

Das Integral ABS von BMW Motorrad – Ein innovatives Motorrad-Antiblockiersystem

1 Einleitung

In der Konzeptionsphase des Motorrad ABS der dritten Generation von BMW Motorrad wurden anspruchsvolle Ziele gesetzt.

Das BMW Integral ABS sollte jedem – auch dem unerfahrenen - Kunden eine Bremsanlage bieten, die es ihm ermöglicht, die volle Leistungsfähigkeit seiner Bremse optimal auszunutzen. Gegenüber dem bereits auf dem Markt etablierten ABS II sollte das neue System noch leistungsfähiger werden:

- Verkürzung des Bremsweges innerhalb einer ABS-Regelbremsung
- Einführung eines intelligenten Integralbremssystems zur optimalen Reibwertausnutzung
- Berücksichtigung des Beladungszustandes
- Reduzierung der Betätigungskräfte
- Gewichtsreduzierung
- Reduzierung der elektrischen Leistungsaufnahme während der ABS-Regelung durch eine Reduzierung der Aktivierungsenergie
- Kein Druckpunktwandern
- Vollständige Eigendiagnose, für eine hohe Systemsicherheit.

Die besondere Herausforderung bei der Entwicklung lag darin, dass dieses System keinen prinzipähnlichen Vorläufer hat und ein für Motorräder bislang nicht gekanntes Maß an elektronisch vernetzten Funktionen aufweist.

2 Fahrphysik des Zweiradfahrzeuges

Das Motorrad stellt beim Bremsen bezüglich seiner Randbedingungen ein sehr komplexes System dar. Die Fahrphysik ist durch seine relativ hohe Schwerpunktlage im Verhältnis zum Radstand geprägt. Hinzu kommt, dass sich die Stabilitätskriterien des Motorrades deutlich von denen eines Autos unterscheiden und die Auswirkungen gravierender für den Fahrer sind. Das Fahrzeug kann beispielsweise zum Überschlagen neigen oder der Fahrer kann wegen eines blockierenden Vorderrades zu Sturz kommen. Dies soll in den folgenden Abschnitten etwas veranschaulicht werden.

2.1. Reifencharakteristik

Auf den meisten gebräuchlichen, festen Fahrbahnen haben die Motorradreifen analog zu den PKW Reifen die gleiche Charakteristik (Bild 1). Mit zunehmendem Bremsschlupf steigt auf festem Untergrund die übertragene Bremskraft an, bis bei ca. 10 - 15% Bremsschlupf der Maximalwert erreicht wird. Dann nimmt die Bremskraft mit zunehmendem Bremsschlupf kontinuierlich ab, bis das Rad bei 100% Schlupf blockiert. Die übertragbare Seitenkraft verringert sich mit zunehmendem Bremsschlupf erst langsam, beim Überschreiten der maximalen Bremskraft jedoch sehr schnell, so dass bei 100% Bremsschlupf weniger als 10% der maximal übertragbaren Seitenführungskraft übrig bleiben.

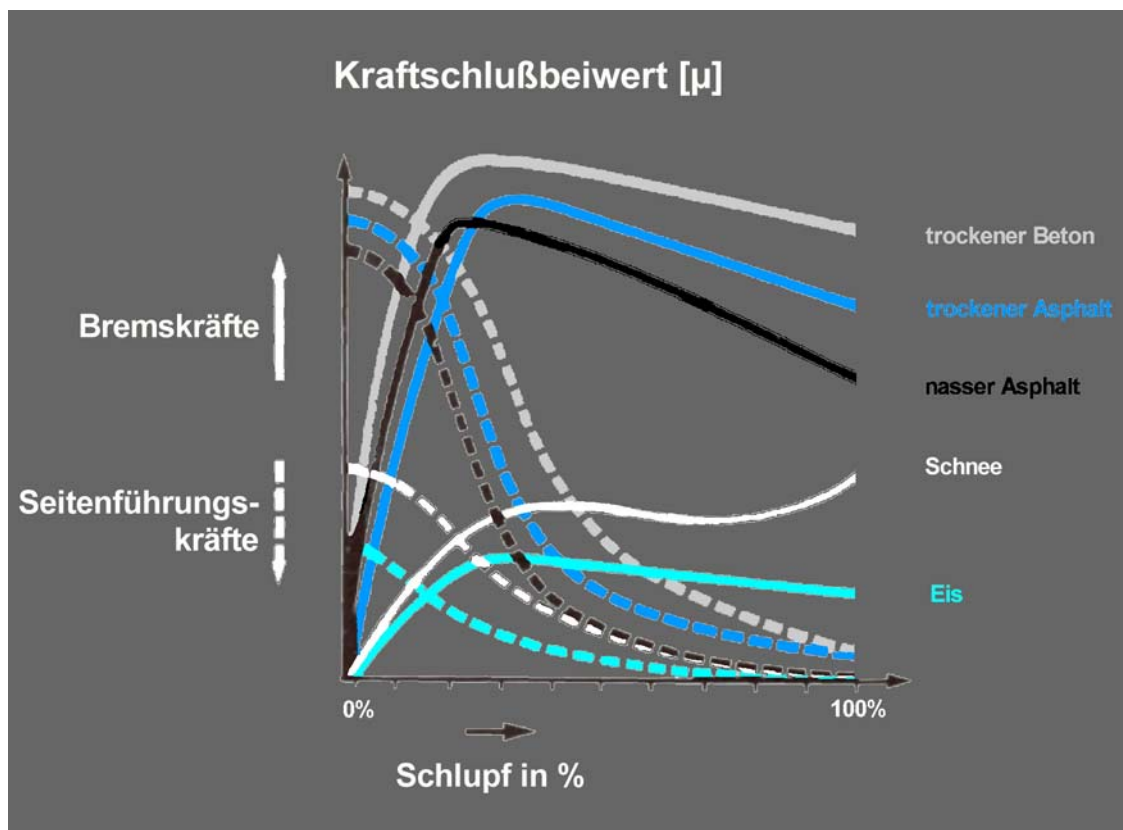


Bild 1: Kraftschlussbeiwert eines Motorradreifens

Abweichend von dieser beschriebenen Charakteristik gibt es losen Untergrund wie zum Beispiel tiefen Sand, Geröll oder losen Schnee. Hier steigt die übertragbare Bremskraft bis ca. 20 - 30% Bremsschlupf an, durchläuft ein Plateau, bis sie dann bei 100% ihr Maximum erreicht. Die Seitenkräfte verhalten sich analog zu den festen Fahrbahnen. Der Anstieg der übertragbaren Bremskraft bei blockierendem Rad wird durch die Keilwirkung des Fahrbahnmaterials erzeugt, das vor dem stehenden Reifen hergeschoben wird.

