durch das Eingreifen des Kurven-ABS ($n=54$)

Bild 4-32: Auswirkungen des Kurven-ABS auf die Verkehrssicherheit vor und nach der Testfahrt ($n=54$)

Bild 4-33: Aktivität ABS ($n=54$) und Kurven-ABS ($n=54$)

Bild 4-34: Kaufbereitschaft & Weiterempfehlung Kurven-ABS ($n=54$)

Bild 4-35: Boxplots für die Schräglage und die Geschwindigkeiten aus Literatur (Hädrich (2012), grau), Fahrversuche im Straßenverkehr (grün), und Fahrversuchen am Testgelände (gelb, Abkürzung S ... Schräglagengrenze)

Bild 5-1: Anzahl der Bremsungen mit Schalterstellung Kurven-ABS, eine Sekunde vor Bremsbeginn (-1 s), zu Bremsbeginn (0 s) und zu Modulationsbeginn (M.b.) mit einer Schräglage von unter 20° sowie mindestens 20° und darüber für die Fahrmanöver Kreis (links) und Kuppe (rechts)

Bild 5-2: Fahrmanöver Kuppe: Bremsungen mit Kurven-ABS, ohne Betätigung der hinteren Bremse (links) und mit Betätigung der hinteren Bremse (rechts)

Bild 5-3: Vergleich zweier Bremsungen mit ABS und Kurven-ABS mit einem Beginn der Bremsdruckmodulation bei einer Schräglage von 34° (ABS) bzw. 32° (Kurven-ABS)

10 ANHANG

10.1 Anhang A1: Fahrmanöverspezifische Auswertung der Bremsungen unter 20° Schräglage und bei 20° Schräglage und darüber, sowie Bremsungen ohne Eingriff

Fahrmanöver	Bremung Nr.	Anzahl	Unter/über 20° /	t=-1s	t=0s	Modulation sbeginn
Gerade Bremsung	1	54	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	2 52 -	0 54 -	0 43 11
	2	52	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	6 46 -	0 52 -	0 44 8
	3	48	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	7 41 -	0 48 -	0 43 5
Kreis 30+5	1	52	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	3 49 -	1 51 -	0 34 18
	2	52	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	22 30 -	8 44 -	0 37 15
	3	50	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	50 0 -	31 19 -	6 30 14
	4	48	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	48 0 -	42 6 -	4 35 9
	5	38	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	38 0 -	35 3 -	6 25 7
Kuppe	1	36	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	34 2 -	27 9 -	4 18 14
	2	32	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	32 0 -	29 3 -	7 16 9
	3	27	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	26 1 -	23 4 -	3 18 6
Kreis 40	1	51	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	51 0 -	37 14 -	3 35 13
	2	51	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	51 0 -	41 10 -	8 30 13

	3	51	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	50 1 -	36 15 -	6 33 12
Kreis 40	1	48	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	44 4 -	40 8 -	9 31 8
	2	47	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	46 1 -	39 8 -	11 25 11
	3	47	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	47 0 -	36 11 -	14 25 8
Kuppe	1	32	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	30 2 -	28 4 -	8 12 12
	2	29	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	29 0 -	26 3 -	6 12 11
	3	24	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	24 0 -	22 2 -	6 12 6
Kreis 30+5	1	50	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	3 47 -	1 49 -	0 38 12
	2	50	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	22 28 -	8 42 -	1 39 10
	3	49	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	45 4 -	34 15 -	5 37 7
	4	48	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	48 0 -	46 2 -	16 24 8
	5	40	≥ 20° < 20° Ohne Eingriff	40 0 -	38 2 -	13 20 7

Tabelle A-1: Fahrmanöverspezifische Auswertung der Bremsungen unter 20° Schräglage und bei 20° Schräglage und darüber, sowie Bremsungen ohne Eingriff

10.2 Anhang A2: Hypothesenbasierte Auswertung Fahrmanöver Kreis

Hypo- these	Kennwert	Schalterstellung	Median [IQR]	p-Wert
H01	Änderung der Schräglage eine Sekunde vor Bremsbeginn [°]	ABS (n=305) KABS (n=399)	-3,4 [-6,2; -1,3] -2,5 [-5,0; -0,7]	0,001^U
H02	Maximalwert des Bremsdruckes an der Bremspumpe [bar]	ABS (n=305) KABS (n=399)	32,6 [22,2; 52,5] 30,7 [21,7; 54,6]	0,829 ^U
H03	Maximalwert der Rollrate [°/s]	ABS (n=305) KABS (n=399)	38,5 [30,4; 49,9] 34,6 [27,3; 44,2]	<0,001^U
H04	Abstandsänderung zum Kreismittelpunkt [m]	ABS (n=305) KABS (n=399)	0,0 [-0,2; 0,4] 0,0 [-0,3; 0,4]	0,234 ^U
H05	Länge des Bremsweges [m]	ABS (n=305) KABS (n=399)	8,9 [7,6; 10,9] 9,8 [8,0; 12,7]	<0,001^U
	Bremsverzögerung [m/s ²]	ABS (n=305) KABS (n=399)	7,0 [6,4; 7,4] 6,7 [6,1; 7,0]	<0,001^U

Tabelle A-2: Zusammenfassung der Kennwerte der Hypothesen für Bremsungen nach Schalterstellung ABS und Schalterstellung Kurven-ABS (^U Mann-Whitney U-Test)