2.1 Stabilität

2.1.1 Blockierende Räder

Blockierende Vorderräder beim Zweispurfahrzeug verhindern nur die Lenkbarkeit des Fahrzeuges, die Stabilität bleibt jedoch in vollem Umfang erhalten. Blockierende Hinterräder und die damit verlorene Seitenführung hinter dem Fahrzeugschwerpunkt bewirken, dass sich das Fahrzeug um 180° dreht, bis das Heck in Bewegungsrichtung zeigt.

Das Zweirad erhält seine Fahrstabilität durch den Drehimpuls der drehenden Räder. Das Vorderrad hat hierbei den Hauptanteil. Beim Zweirad kann im Gegensatz zum Zweispurfahrzeug ein blockierendes Hinterrad durch geschicktes Schwenken und Lenken von einem geübten Fahrer gehalten werden. Bei einem blockierenden Vorderrad geht der stabilisierende Drehimpuls des Vorderrads verloren, was in Verbindung mit der sehr geringen Seitenkraft, die aus der Reifencharakteristik in Bild 1 ersichtlich ist, bei Geradeausfahrt und gerade gehaltenem Vorderrad in der Regel nach 200 bis 500 ms zum Sturz führt.

2.1.2 Abhebendes Hinterrad

Beim Verzögern eines Fahrzeugs kommt es zu einer verzögerungsabhängigen, fahrzeugspezifischen Radlaständerung (Bild 2).

Die Vorderradaufstandskraft wird um die Radlaständerung ΔF

$$\Delta F = m_{\text{ges}} a h_s / l$$

erhöht und die des Hinterrades um denselben Betrag gemindert. Die Radlaständerung erfolgt verzögert. Die Verzögerungsdauer ist vom Massenträgheitsmoment des Fahrzeuges um die Fahrzeugquerachse abhängig. Vernachlässigt man diese Verzugszeit und die Lageänderung des Fahrzeugschwerpunktes, hervorgerufen durch die Fahrwerkskinematik unter Einwirken der Radlaständerungen sowie des Luftwiderstands und der Auftriebskräfte, erhält man eine erste Näherungsformel für die Abhebeverzögerung (a_{abheb}) des Hinterrades.

$$a_{\text{abheb}} = m_h g l / m_{\text{ges}} h_s = g l_v / h_s$$

An diesem Abhebepunkt wird die Bremsleistung ausschließlich von der Vorderradbremse erzeugt. Das Hinterrad wird dann für die Bremswirkung völlig bedeutungslos.

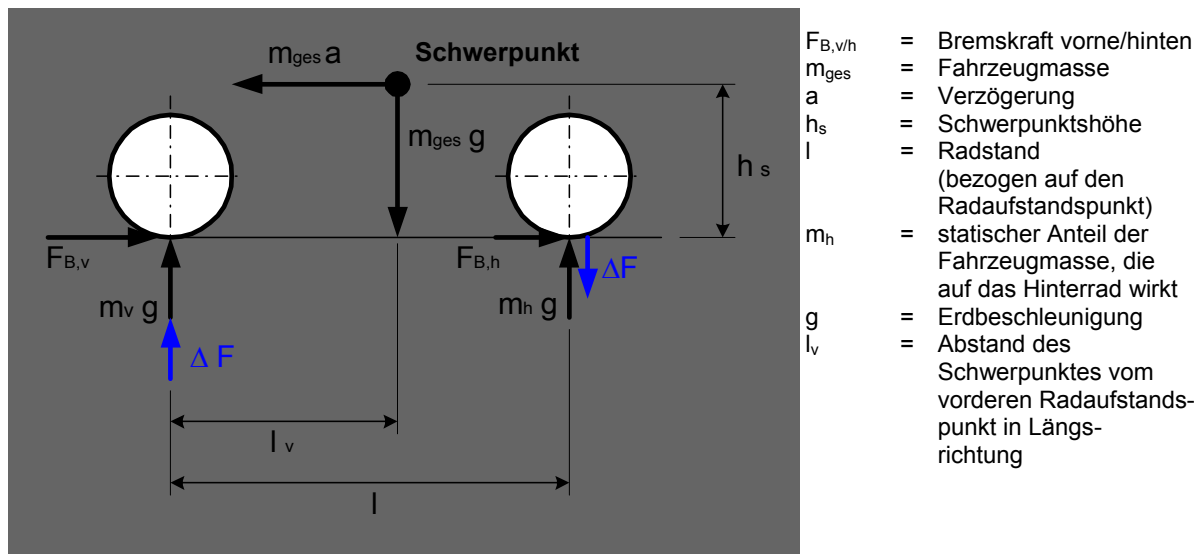


Bild 2: Schematische Darstellung der Radlaständerung

2.2 Ideale Bremskraftverteilung

Beim Einsetzen der Verzögerung (geringer Verzögerungswert in Verbindung mit geringer bzw. noch nicht wirksamer Lastdynamik) wird die optimale Bremskraftverteilung von der statischen Gewichtsverteilung auf Vorder- und Hinterrad bestimmt.

Aufgrund der bereits erwähnten Radlaständerungen muss mit zunehmender Verzögerung der Anteil der Bremskraft des Hinterrades an der gesamten Bremsleistung kontinuierlich reduziert werden, um den Reibwert zwischen Fahrbahn und Reifen optimal auszunutzen. Dieser Sachverhalt ist in vielen Lehrbüchern hergeleitet. Das Diagramm (Bild 3) gilt in seinem Verlauf auch bei Kurvenfahrt eines Motorrades.

Völlig neu für die Anwendung beim Motorrad ist die fahrzeugspezifische, dynamische und adaptive Bremskraftverteilung. Diese leitet den Bremsdruck von beiden Rädern entsprechend der jeweils *übertragbaren Bremskräfte* optimal zu. Die ideale Bremskraftverteilung für den jeweiligen Fahrbahnbelagreibwert an einem Fahrzeug wird durch Radstand und Schwerpunktlage (Beladungszustand!) beeinflusst. Sie folgt bei zunehmender Verzögerung der Form einer Parabel und ist in der Elektronik fahrzeugspezifisch gespeichert. Bei veränderter Beladung wird nach der ersten Regelbremsung das Bremsverteilungskennfeld angepasst.