10.3 Anhang A3: Schräglage und Geschwindigkeit bei Kurvendurchfahrt

Schräglage [°]	Geschwindigkeit [km/h]	Kurvenradius [m]	Fahrmanöver/Quelle
33,0 [31,1; 34,9]	43,9 [41,3; 52,1]	20-40	Fahrversuche im Straßenverkehr Griffnerberg
32,4 [27,1; 37,6]	-	10-35	Hädrich (2012)
31,1 [29,1; 33,0]	35,2 [33,6; 36,5]	15	Fahrversuche am Testgelände Fahrmanöver Kuppe
30,3 [25,4; 37,8]	42,4 [38,3; 48,2]	29	Fahrversuche am Testgelände Kreis (über Schräglagengrenze)
28,7 [23,5; 33,7]	-	35-55	Hädrich (2012)
24,5 [20,6; 27,8]	37,5 [34,1; 40,3]	29	Fahrversuche am Testgelände Kreis (unter Schräglagengrenze)
19,9 [16,2; 24,5]	41,1 [24,0; 50,7]	20-40	Fahrversuche im Straßenverkehr Berndorf

Tabelle A-3: Übersicht Schräglage und Geschwindigkeit für Kurvenradien der Fahrversuche auf dem Testgelände, der Fahrversuche im Straßenverkehr und aus der Literatur (Hädrich, 2012)

10.4 Anhang A4: Anteil der Bremsungen unter und bei min. 20° Schräglage mit Schalterstellung ABS

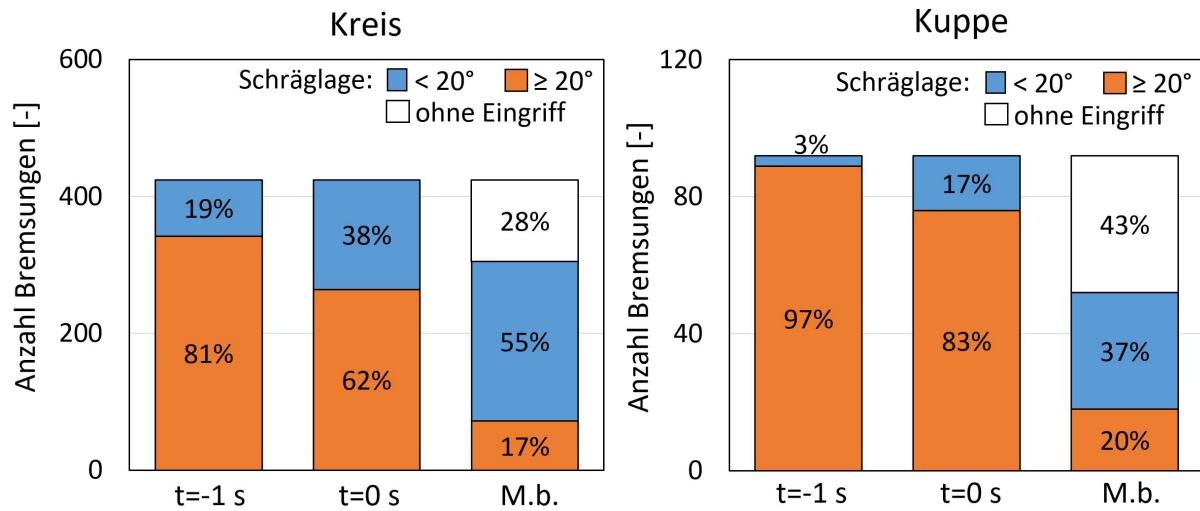


Bild A-1: Anzahl der Bremsungen mit Schalterstellung ABS, eine Sekunde vor Bremsbeginn (-1 s), zu Bremsbeginn (0 s) und zu Modulationsbeginn (M.b.) mit einer Schräglage von unter 20° sowie mindestens 20° und darüber für die Fahrmanöver Kreis (links) und Kuppe (rechts)

10.5 Anhang B: Leitfaden, Fragebögen, detaillierte Auswertungsergebnisse

10.5.1 Leitfaden Fokusgruppen-/Einzelinterviews

– Begrüßung Vorstellung des Teams (ModeratorInnen).	18:30 Uhr ca.2 Min
– Einleitung Vorstellung Projektidee und -ziel: Diese Gruppendiskussion findet im Rahmen eines von der deutschen Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) beauftragten Forschungsprojektes statt, das sich mit den Möglichkeiten der Unfallvermeidung durch Kurven-ABS befasst. Neben Gruppendiskussionen werden wir im Projekt verschiedene Fahrversuche machen, um das Kurven-ABS in unterschiedlichen Situationen zu testen. Bevor wir mit der Diskussion beginnen, noch kurz ein paar Hinweise zur Vorgehensweise.	18:32 Uhr ca.3 Min
– Erklärung der Vorgehensweise der Diskussion 1. Die Gruppendiskussion wird mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet sowie schriftlich protokolliert. Sind alle damit einverstanden? 2. Der/die ModeratorIn stellt nur Fragen, wird selbst keine Stellung nehmen. 3. Was fällt Ihnen zu den Fragen ein? Es gibt keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten. Ziel ist, zu erfahren, was für Sie relevant ist. 4. Die Fragen sollten von allen beantwortet werden, wobei jederzeit auf Gesagtes von anderen Diskussionsteilnehmerinnen reagiert werden kann. Folgende Grundregeln sollen dabei eingehalten werden: ✓ Langsam sprechen ✓ Die anderen ausreden lassen, d.h. nicht jemanden beim Sprechen unterbrechen. ✓ Beim Thema bleiben ✓ Jeder darf seine Meinung äußern, keine Meinung ist „besser“ oder „schlechter“ ✓ Zeitrahmen: 1 ½ bis max. 2 Stunden (Muss jemand früher gehen?)	18:35 Uhr ca. 5 Min
– Fragen Fragenblock 1: Erfahrung mit (Kurven-)ABS Vorstellungsrunde: Name und... 1. Wie lange fahren Sie schon Motorrad (insgesamt/mit ABS/mit Kurven-ABS)? 2. Für welche Wege benutzen Sie das Motorrad (Freizeit-/Alltagswege)? 3. Haben Sie sich beim Motorradkauf bewusst für (Kurven-)ABS entschieden? Warum? Welche Bedenken hatten Sie in Bezug auf ein (Kurven-) ABS? Was haben sie sich erwartet und inwieweit sind ihre Erwartungen erfüllt worden?	18:40 Uhr ca.20 Min