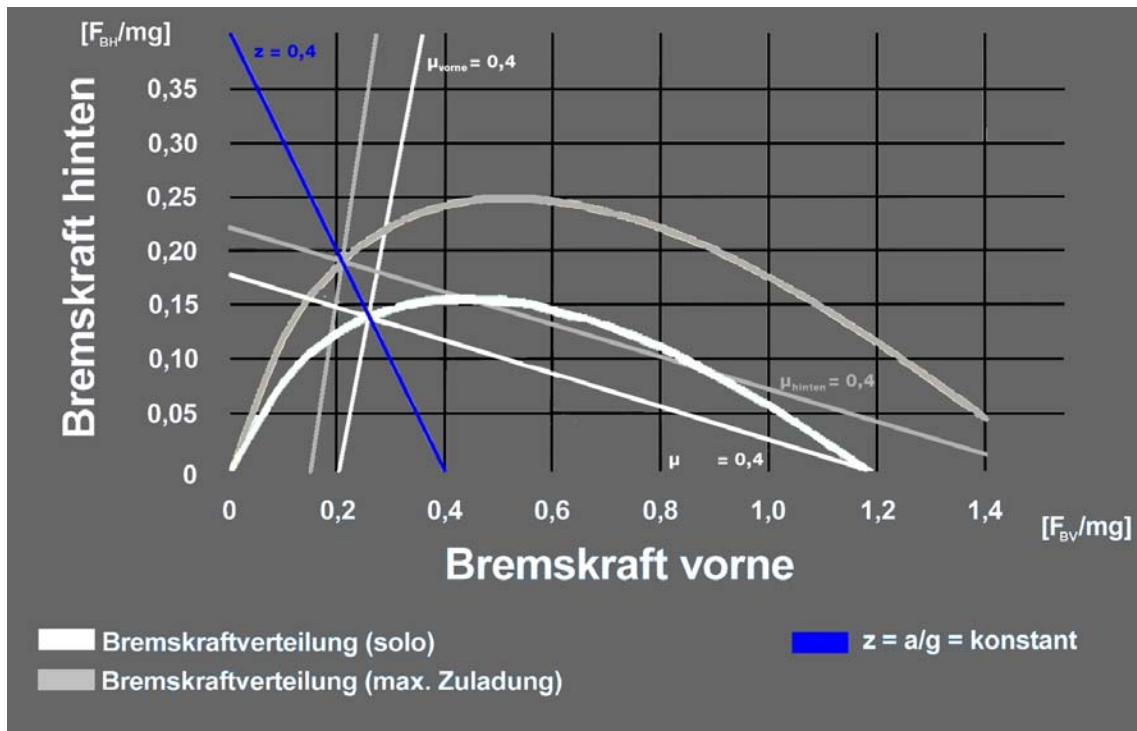


Bild 3: Ideale Bremskraftverteilung beim Motorrad

Nachfolgend soll lediglich der Kurvenverlauf des Diagramms einer K1200 LT an 3 praktischen Beispielen erörtert werden.

Beispiel 1:

Ein Fahrer fährt auf Rollsplitt geradeaus und muss bremsen. Der Reibbeiwert μ zwischen Reifen und Fahrbahn beträgt ca. 0,4. In diesem Fall kann der gesamte Fahrbahnreibwert für die Bremskraft aufgebracht werden, da keine Seitenkräfte durch Kurvenfahrt übertragen werden müssen (Bild 4).

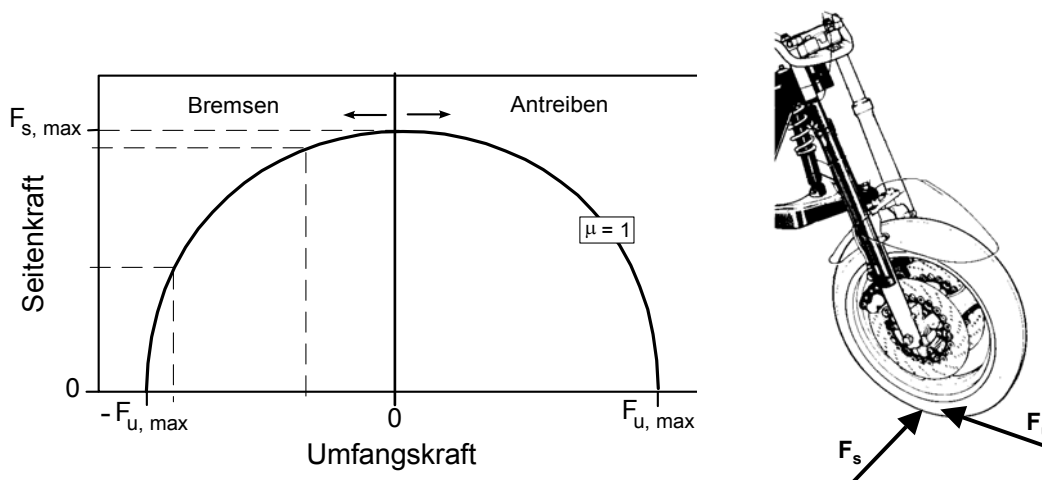


Bild 4: Kamm'scher Kreis [7]

Will der Fahrer eine stabile Bremsung (ohne blockierendes Rad oder ABS-Regelung) durchführen, muss die Bremskraft für Vorder- und Hinterrad entsprechend des Schnittpunkts der $Z=0,4$ Linie und der idealen Bremskraftverteilungslinie für das unbeladene Fahrzeug verteilt werden. Jede Abweichung zu höheren Drücken bzw. Bremskräften hat ein blockierendes Rad oder ABS-Regelung zur Folge. Jede Abweichung zu geringeren Bremskräften verschenkt kostbaren Bremsweg!

Beispiel 2:

Der Fahrer befindet sich in ca. 40° Schräglage auf trockenem Asphalt und muss wiederum bremsen. Aufgrund eines Anteils der für die Kurvenfahrt benötigten Seitenkräfte verbleibt für die Bremskräfte nur noch ein Anteil von ca. $\mu = 0,4$. Somit trifft für diesen Fall die identische Lastverteilung wie im Beispiel 1 und die daraus resultierende Verzögerung zu. Hier ist zu beachten, dass die Auswirkungen eines blockierenden Rades wesentlich gravierender bzw. einer ABS-Regelung deutlich unangenehmer sind als auf Rollsplitt bei Geradeausfahrt. Deshalb gewinnt die Notwendigkeit, die Bremskraft ideal zu verteilen, erheblich an Bedeutung. Was bedeutet „ideal“ in diesem Fall? **Idealerweise** ist die Bremskraft so auf Vorderrad und Hinterrad verteilt, dass ein Maximum an Seitenführungskraft an beiden Rädern zur Verfügung steht.