Fragenblock 2: Gefahrensituationen 1. Welche Situationen haben Sie schon erlebt, in denen Kurven-ABS sinnvoll sein könnte? Wie oft kommen solche Situationen vor? 2. Welchen Beitrag kann das Kurven-ABS zur Verkehrssicherheit leisten?		19:00 Uhr ca.35 Min
Fragenblock 3: Vertrauen in das (Kurven-)ABS 1. Inwieweit vertrauen Sie darauf, dass das (Kurven) ABS funktioniert? 2. Wo liegen Ihrer Meinung nach die Grenzen des Systems? Welche negativen Auswirkungen auf das Fahrverhalten könnte es geben, wenn man Kurven (ABS) nutzt (z.B. Risikokompensation?)		19:35 Uhr ca.40 Min
Fragenblock 4: Einschulung (Kurven-) ABS – nur für Personen, die bereits Kurven-ABS haben 1. Falls Sie in der Ausbildung mit (Kurven-)ABS Motorrädern gefahren sind, wie sind auf das System eingeschult worden? Inwieweit haben Sie die Systeme beim Fahren ausprobiert? 2. Beim Kauf eines Motorrads mit (Kurven-) ABS Inwieweit hat sie der Händler in die Systeme eingeschult? 3. Angenommen ein Bekannter kauft sich ein neues Motorrad, würden Sie ihm ein Motorrad mit (Kurven-) ABS empfehlen? Welche Vorteile würden Sie nennen?		
Fragenblock 4: Potenzial von (Kurven-)ABS – für Personen, die kein Kurven-ABS haben Abschlussfrage: 1. Werden Sie bei Ihrem nächsten Motorradkauf darauf achten, dass es Kurven-ABS hat oder nicht? 2. Angenommen ein Bekannter kauft sich ein neues Motorrad, würden Sie ihm ein Motorrad mit (Kurven-) ABS empfehlen? Welche Vorteile würden Sie nennen? 3. Welche Informationen, Trainings würden Sie sich bei der Ausbildung in Bezug auf das (Kurven-) ABS wünschen?		20:15 Uhr ca.15 Min
– Verabschiedung Vielen Dank für Ihre Teilnahme! Auf Basis Ihrer Antworten wird eine Online-Befragung entwickelt. Wenn Sie auch an der Online Befragung teilnehmen möchten, dann schreiben Sie bitte Ihre Email Adresse auf die Liste. <i>Ausgabe Gutscheine.</i>		20:30 Uhr ca.5 Min

10.5.2 Beschreibung Stichprobe Fokusgruppen

NR	Alter M/W	Fahrerfahrung	Wege Zwecke	Unfälle	ABS/Kurven-ABS
1	56 m	Mit 16 Moped-schein, mit 18 Jahren Motor-radführerschein, bis 30 Jahre	Primär Freizeit, aber auch für Alltagswege	Mehrere Unfälle gehabt, auch mit schweren Verletzungen	ABS und Kurven-ABS vorhanden + eine Reihe von zusätzlichen Assistenzsystemen (Traktionskontrolle,

NR	Alter M/W	Fahrerfahrung	Wege Zwecke	Unfälle	ABS/Kurven-ABS
		regelmäßig gefahren, 2013 wieder angefangen			SOS-Notrufknopf,...)
2	75 m	Mit 20 Jahren Motorradschein gemacht, fährt seither regelmäßig	Alltags- und Freizeitwege sowie beruflich (Fahrlehrer und Instruktor)	Keine nennenswerten Unfälle	Integral-ABS
3	57 m	Mit 29 Jahren Führerschein gemacht und fährt seither regelmäßig	Früher alle Wege Alltag und Freizeit jetzt nur noch Freizeitwege	Mehrere kleinere Unfälle und einen schweren Unfall	ABS, möchte sich Motorrad mit Kurven-ABS zulegen
4	29 m	Mit 20 Jahren Motorradführerschein gemacht, fährt regelmäßig	Alltags- und Freizeitwege	Ein schwerer Unfall	Weder ABS noch Kurven ABS
5	40 m	Mit 16 Mopedführerschein mit 18 Motorradführerschein fährt seither regelmäßig	Früher alle Wege jetzt primär Alltagswege (Arbeit)	Mehrere kleinere und schwere Unfälle	Weder ABS noch Kurven ABS
6	58 m	Mit 18 Führerschein gemacht, seither regelmäßig	Arbeits- und Freizeitwege	Mehrere Unfälle	ABS und Kurven-ABS
7	62 m	Mit 18 Führerschein gemacht, seither regelmäßig	Freizeitwege	Mehrere Unfälle	ABS
8	65 m	Mit 18 Führerschein gemacht, seither regelmäßig	Früher alle Wege mit dem Motorrad, jetzt vorwiegend in der Freizeit	Einen Unfall mit leichter Verletzung	ABS und Kurven-ABS
9	63 w	Fährt seit der Jugend	Alltags- und Freizeitwege	Mehrere Unfälle	Weder ABS noch Kurven-ABS
10	71 m	Fährt seit der Jugend	Primär Freizeitwege	Mehrere Unfälle auch mit schweren Verletzungen	ABS und Kurven-ABS