In der **Realität** kann der Fahrer diese Verteilung nicht erzeugen, sondern er bremst beispielsweise nur mit der Vorderradbremse. Dies bedeutet, dass er bei einer erzielten Verzögerung x deutlich weniger Seitenführungskraft (am sturzrelevanten) Vorderrad zur Verfügung hat, als wenn er diese Verzögerung nach Idealverteilung mit beiden Rädern aufbringen würde. Das bedeutet, dass das Integral ABS beim Bremsen in Kurven deutlich mehr Sturzsicherheit bietet.

Beispiel 3:

Ein Fahrer fährt wiederum auf Rollsplitt geradeaus und muss bremsen. Diesmal hat er Gepäck und Beifahrer dabei. Der Reibbeiwert μ zwischen Reifen und Fahrbahn beträgt $0,4$. In diesem Fall muss der Fahrer, um eine stabile maximale Verzögerung zu erzielen, die Bremskräfte vorne und hinten entsprechend dem Schnittpunkt der idealen Bremskraftverteilungslinie für das beladene Fahrzeug mit der $z = 0,4$ Linie verteilen.

Wird die Bremskraft gemäß dieser idealen Bremskraftverteilung umgesetzt, ohne den Reibkoeffizient μ der Fahrbahn völlig auszunutzen, bleibt an jedem Rad die maximal mögliche Seitenführungskraft erhalten. Die dem Zweirad auch jetzt eine optimale Bremsstabilität verleiht.

3 Einfluss des Fahrers

Diese zuvor beschriebenen Zusammenhänge müssen von einem Motorradfahrer ohne ABS-Unterstützung und intelligenter Integralbremse bei einer Vollbremsung umgesetzt werden. Besitzt das Motorrad zwei voneinander unabhängige Bremshebel, die jeweils auf ein Rad wirken, muss der Fahrer die Bremskräfte selbständig verteilen. Auf griffigen Fahrbahnen kann durch den geringen

Bremsleistungsanteil der Hinterradbremse auf diese verzichtet werden oder nach der Faustregel „vorne dosieren und hinten blockieren“ ein relativ gutes Ergebnis erzielt werden. Die meisten Fahrer verschenken jedoch aus Angst vor einem Sturz mit blockierendem Vorderrad nicht unerheblichen Bremsweg. Außerdem existiert die durchaus begründete Furcht vor einem Überschlag nach vorne, einem Phänomen, das im Gegensatz zum PKW bei entsprechender Fahrwerksgeometrie und Schwerpunktlage auftreten kann (Bild 5).



Bild 5: Hinterradabheben ohne Integral ABS [8]

Die menschliche Seite wurde in einigen Präsentationen, unter anderem von den motorradfahrenden Psychologen Prof. Spiegel und Prof. Dr. Eberspächer, publiziert.

„Der Motorradfahrer sollte nicht ganz bei Verstand sein. Wäre er es, erginge es ihm wie dem Tausendfüßler. Der, so in einer Parabel zu lesen, von einem Naturforscher darauf angesprochen, wie er es schaffe, seine unzähligen Gliedmaßen zu koordinieren, damit begann, sich selbst zu beobachten. Daraufhin immer wieder stolperte. Von Stund' an konnte er nicht mehr gehen und starb eines jämmerlichen Todes.“ [1]

Die Botschaft ist klar: Nur das „Verständnis“ über die Bremsphysik macht noch keinen guten Motorradfahrer aus. So komplexe Regelvorgänge, wie sie bei einer Vollbremsung erforderlich sind, werden intuitiv und nur nach langer Übung mehr oder weniger beherrscht. Im Falle der Normalmotorradfahrer eher weniger perfekt:

„Die technische Universität Wien maß kürzlich die Vollbremsungen von 110 Teilnehmern an Fahrertrainings auf einer Honda CB 500. Niederschmetterndes Ergebnis: Im Schnitt nutzten die Piloten die maximale Bremskraft beider Bremsen nur zu 58 Prozent. Bei der Vorderradbremse war es im Mittel weniger als die Hälfte, dafür blockierte das Hinterrad oft. Je mehr Kilometer die Biker im Jahr zurücklegten, desto besser ihre Werte. ... Wichtig ist das kontrollierte

Zusammenspiel beider Bremsen, und die Koordination fällt vielen Fahrern schwer. ... Schlussfolgerung: Üben macht den Meister, ABS hilft. ...“ [2]

Selbst erfahrene Rennfahrer kommen durch Fehlbetätigung der Bremse gelegentlich auf bekanntem Untergrund mit lange vorher angekündigten Bremspunkten zum Sturz.

Die in Motorradzeitschriften ermittelten „Best of“ Messreihen – häufig sehr gute Bremsverzögerungen von Motorrädern ohne ABS – sind immer das Resultat von sehr geübten und vor allem auf Vollbremsungen vorbereiteten Testfahrern.

Solche Werte belegen ausschließlich das Potential der Bremsanlage, geben aber keinerlei Aufschluss darüber, inwieweit der Normalfahrer – vor allem in oben beschriebener Schrecksituation oder bei wechselnden Reibwerten – auf dieses Potential zurückgreifen kann.

4 Systembeschreibung

4.1 Aufbau [4]

Bei Betätigung des Hauptbremszylinders am Hand- oder Fußbremshebel wird der Steuerkolben (Bild 6) mit hydraulischem Druck beaufschlagt, den er als Kraft über die Steuerstange zum Kugelventil überträgt. Zeitgleich laufen die Hydraulikpumpen der beiden Radkreise an und erzeugen einen Radbremsdruck, der dem Staudruck am Kugelventil entspricht. Es entsteht ein Kräftegleichgewicht am Kugelventil. Das Verhältnis von Steuerkolben- zu Kugelsitzfläche bestimmt den Verstärkungsfaktor der aktiven Bremsfunktion. Die Betätigungskräfte werden erheblich verringert, im Zusammenwirken mit der neuen EVO-Vorderradbremse auf bis zu 50% gegenüber ABS II.