10.5.3 Fragebogen Online-Befragung

Sehr geehrte Motorradfahrerinnen und Motorradfahrer!

Das Forschungsinstitut FACTUM – apptec ventures führt zusammen mit der TU Graz ein von der BAST (Deutsche Bundesanstalt für Straßenwesen) gefördertes Projekt durch, das sich mit Verkehrssicherheit von MotorradfahrerInnen befasst. Im Speziellen wollen wir die Einstellungen zu Kurven-ABS erfassen.

Für das Ausfüllen des Fragebogens ist keine Kurven-ABS Erfahrung erforderlich. Ihre Antworten sind anonymisiert und das Ausfüllen des Fragebogens wird in etwa 10 Minuten dauern.

Vielen Dank für die Beantwortung der Fragen! Sie leisten mit Ihrer Meinung einen wichtigen Beitrag zur wissenschaftlichen Forschung.

Das FACTUM Team

1. Wie viele Jahre fahren Sie schon aktiv Motorrad?

2. Wie viele km sind Sie im letzten Jahr mit dem Motorrad unterwegs gewesen?

- ☐ weniger als 1000 km ☐ 1000 -2500 km ☐ 2501-5000 km ☐ 5001-10 000 km
- ☐ 10 001 – 30 0000 km ☐ mehr als 30 000 km

3. Für welche Zwecke nutzen Sie Ihr Motorrad hauptsächlich?

Bitte kreuzen Sie Zutreffendes aus. Mehrfachnennungen möglich

- ☐ Freizeit
- ☐ Arbeits- bzw. Ausbildungswege
- ☐ Einkaufswege
- ☐ Sonstiges

4. Welches Motorrad fahren Sie derzeit?

Falls Sie mehrere Motorräder benutzen, bitte nennen Sie jenes, mit dem Sie derzeit am häufigsten unterwegs sind.

Modell: _____ Hersteller: _____ Baujahr: _____

5. Was motiviert Sie zum Motorradfahren? *Mehrfachnennungen sind möglich*

- ☐ Spaß am Fahren
- ☐ Entspannung
- ☐ Gefühl der Freiheit und Unabhängigkeit

- ☐ Sonstiges

Linie (1 = sehr unsicher bis 10 sehr sicher).

sehr sicher

7a. Hatten Sie bereits einen Unfall mit dem Motorrad?

- ☐ Ja, mehrere Unfälle sowohl Alleinunfälle als auch Unfälle mit anderen Beteiligten

7b. Filterfrage bei 5a ja : Wurden Sie bei einem dieser Unfälle dabei verletzt?

- ☐ Nein ☐ Ja, leicht verletzt ☐ Ja, schwer verletzt

7c. Filterfrage bei 5a ja, mit anderen Beteiligten: Wurden bei einer der Unfälle andere verletzt?

- ☐ Nein ☐ Ja, leicht verletzt ☐ Ja, schwer verletzt ☐ Ja, tödlich verletzt

Maximal drei Nennungen möglich

- Zu hohe Geschwindigkeiten der Motorradfahrer und Fahrerinnen

- ☐ Verkehrsinfrastruktur (z.B. schlechter Zustand der Fahrbahn)
- ☐ Witterung (z.B. nasse Fahrbahn)
- ☐ Selbstüberschätzung anderer VerkehrsteilnehmerInnen
- ☐ Selbstüberschätzung der Motorradfahrer und Fahrerinnen (z.B. fehlende Fahrzeugkontrolle)
- ☐ Sonstiges

9. Welche Maßnahmen tragen am ehesten zum sicheren Motorradfahren bei? (1 tragen gar nicht bei bis tragen sehr bei) *Bitte wählen Sie maximal drei Maßnahmen aus*

- ☐ Bessere Straßeninstandhaltung
- ☐ Verstärkte Geschwindigkeitskontrollen
- ☐ Schutzkleidung
- ☐ gute Bereifung
- ☐ Besuch eines Fahrsicherheitstrainings 1x/Jahr
- ☐ Assistenzsysteme für Motorradfahrer und Fahrerinnen
- ☐ Assistenzsysteme für Pkw-FahrerInnen
- ☐ Sonstiges

Assistenzsysteme

Assistenzsysteme sind elektronische Zusatzeinrichtungen in Motorrädern zur Unterstützung von Motorradfahrer und Fahrerinnen in bestimmten Fahrsituationen.