Da die Hydraulikpumpe auch das benötigte Bremsvolumen in der Bremsanlage zur Verfügung stellt, reduziert sich neben der Betätigungskraft des Bremshebels auch dessen Betätigungsweg gegenüber einer konventionellen Bremsanlage. Die Pumpe ist auch in der Lage, das Volumen von überhitzter Bremsflüssigkeit (Dampfblasenbildung) zu kompensieren, wenn das Integral ABS aktiv arbeitet.

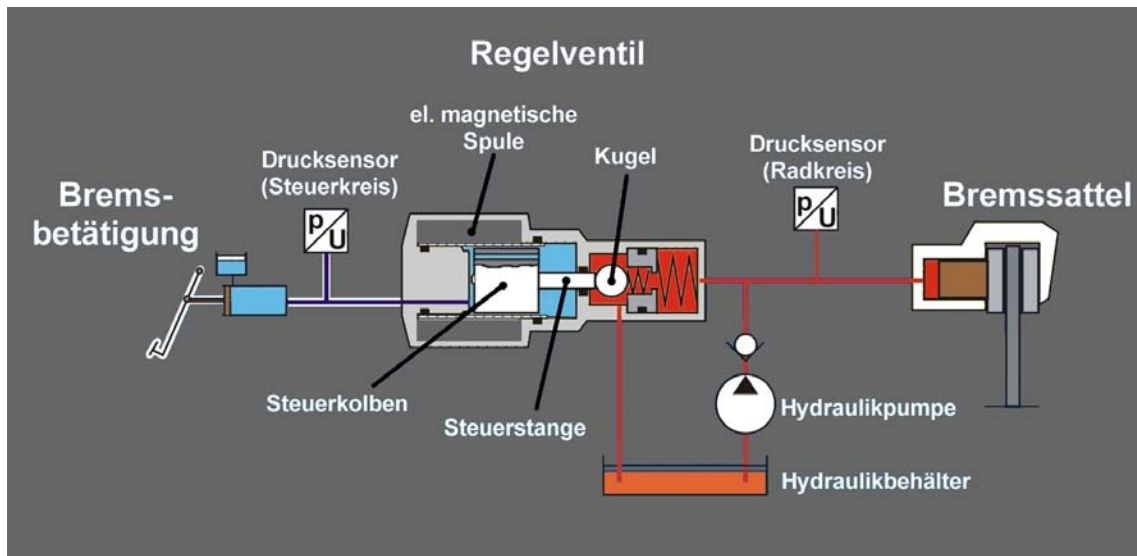


Bild 6: Aufbau des Integral ABS-Regelventils

Deutlich einfacher im Vergleich zu ABS II ist die Integration der ABS-Funktion in die Regelventile. Statt der bisherigen Bauteile: Plunger, Reibungskupplung, Rückholfeder und Elektromotor, sorgt nur noch eine elektromagnetische Spule für die Modulation des Bremsdrucks. Dieser Elektromagnet wirkt auf den Steuerkolben, der gegen den vom Fahrer aufgebrauchten Druck zurückgehalten wird und so über das Kräftegleichgewicht den Bremsdruck reduziert.

Hier zeigt sich der wesentliche Vorteil gegenüber dem ABS der zweiten Generation. Durch wenige, deutlich leichtere Bauteile und der somit geringeren Aktivierungsenergie kann das System noch schneller auf ein instabiles Rad mit Bremsdruckab- und anschließendem -aufbau reagieren.

4.2 Integralbremsfunktion

Die Integralfunktion ermöglicht das Abbremsen beider Räder bei Betätigung des Hand- bzw. Fußbremshebels. Ein Bypass im Steuerkreis, überträgt den Steuerdruck des jeweiligen Bremskreises über einen Integralkolben als Kraft auf die Steuerstange des anderen Bremskreises. Diese Kraft bewirkt über das Kräftegleichgewicht an der Ventilkugel den entsprechenden Radbremsdruck. Die Kennwerte der Bremse legen die Dimensionierung des Integralkolbens fest. Durch Bestromen der Spule des Hinterradkreises wird der Bremsdruck am Hinterrad, abhängig vom Vorderradbremssdruck, entsprechend der fahrzeugspezifischen idealen Bremskraftverteilung geregelt.

BMW bietet für die großen, eher tourenorientierten Maschinen wie der K1200 LT und der R1150 RT ein sogenanntes „Vollintegral“ ABS an, bei dem sowohl Hand- als auch Fußbremse auf beide Räder wirken. Beim „Teilintegral“ ABS wirkt nur die Handbremse auf beide Räder. Dieses System eignet sich besser für die eher sportlich orientierten Fahrzeuge.

4.3 Ideale Bremskraftverteilung

Eine elektronische Bremskraftverteilung berücksichtigt die dynamische Radlastverteilung beim Bremsen, lernt den Beladungszustand des Motorrades und regelt den Hinterraddruck entsprechend der idealen Bremskraftverteilung. Sie hängt im wesentlichen vom Radstand und der Schwerpunktlage (Beladungszustand) ab.

Wird die Bremskraft ideal auf Vorder- und Hinterrad verteilt, verleiht dies dem Motorrad mehr Bremsstabilität, da beide Reifen möglichst viel Seitenführung behalten. Auch der Verschleiß von Bremsbelägen und Reifen ist gleichmäßiger. Beim Bremsen in Kurven verbessert sich die Fahrstabilität durch die gleichmäßige Reibwertausnutzung.

Die Bremskraftverteilung erfolgt adaptiv, d.h. der Beladungszustand wird bei jeder Regelbremsung neu erfasst und die ideale Bremskraftverteilungskurve entsprechend angepasst. Die Beladungserfassung erfolgt über den Vergleich der Radgeschwindigkeiten während der Regelbremsung. Neigt ein Rad bereits zum Blockieren, während das andere stabil verzögert, erfolgt die Anpassung der Radbremsdrücke so lange, bis beide Räder gleichzeitig zum Blockieren neigen. D.h. bei beladenem Motorrad wird der Hinterradbremssdruck relativ zum Vorderradbremssdruck entsprechend angehoben.