Es werden zunächst allgemeine Fragen zu Assistenzsysteme gestellt und in der Folge bitten wir Sie, im Speziellen das Kurven-ABS zu bewerten.

10. Wie stark tragen Assistenzsysteme am Motorrad zum sicheren Motorradfahren bei bzw. nicht bei?

1 tragen sehr stark bei _____ 10 tragen gar nicht bei

11a. Verfügt Ihr Motorrad über Assistenzsysteme? *Bitte Zutreffendes ankreuzen*

- ☐ Ja ☐ Nein ☐ Weiß ich nicht

11b. Filterfrage bei ja: Über welche Assistenzsysteme verfügt Ihr Motorrad? *Mehrfachnennungen möglich*

- ☐ ABS-Antiblockiersystem
- ☐ Kurven ABS
- ☐ Traktions- & Wheeliekontrolle
- ☐ Totwinkel-Assistent

☐ Sonstiges

11c. Filterfrage bei ja: Wie sehr stimmen sie den folgenden Aussagen zu bzw. nicht zu?

	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
Ich habe mich für das Motorrad aufgrund der Ausstattung mit Assistenzsystemen entschieden.	☐	☐	☐	☐	☐
Assistenzsystem geben mir das Gefühl sicherer mit dem Motorrad unterwegs zu sein.	☐	☐	☐	☐	☐

11d. Filterfrage bei nein: Wie sehr stimmen sie den folgenden Aussagen zu bzw. nicht zu?

	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
Ich hätte gerne ein Motorrad mit Assistenzsystemen.	☐	☐	☐	☐	☐
Mit Assistenzsystem würde ich mich sicherer beim Motorradfahren fühlen.	☐	☐	☐	☐	☐

Kurven-ABS

Kurven ABS = Mit Hilfe von Sensoren verhindert das Kurven ABS das Blockieren von Rädern auch in der Kurve, sodass sicher gebremst werden kann.

12. Sind Sie schon einmal mit einem Motorrad mit Kurven-ABS gefahren?

- ☐ Nein
- ☐ Ich bin schon selbst mit einem Motorrad mit Kurven-ABS gefahren, habe aber noch keine Situation erlebt, in der ich das Gefühl hatte, dass das Kurven-ABS aktiv eingegriffen hat.
- ☐ Ich bin schon selbst mit einem Motorrad mit Kurven-ABS gefahren und habe mind. eine Situation erlebt, in der das Kurven-ABS aktiv eingegriffen hat.
- ☐ Weiß ich nicht.

13. Bitte bewerten Sie folgende Aussagen in Bezug auf das Kurven-ABS

Ein solches System ...

	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
kann zu riskanterem Fahrverhalten führen	☐	☐	☐	☐	☐
ist hilfreich für wenig erfahrene Motorradfahrer und Fahrerinnen	☐	☐	☐	☐	☐
ist hilfreich für erfahrene Motorradfahrer und Fahrerinnen	☐	☐	☐	☐	☐

kann Motorradfahrer und Fahrerinnen unaufmerksamer machen, weil sie sich auf das System verlassen	☐	☐	☐	☐	☐
kann beim Motorradfahren das Gefühl erzeugen fremdgesteuert zu sein	☐	☐	☐	☐	☐
kann den Spaß am Fahren verringern	☐	☐	☐	☐	☐
kann dazu beitragen, Unfälle zu verhindern	☐	☐	☐	☐	☐

14. Filterfrage falls kein Motorrad mit Kurven-ABS: Bitte kreuzen Sie an, wie sehr Sie in Bezug auf das Kurven-ABS den folgenden Aussagen zu bzw. nicht zustimmen

	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
Es muss die Möglichkeit geben, das System abzuschalten	☐	☐	☐	☐	☐
Ich hätte gerne ein solches System für mein Motorrad	☐	☐	☐	☐	☐
Ich vertraue bzw. würde dem System vertrauen	☐	☐	☐	☐	☐
Meine Freunde finden Kurven- ABS gut	☐	☐	☐	☐	☐

15. Filterfrage: Fragen falls angekreuzt wurde, ich habe ein Motorrad mit Kurven-ABS: Wie sehr stimmen Sie den folgenden Aussagen zu bzw. nicht zu?

	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
Ich würde das Kurven-ABS weiterempfehlen	☐	☐	☐	☐	☐
Kurven ABS zu nutzen, macht Spaß.	☐	☐	☐	☐	☐

16. Zusätzlich nur für Personen, die ein Kurven-ABS haben: Was verändert sich durch das Eingreifen des Kurven-ABS beim Bremsen in der Kurve? (Mehrfachantworten möglich)

- ☐ Kürzerer Bremsweg
- ☐ Längerer Bremsweg
- ☐ Spur kann beim Bremsen leichter gehalten werden
- ☐ Ungewohntes Fahrverhalten, nämlich
- ☐ Sonstiges _____
- ☐ Keine Änderung
- ☐ Weiß ich nicht

17. Wie stehen Sie zu folgenden Aussagen? Bitte kreuzen Sie an, wie sehr Sie den Aussagen zu- bzw. nicht zustimmen (für alle)

	stimme zu	stimme eher zu	weder noch	stimme eher nicht zu	stimme nicht zu
Kurven ABS- sollte verpflichtend für alle neu zugelassenen Motorräder (Hubraum ab 125 ccm) eingeführt werden.	☐	☐	☐	☐	☐
Beim Kauf eines Motorrades mit Kurven-ABS, sollte eine praktische Einschulung in das System erfolgen	☐	☐	☐	☐	☐
Motorräder mit Kurven ABS sind mir derzeit zu teuer	☐	☐	☐	☐	☐