4.4 Hinterrad-Abhebeerkenkung

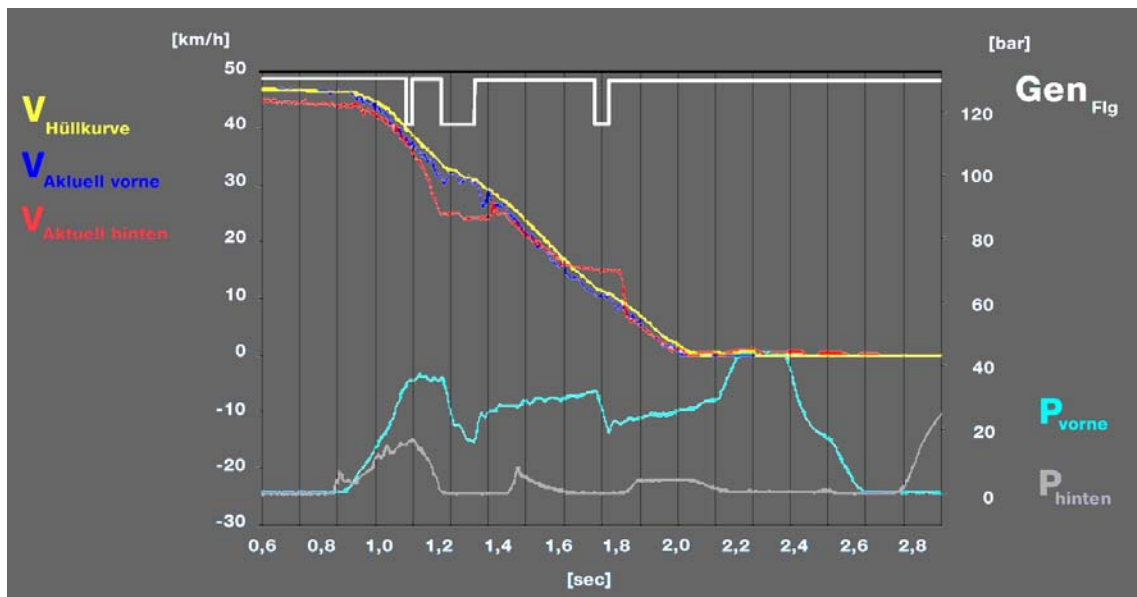


Bild 7: Raddrehzahlverläufe beim Hinterradabheben

Das Abheben des in Bild 7 dargestellten Hinterrades ist bei hohen Reibwerten, einer entsprechenden Fahrbahn-Reifen-Kombination und starker Verzögerung möglich. Das BMW Integral ABS kann beim Erkennen des Radgeschwindig-

keitsverlaufs indirekt auf ein abgehobenes Hinterrad schließen und einen möglicherweise folgenden Überschlag des Motorrads durch einen Druckabbau an der Vorderradbremse verhindern. Durch Störeinflüsse (nicht gezogene Kupplung, starke Fahrbahnunebenheiten, ...) hervorgerufene Abweichungen vom qualitativen Radgeschwindigkeitsverlauf sind mit diesem indirekten Erkennungsverfahren nicht auszuschließen. Das System unterstützt den Fahrer aber auch in dieser motorradspezifischen, kritischen Situation erheblich.

In Bild 7 ist ein zweimaliges Abheben des Hinterrades zu erkennen. Kurz nach Beginn der Bremsung bei $t=1,1\text{sec}$ wird ein Einbruch der Hinterraddrehzahl erkannt und entsprechend der Hinterradbremssdruck gesenkt. Da nach Absenken des Drucks auf Null kein Hochlaufen des Hinterrades erfolgt, wird von einem Hinterradabheben ausgegangen und der Radbremsdruck vorn reduziert, bis ein Anstieg der Hinterraddrehzahl registriert wird. Das Rad hat wieder Bodenkontakt und wird beschleunigt. Der Vorderradbremssdruck steigt wieder an, der Hinterradbremssdruck wird entsprechend der idealen Bremskraftverteilung, jetzt mit höherer Verzögerung, sukzessive reduziert. Kurz vor dem erneuten Abheben des Hinterrades ist der Hinterradbremssdruck auf Null abgesunken, das Rad hebt ab und ist nicht mehr gebremst. Die Raddrehzahl bleibt nahezu konstant. Die Vorderraddrehzahl sinkt entsprechend der Verzögerung weiter ab, es wird erneut ein Abheben des Hinterrades erkannt (Bild 8) und der Bremsdruck vorne reduziert. Die Verzögerung reduziert sich, die Radlast am Hinterrad steigt, das Hinterrad setzt wieder auf und wird abgebremst. Da nun wieder Last auf dem Hinterrad ist, kann der Bremsdruck wieder erhöht werden.



Bild 8: R1150 RT mit abhebendem Hinterrad [8]

4.5 Restbremsfunktion

Die Regelventile sind so konstruiert, dass auch bei ausgeschalteter Zündung und damit nicht aktiviertem System oder bei einem Ausfall des Integral ABS eine Restbremsfunktion zur Verfügung steht.

Zwar muss der Fahrer in der Restbremsfunktion den Bremshebel über einen längeren Weg und mit mehr Kraft betätigen, ein sicheres Abbremsen des Fahrzeugs ist aber jederzeit gewährleistet. Somit ist auch das Rangierbremsen problemlos möglich.

In Bild 9 ist die Restbremsfunktion in zwei Schritten dargestellt. Ist die Hydraulikpumpe nicht aktiv, so wird über den Steuerkolben und die Steuerstange die Kugel in den Kugelsitz gedrückt und die Bremsflüssigkeit im Radbremskreis eingeschlossen. Dann wird der Restbremskolben verschoben, das der Pumpe nachgeschaltete Rückschlagventil schließt und der Radbremsdruck kann aufgebaut werden. Da die Hydraulikpumpe nicht mehr für das nötige Bremsflüssigkeitsvolumen sorgt, muss der Restbremskolben dieses Volumen kompensieren und ein entsprechend längerer Bremshebelweg ist erforderlich.