STATISTIK

18. Geschlecht

- ☐ weiblich
☐ männlich

19. Bitte geben Sie Ihr Alter an

20. Bitte geben Sie die Postleitzahl Ihres Wohnortes an

21. Was beschreibt die Gegend, in der Sie leben, am besten?

- ☐ Ländlich/kleine Dörfer/im Grünen
☐ Vorstadt/Kleinstadt/ in der Nähe einer Stadt
☐ Städtisch/Großstadt/Landeshauptstadt

22. Wie bewegen Sie sich im Alltag hauptsächlich fort?

Mehrfachnennungen möglich

- ☐ Zu Fuß
☐ Fahrrad

- ☐ Motorrad
- ☐ Auto als FahrerIn
- ☐ Auto als MitfahrerIn
- ☐ Öffentlicher Verkehr
- ☐ Sonstiges

23. Möchten Sie noch etwas anmerken zum Thema Kurven-ABS für Motorräder, dann haben Sie hier die Möglichkeit dazu:



Letzte Seite

Ihre Antworten wurden gespeichert, Sie können das Browser-Fenster nun schließen.

10.5.4 Hypothesen: Überblick über die recodierten Fragebogenfragen und deren neuen Ausprägungen

Hypo- these	Fragebogenfrage		Recodierte Variable	Ausprägungen recodierte Variable
H1	Alter: ... Jahre	→	Alter: ... Jahre recodiert	Unter 45 Jahre 45 Jahre und älter
	Wohnort: Ländlich/kleine Dörfer/im Grünen	→	Wohnort recodiert	Drei Einzelvariablen in eine Gesmatvariable recodiert
	Wohnort: Vorstadt/Kleinstadt/in der Nähe einer Stadt			
	Wohnort: Städtisch/Großstadt/Landeshauptstadt			
H3	Fahrleistung: weniger als 1000 km	→	Fahrleistung: recodiert wenig viel	Unter 10.000 km Fahrleistung 10.000 km und mehr
	Fahrleistung: 1000 - 2500 km			
	Fahrleistung: 2501 - 5000 km			
	Fahrleistung: 5001 - 10 000 km,			
	Fahrleistung: 10 001 km - 30 000 km			
	Fahrleistung: mehr als 30 000 km			
H4	Fahrerfahrung: ... Jahre	→	Fahrerfahrung recodiert	bis zu 13 Jahren Fahrerfahrung zwischen 13 und 28 Jahren Fahrerfahrung 29 Jahre und mehr Fahrerfahrung
H5	Fahrzweck: Freizeitwege	→	Fahrzweck	Fahrzweck Freizeitwege
	Fahrzweck: Arbeits- bzw. Ausbildungswege			Fahrzweck: Arbeits- bzw. Ausbildungswege und Einkaufswege
	Fahrzweck: Einkaufswege			
H6	Motivation: Kraft & Geschwindigkeit	→	Motivation: Kraft und Freiheit	Angekreuzt
	Motivation: Gefühl der Freiheit und Unabhängigkeit			Nicht angekreuzt
H7	Unfall: Nein	→	Zumindest ein Unfall	Ja Nein
	Unfall: Ja, einen Alleinunfall			
	Unfall: Ja, mehrere Alleinunfälle			
	Unfall: Ja, einen Unfall mit anderen Beteiligten			
	Unfall: Ja, mehrere Unfälle mit anderen Beteiligten			
H7	Selbstverletzung: Nein	→	Zumindest eine Verletzung	Ja nein
	Selbstverletzung: Ja, leicht verletzt			
	Selbstverletzung: Ja, schwer verletzt			

Hypo- these	Fragebogenfrage		Recodierte Variable	Ausprägungen recodierte Variable
H10	Aussagenbewertung: Ich habe mich für das Motorrad aufgrund der Ausstattung mit Assistenzsystemen entschieden.	→	Aussagen- bewertung: Ich habe mich für das Motorrad aufgrund der Ausstattung mit Assistenz- systemen entschieden recodiert	Aussagen-bewertung: Ich habe mich für das Motorrad aufgrund der Ausstattung mit Assistenz-systemen entschieden recodiert
H11	Aussagenbewertung: Assistenzsystem geben mir das Gefühl sicherer mit dem Motorrad unterwegs zu sein.	→	Aussagen- bewertung: Assistenzsystem geben mir das Gefühl sicherer mit dem Motorrad unterwegs zu sein recodiert	Trifft zu und trifft eher zu Weder noch Trifft eher nicht zu und trifft nicht zu
H1-12	Bewertung Kurven-ABS: kann zu riskanterem Fahrverhalten führen	→	Bewertung K_ABS: Index recodiert	Bewertung unter 14 Punkten

10.5.5 Vorabfragebogen - Fahrversuche

Bitte füllen Sie den nachfolgenden Fragebogen vollständig und gewissenhaft aus. Sie leisten damit einen wertvollen Beitrag zur wissenschaftlichen Forschung. Vielen Dank!

- Geben Sie Ihr Geschlecht an: ☐ männlich ☐ weiblich
- Geben Sie Ihr Alter an: _____ Jahre
- Wie viele Jahre fahren Sie schon aktiv Motorrad? _____ Jahre
 - Welches Motorrad fahren Sie derzeit?

Falls Sie mehrere Motorräder benutzen, bitte nennen Sie jenes, mit dem Sie derzeit am häufigsten unterwegs sind.

Modell: _____ Hersteller: _____ Baujahr: _____
- Wie viele km sind Sie im letzten Jahr mit Ihrem Motorrad insgesamt gefahren?
 - ☐ weniger als 1000 km ☐ 1000 – 2500 km ☐ 2501 – 5000 km
 - ☐ 5001 – 10 000 km ☐ 10 000 – 30 000 km ☐ mehr als 30 000 km
 - Für welche Zwecke nutzen Sie Ihr Motorrad hauptsächlich?
(Bitte nur ein Kästchen ankreuzen)
 - ☐ Freizeit
 - ☐ Arbeits- bzw. Ausbildungswege

- ☐ Einkaufswege
- ☐ Sonstiges _____

- Auf welchen Straßen sind Sie mit Ihrem Motorrad vorwiegend unterwegs?
(Bitte nur ein Kästchen ankreuzen)

☐ im Stadtverkehr ☐ auf Landstraßen ☐ auf der Autobahn ☐ auf Rennstrecken

- Über welche Assistenzsysteme verfügt dieses Motorrad?

- | | |
|---|---------------------------------------|
| ☐ ABS-Antiblockiersystem | ☐ Kombibremse CBS |
| ☐ Kurven ABS | ☐ Sonstiges _____ |
| ☐ Traktions- & Wheeliekontrolle | ☐ Keine |
| ☐ Totwinkel-Assistent | ☐ Weiß ich nicht |

- Hatten Sie bereits einen Unfall als Motorradfahrer?

☐ Nein (weiter mit Frage 11) ☐ Ja, einen Unfall ☐ Ja, mehrere Unfälle

- Welche Art des Unfalls war das? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Alleinunfall
- ☐ Unfall mit anderen Beteiligten im Gegenverkehr
- ☐ Unfall mit anderen Beteiligten im Richtungsverkehr
- ☐ Unfall mit anderen Beteiligten im Kreuzungsbereich
- ☐ Sonstige Unfälle _____

- Welche Änderungen erwarten Sie sich beim Bremsen in der Kurve durch das Eingreifen des **Kurven-ABS**? (Mehrfachantworten möglich)

- | | |
|---|--|
| ☐ Kürzerer Bremsweg | ☐ Ungewohntes Fahrverhalten, nämlich _____ |
| ☐ Längerer Bremsweg | ☐ Sonstiges _____ |
| ☐ Spur kann beim Bremsen leichter gehalten werden | ☐ Keine Änderungen |
| | ☐ Weiß ich nicht |

- Wie sehr trägt Ihrer Meinung nach ein **Kurven-ABS** zum sicheren Motorradfahren bei bzw. nicht bei (0=keine Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit bis 10 große Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit)?

Bitte machen Sie ein Kreuz in eines der Kästchen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Keine Auswirkungen auf die Sicherheit	kaum Auswirkungen auf die Sicherheit		spürbare Auswirkungen auf die Sicherheit			wesentliche Auswirkungen auf die Sicherheit		große Auswirkungen auf die Sicherheit		

10.5.6 Nachherfragebogen – Fahrversuche

- Was sind Ihre spontanen Eindrücke zum Kurven-ABS nach der Testung?

Bitte beschreiben Sie kurz Ihre Eindrücke in Stichworten:

- Wie schwer bzw. leicht ist es Ihnen gefallen, die Testaufgabe /das Fahrmanöver der Kreisfahrt durchzuführen? *Bitte machen Sie ein Kreuz auf die Linie.* (1 = sehr leicht bis 10 = Aufgaben nicht erfüllbar)

- Dem eingezeichneten / vorgegeben Radius während der Kreisfahrt zu folgen?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sehr leicht	Gut durchführbar			Herausfordernd			Gefährlich			Aufgabe erfüllbar	nicht

- Die vorgegebenen Geschwindigkeiten während der Kreisfahrt zu halten?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sehr leicht	Gut durchführbar			Herausfordernd			Gefährlich			Aufgabe erfüllbar	nicht

- Die Kurvenbremsungen aus der vorgegebenen Geschwindigkeit zu machen?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sehr leicht	Gut durchführbar			Herausfordernd			Gefährlich			Aufgabe erfüllbar	nicht

- Bei dem vorgegebenen Bremspunkt zu bremsen?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sehr leicht	Gut durchführbar			Herausfordernd			Gefährlich			Aufgabe erfüllbar	nicht

- Hatten Sie das Gefühl, dass das **ABS** während der Testfahrt aktiv wurde?

Bitte kreuzen Sie an, welcher Skala Bereich für Sie am besten zutrifft

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nichts bemerkt	Spürbar			Störend			Gefährlich			Aufgabe nicht erfüllbar

Wenn ja, bei welchen Fahrmanövern hatten Sie das Gefühl, dass das **ABS** aktiv wurde? *Beschreiben Sie diese kurz:*

- Hatten Sie das Gefühl, dass das **Kurven-ABS** aktiv wurde?