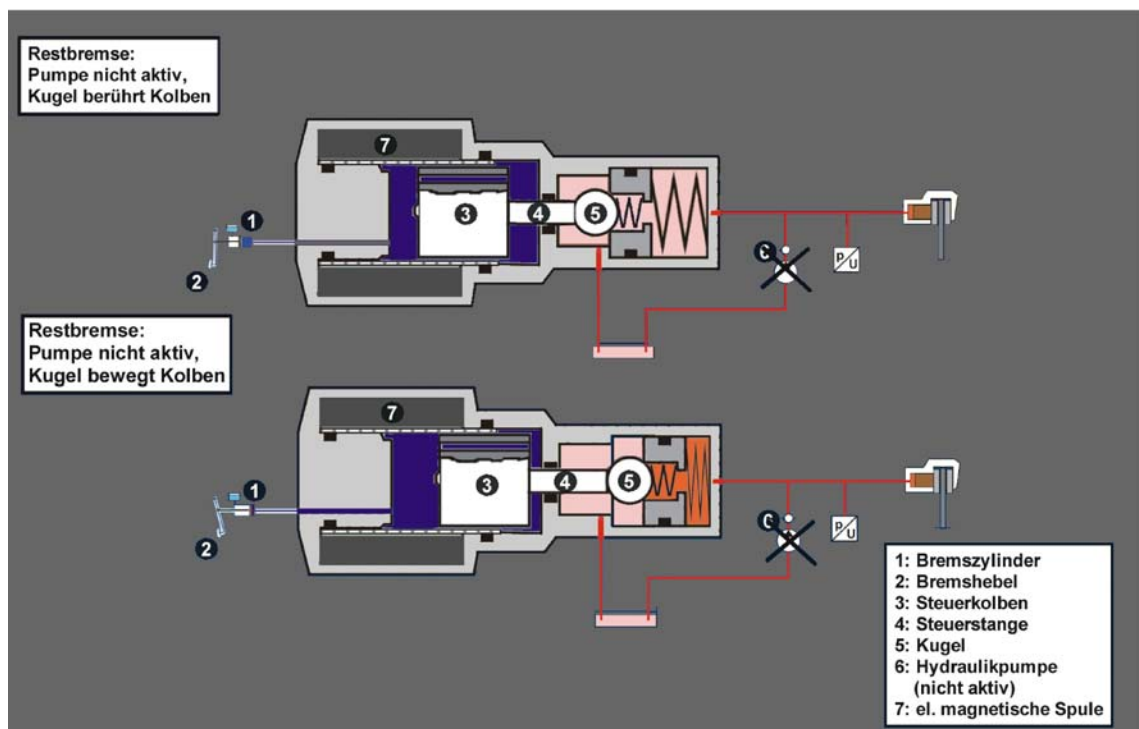


Bild 9: Funktionsweise der Restbremse

4.6 Diagnosefähigkeit

Das Integral ABS erfüllt die hohen Sicherheitsansprüche von BMW. Bereits beim Einschalten der Zündung wird eine Eigendiagnose durchgeführt. Es werden zuerst zwei Lampen angesteuert: Die allgemeine Warnlampe (mit Dreiecksymbol) leuchtet rund drei Sekunden und erlischt, wenn kein Fehler im System vorhanden ist. Die ABS Lampe blinkt während der Eigendiagnose etwa zwei Sekunden lang schnell, wechselt dann zu langsamerem Blinken, bis bei einer Anfahrtschwindigkeit von rund 4 km/h die Funktion der Radsensoren überprüft wurde. Dann erlischt auch sie und das System steht uneingeschränkt zur Verfügung. Das BMW Integral ABS überwacht sich auch während der Fahrt permanent selbst und zeigt eine Fehlfunktion unverzüglich an.

5 Erkenntnisse aus der Motorradpraxis

Die Einführung einer derart innovativen Technologie, wie es das Integral ABS von BMW ist, stellt eine hohe Herausforderung dar. Es gilt, Akzeptanz zu erzielen bei einer sensiblen Kundschaft, die „ihre Maschine“ und deren Funktionen möglichst gut verstehen will. Deshalb registriert man bei BMW die Kunden- und Pressereaktionen sehr aufmerksam. Aufwendige Vergleichsmessungen der Fachzeitschrift MOTORRAD ergaben ein insgesamt sehr positives Fazit: „Egal ob Hasardeur oder Normalfahrer, sämtliche Tester erzielten bei der Bremsmessung aus 100 km/h Werte um 10 m/s^2 – dank Integral ABS ständig reproduzierbar und ohne Angst vor Stoppies oder blockierenden Rädern.“[5]

Die folgenden drei Messdiagramme (Bild 10-12) der Zeitschrift MOTORRAD [8] bestätigen die systembedingten, theoretischen Vorteile des Integral ABS im Praxistest durch höhere Bremsleistung gegenüber ABS II: Durch ein schnelleres Ansprechen bei der Bremsbetätigung, wie in Bild 10 dargestellt wird die Verzögerung früher eingeleitet. Dies wird durch einen schnelleren Druckaufbau der Hydraulikpumpen im ABS-Modulator erreicht. Gleichzeitig wurde das Ansprechverhalten der Reibpaarung Brems Scheiben/-beläge mit der EVO-Bremsanlage verkürzt.

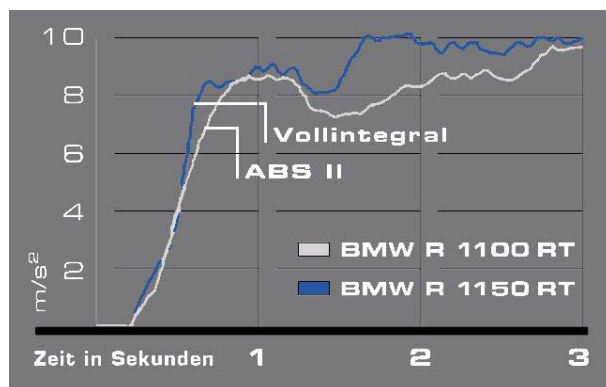


Bild 10: Vergleich des Ansprechverhaltens von ABS II und Integral-ABS [8]

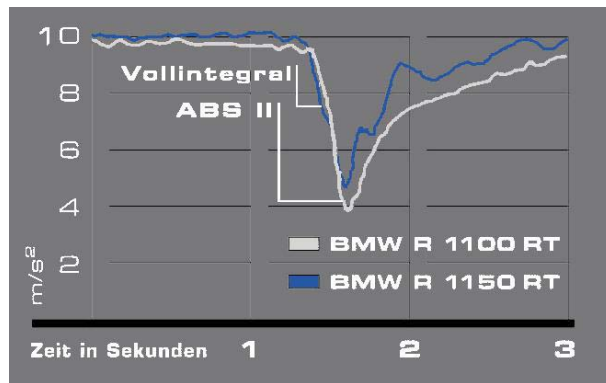


Bild 11: Verzögerungsvergleich des ABS II und Integral-ABS bei einem Fahrbahn-Reibwertsprung

Das neue Regelprinzip mit leichteren Bauteilen ermöglicht einen schnelleren Druckab- bzw. -aufbau. Die Folgen sind in Bild 11 durch einen geringeren und kürzeren Verzögerungseinbruch im Kurvenverlauf der R1150RT mit Vollintegral-Bremssystem ersichtlich.