Bitte machen Sie ein Kreuz dort, welcher Skala Bereich für Sie am besten zutrifft.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nichts bemerkt	Spürbar			Störend			Gefährlich			Aufgabe nicht erfüllbar

Wenn ja, bei welchen Fahrmanövern hatten Sie das Gefühl, dass das **Kurven – ABS** aktiv wurde? *Beschreiben Sie diese kurz:*

- Haben Sie einen Unterschied zwischen der Testfahrt ohne Kurven-ABS und mit Kurven-ABS gespürt? ☐ Ja ☐ Nein

Wenn ja, bitte beschreiben Sie kurz, worin der Unterschied für Sie lag:

Datum: _____ ID: _____

- Was hat sich Ihrer Meinung nach durch das Eingreifen des **Kurven-ABS** beim Bremsen in der Kurve verändert? *Mehrfachantworten möglich*

- ☐ Kürzerer Bremsweg
- ☐ Längerer Bremsweg
- ☐ Spur kann beim Bremsen leichter gehalten werden
- ☐ Ungewohntes Fahrverhalten, nämlich _____
- ☐ Sonstiges _____
- ☐ Keine Änderung
- ☐ Weiß ich nicht

- Würden Sie sich nach den durchgeführten Fahrscenarien und der Probefahrt ein Motorrad mit **Kurven-ABS** kaufen? (unabhängig von den Kosten)

- ☐ Ja, warum?
- ☐ Nein, warum nicht

- Worauf würden Sie Motorradfahrer und Fahrerinnen en aufmerksam machen, wenn diese zum ersten Mal ein Motorrad mit **Kurven-ABS** fahren?

- Wurden Ihre Erwartungen hinsichtlich **Kurven-ABS** erfüllt?

- ☐ Ja, warum?
- ☐ Nein, warum nicht?

- Wurden Ihre Erwartungen hinsichtlich **Kurven-ABS** erfüllt?

☐ Ja, warum?

☐ Nein, warum nicht?

- Würden Sie **Kurven-ABS** weiterempfehlen?

☐ Ja, warum?

☐ Nein, warum nicht?

- Nachdem Sie das Kurven-ABS getestet haben, bitten wir Sie noch einmal folgende Frage zu beantworten: Wie sehr trägt Ihrer Meinung nach ein **Kurven-ABS** zum sicheren Motorradfahren bei bzw. nicht bei (0=keine Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit bis 10 große Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit)?

Bitte machen Sie ein Kreuz in eines der Kästchen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Keine Auswirkungen auf die Sicherheit	kaum Auswirkungen auf die Sicherheit			spürbare Auswirkungen auf die Sicherheit			wesentliche Auswirkungen auf die Sicherheit			große Auswirkungen auf die Sicherheit

VIELEN DANK FÜR IHR MITWIRKEN AN UNSERER STUDIE

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2023

F 150: Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Pohle, Günther, Schütze, Trautmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 151: Integration von öffentlichem und privatem Parkraummanagement

Höpping, Jonas, Becker, Krüger, Freudenstein, Krampe, Godschachner, Inninger, Scholz, Hüttner, Grötsch, Stjepanovic

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 152: On-Board-Diagnose (OBD) – Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

Hausberger, Matzer, Lipp, Blassnegger, Hametner, Prosenc

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2024

F 153: Zusammenstellung geeigneter Sicherheitsindikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion von Level 3 Systemen

Yan, Pichen, Schmitz, Sklorz, Baumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 153b: Compilation of suitable safety indicators for the evaluation of Human-Machine Interaction of level 3 systems

Yan, Pichen, Schmitz, Sklorz, Baumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 154: Systematisierung geeigneter fahrfremder Tätigkeiten für automatisiertes Fahren von schweren Güterkraftfahrzeugen

Flämig, Beck, Hoffmann, Tjaden, Höger, Brandt, Haase, Wolter, Müller, Damer, Hettich, Schnücker

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 155: Handbuch Rollstuhlbeförderung bei Ausschreibungen

Boenke, Deuster

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 156: Entwicklung eines Konzepts und Lastenheftes für eine Szenariendatenbank zur Bewertung der Sicherheitswirkung hochautomatisierter Fahrfunktionen

Klinge, Krampitz, Ehrich, Siemon, Wiegand, Lassowski, Stavesand, Simon

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 157: Statistischer und methodischer Ansatz zur Erhebung vertiefter Verkehrsunfalldaten

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 158: Wissenschaftliche Begleitung der Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr

Unger, Grosche, Rößler, Uhlenhof, Bierbach, Huster, Panwinkler, Straßgütli, Suing, Zelazny

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 159: Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

Hager, Kathmann, Brandt, Roggendorf, Scharrenbroich, Borken-Kleefeld

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2025

F 160: Verbesserte Unfallrekonstruktion durch zusätzliche Anknüpfungstatsachen und KI Breitlauch, Erbsmehl, Schramm, Urban, Hauck, Sinen, Espig, Walter, Jänsch

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 161: Datenverknüpfung zur Erfassung von Fahrzeugausstattungen in GIDAS

Rößler, Uhlenhof

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 162: Motorrad Kurven-ABS MOKABS

Erlinger, Kraut, Tomasch, Ausserer, Rieß, Kaufmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Telefon (04 21) 3 69 03 - 0 · E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-840-9
<https://doi.org/10.60850/bericht-f162>

www.bast.de