Das schnellere Ansprechverhalten, die bessere Reibwertausnutzung und das gleichzeitige Betätigen beider Radbremsen erklären die im Bild 12 von Motorrad ermittelten **kürzeren Bremswege** mit dem Integral-ABS.

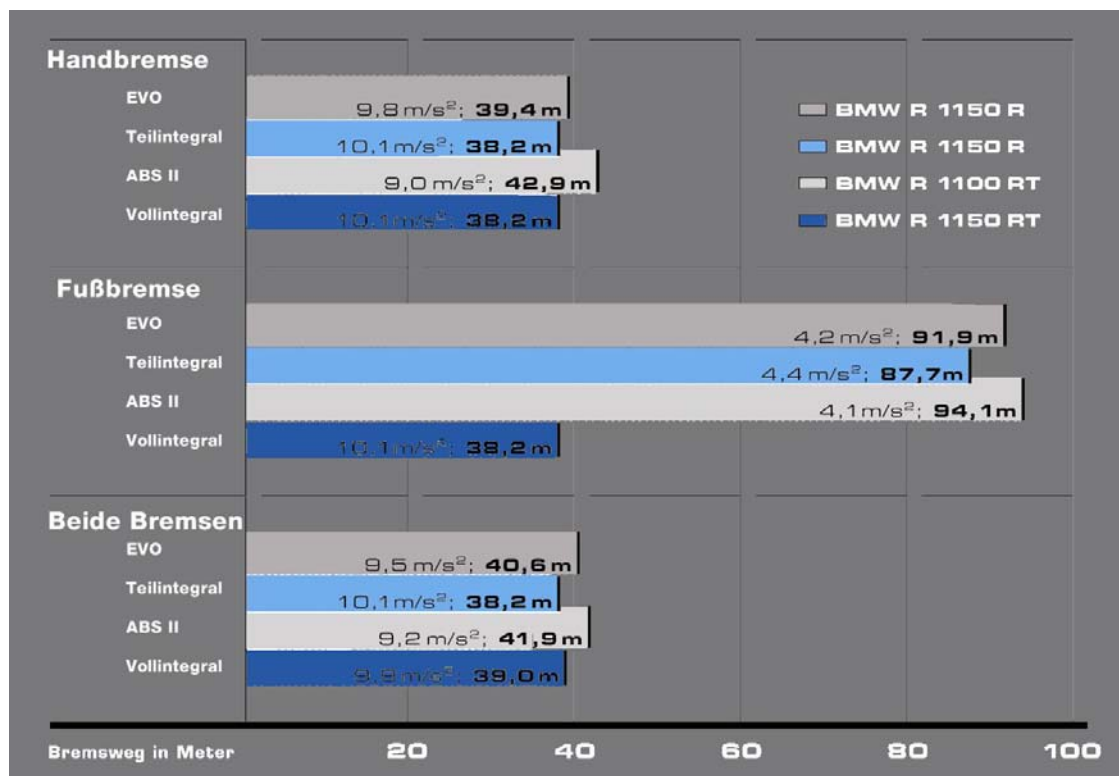


Bild 12: Bremswegvergleich EVO-Bremse, ABSII, Integral ABS [8]

Dass die Fußbremse beim Vollintegralsystem exakt die gleichen, hohen Bremsverzögerungen erzeugt wie die Handbremse, erfordert eine Umstellung des Bremsverhaltens. Durch die Vollintegralbremsanlage wird die Fußbremse auf das gleiche Funktionsniveau gehoben wie die Handbremse. Für die Praxis von geradezu lebenserhaltender Bedeutung ist die Vollintegralfunktion bei Fahrern, die aus Unerfahrenheit oder durch Konditionierung beim PKW die Vorderradbremse nicht nutzen. Die Vergleichsmessungen von MOTORRAD zeigen für diesen Fall eine Bremswegverkürzung von 91,9 m auf 39,0 m bei einer Bremsung aus 100 km/h, also eine Verbesserung um 57%!

6 Zusammenfassung

Das neue BMW Integral ABS nutzt die technischen Möglichkeiten der neuen und weiterentwickelten dritten ABS-Generation von BMW Motorrad und verbindet diese mit einem elektrisch-hydraulischen Bremskraftverstärker und einem Integralsystem mit adaptiver Bremskraftverteilung. Das Integral ABS ist leichter, es regelt noch schneller und gleichmäßiger. Es macht bei Schreckbremsungen – also bei plötzlichen Vollbremsungen – bei Geradeausfahrt den Bremsweg noch kürzer und verhindert gleichzeitig einen Sturz durch ein blockierendes Rad. Insbesondere bei abrupt wechselnder Fahrbahnbeschaffenheit während einer Vollbremsung reagiert das BMW Integral ABS schneller als der Fahrer.

Literatur:

- [1] B. Spiegel: Die obere Hälfte des Motorrads. Vom Gebrauch des Werkzeuges als künstliches Organ, Stuttgart 1999
- [2] Biker bremsen mangelhaft – Gebremstes Bremsen, München 21.09.2000 (bho/tde)
- [3] Prof. Dr. Hans Eberspecher, Verhaltenswissenschaftliche Aspekte der Motorradbremsung, Auftaktsymposium besser bremsen, Essen 21.05.2001
- [4] M. Braunsperger; S. Beulich; H.-A. Wagner: Das neue Integral ABS von BMW Motorrad, ATZ 3/2001
- [5] Jörg Thomas, R-frischend neu, Zeitschrift Motorrad 8/2001
- [6] Waldemar Schwarz, Verzögerungstaktik, Zeitschrift Motorrad 10/2001

Bilder:

- [7] Jürgen Stoffregen: Motorradtechnik, Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk, Vieweg Technik, Braunschweig/Wiesbaden 1999
- [8] Zeitschrift Motorrad: "Verzögerungstaktik", Heft 10/01

Autoren:

Dr. Ing. Markus Braunsperger, Leiter Entwicklung und Baureihen, BMW Motorrad
Dipl.-Ing. (FH) Horst Reichl, Leiter Entwicklung Fahrwerk, BMW Motorrad
Dipl.-Ing. Hans-Albert Wagner, Projekt- und Versuchsingenieur, BMW Motorrad

Vortragender:

Dr. Ing. Markus Braunsperger, Leiter Entwicklung und Baureihen, BMW Motorrad